BỘ QUỐC PHÒNG Học Viện kỹ thuật quân sự



TUYỂN TẬP CÔNG TRÌNH HỘI NGHỊ KHOA HỌC CÁC NHÀ NGHIÊN CỨU TRỂ LẦN THỨ XIX - NĂM 2024

(TẬP 2: VÔ TUYẾN ĐIỆN TỬ, KỸ THUẬT CÔNG TRÌNH, Công nghệ thông tin, cơ khí động lực, điều khiển tự động hóa)



NHÀ XUẤT BẢN QUÂN ĐỘI NHÂN DÂN ISBN: 978-604-485-700-8

Hà Nội - 2024

BỘ QUỐC PHÒNG HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

200



TUYỀN TẬP CÔNG TRÌNH HỘI NGHỊ KHOA HỌC CÁC NHÀ NGHIÊN CỨU TRỂ LẦN THỨ XIX – NĂM 2024 (TẬP 2: VÔ TUYẾN ĐIỆN TỬ, KỸ THUẬT CÔNG TRÌNH, CÔNG NGHỆ THÔNG TIN, CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC, ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG HÓA)



NHÀ XUẤT BẢN QUÂN ĐỘI NHÂN DÂN

ISBN: 978-604-485-700-8

Hà Nội - 2024

MỤC LỤC

TT	Tác	giả	Tên bài báo	Trang	
1.	Nguyễn Ngọc	Bình <i>et al</i> .	Nâng cao chất lượng phân loại các hành vi con người dựa vào dấu hiệu micro-Doppler thu được từ radar FMCW có tác đông của nhiễu		
2.	Nguyễn Thanh	Chinh <i>et al</i> .	Thuật toán định hướng trên cơ sở phân bố không gian thời gian tần số dùng cho cho các hệ thống sonar thụ động	829	
3.	Hoàng Văn	Dũng et al.	Lựa chọn phương pháp điều chế số cho hệ thống BIBCM-ID	840	
4.	Bùi Anh	Đức <i>et al</i> .	Thuật toán tối ưu công suất cho hệ thống truyền thông tế bào nhỏ đường xuống sử dụng nhiều trạm chuyển tiếp trên không	851	
5.	Trần Việt Đức	Nguyên <i>et al</i> .	Nghiên cứu, đánh giá các giải pháp giảm hiệu ứng tương hỗ giữa các phần tử trong hệ ăng-ten MIMO	862	
6.	Nguyễn Văn	Son et al.	Nghiên cứu bài toán định hướng trong các hệ thống sonar giám sát ngầm thụ động trên cơ sở biểu diễn thưa tín hiệu	874	
7.	Nguyễn Thanh	Tâm <i>et al</i> .	Anten meanderline hoạt động ở hai băng tần dùng cho các thiết bị đeo trên người	885	
8.	Nguyễn Thành	Trung <i>et al</i> .	Tối đa dung lượng tính toán mật cho hệ thống điện toán biên di động, chuyển tiếp dựa trên thiết bị bay không người lái	890	
9.	Lưu Văn	Tuấn <i>et al</i> .	Đề xuất mô hình thu thập dữ liệu bảo mật cho AES-128 ứng dụng kỹ thuật trải phổ trên SOC RISC-V	900	
10.	Nguyễn Cảnh	Đức <i>et al</i> .	Tổng quan về tính chất cơ học của bê tông siêu tính năng UHPC	908	
11.	Ngô Thế	Đức <i>et al</i> .	Nghiên cứu tác dụng phá hoại cục bộ của bom đạn trong môi trường đất đá	919	
12.	Trần Trung	Đức <i>et al</i> .	Nhận dạng tỉ số cản của kết cấu công trình bằng phương pháp phân rã miền tần số nâng cao (EFDD)	928	
13.	Nguyễn Văn	Dũng <i>et al</i> .	Nghiên cứu hiệu quả giảm trấn cho công trình sử dụng hệ cản FVD	938	
14.	Nguyễn Xuân	Hai <i>et al</i> .	Nghiên cứu tính toán kết cấu công trình nầm dạng chữ nhật chịu tác dụng của động đất trong điều kiện địa chất tại Hà Nội	945	
15.	Nguyễn Vũ	Hùng <i>et al</i> .	Nghiên cứu đề xuất giải pháp giảm bụi tại khu Xuân Phương, Học viện KTQS	952	
16.	Nguyễn Văn	Hùng <i>et al</i> .	Nghiên cứu sự làm việc của kết cấu khối xếp dạng vòm trong môi trường đất đá	962	
17.	Vũ Tùng	Lâm <i>et al</i> .	Hiệu chỉnh và khử nhiễu tín hiệu sóng nổ dưới nước bằng thuật toán phân tách dạng thực nghiệm kết hợp với bộ lọc Kalman	972	
18.	Hà Văn	Lượng et al.	Ảnh hưởng của thành phần thẳng đứng của động đất	984	
19.	Nguyễn Tiến	Nam <i>et al</i> .	Lựa chọn phương án thi công thùng chìm bằng phương pháp AHP	995	
20.	Nguyễn Tuấn	Phong <i>et al</i> .	Nghiên cứu ảnh hưởng của bể nước đến mức độ giảm chấn cho công trình nhà cao tầng chịu động đất	1007	

TΤ	Tác	giả	Tên bài báo	Trang
21.	Nguyễn Lâm	Tới <i>et al</i> .	Một số vấn đề về sử dụng màn khói và các dạng son khí để nguy trang mục tiêu trong chiến tranh hiện đại	1019
22.	Nguyễn Văn	Trường <i>et al</i> .	Phân tích tĩnh kết cấu tấm sandwich làm bằng vật liệu có cơ tính biến thiện trên pền đàn bồi	1030
23.	Tạ Đức	Tuân <i>et al</i> .	Nhận dạng vị trí hư hỏng trong kế cấu dạng dầm thông qua	1042
24.	Nguyễn Quốc	Tuấn <i>et al</i> .	sự thay doi tan số dào dọng riêng và dạng dào dọng riêng Phân tích ảnh hưởng của tải trọng nổ lên mố trụ cầu vượt tại Việt Nam	1051
25.	Vương Hữu	Ước et al.	Một số giải pháp đảm bảo ổn định trong quá trình thi công công sự dìm sâu tai đảo X xa bờ ở Việt Nam	1060
26.	Phùng Văn	Long et al.	Phản ứng phi tuyến của kết cấu nhà nhiều tầng bê tông cốt thép với bê tông côt bị han chế	1069
27.	Nguyễn Sách	Thành <i>et al</i> .	Xây dựng giải pháp hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất	1080
28.	Nguyễn Quang	Chung et al.	Nghiên cứu sự biến thiên của mô hình ứng xử phi tuyến của gối cách chấn cao su cho công trình cầu trong các điều kiện nhiệt đô khác nhau	1091
29.	Dương Duy	Khánh et al.	Lựa chọn kích thước dải hãm trượt tàu bay EMAS đối với Cảng hàng không Côn Đảo	1105
30.	Nguyễn Hữu	Lâm <i>et al</i> .	Đánh giá ảnh hưởng của rãnh kháng trượt đến chiều dày lớp nước trên mặt đường cất hạ cánh sân bay trong điều kiện trời mưa	1113
31.	Trần Hồng	Quân <i>et al</i> .	Dự báo ổn định mái dốc doanh trại ở Lâm Đồng, Tây Nguyên có xét đến lượng mựa	1121
32.	Nguyễn Thanh	Sang <i>et al</i> .	Nghiên cứu xây dựng hàm tương quan giữa sức chịu tải của cọc ống thép có 2 cánh xoắn với độ sâu vị trí cánh xoắn trên thân cọc làm việc trong nền cát san san hộ	1133
33.	Vũ Đức	Tài <i>et al</i> .	Nghiên cứu đề xuất biện pháp xử lý nền đất yếu bằng cọc xi mặng đất trên tuyến đường tuần tra biện gới tỉnh An Giang	1141
34.	Đỗ Văn	Thùy <i>et al</i> .	Úng xử của các mẫu cát chịu tải trọng chu kỳ trong điều kiện thoát nước và không thoát nước với các biên độ tải trọng khác nhau	1152
35.	Lê Văn	Tú <i>et al</i> .	Nghiên cứu hiệu quả giảm sóng tràn của kết cấu kè hắt sóng tai vùng biển xa bờ của việt nam	1165
36.	Nguyễn Văn	Hợi <i>et al</i> .	Nghiên cứu thực nghiệm xác định quy luật thay đổi mức cường đô tiếng ồn theo công suất nguồn gây ồn	1176
37.	Phan Thi Hải	Hồng	Nhân dang khuôn mặt: Tóm tắt công nghệ và ứng dung	1185
38.	Nguyễn Thị Hà	Phương <i>et al</i> .	A Survey of Pretrained Language Models for Machine	1186
39.	Nguyễn Mạnh	Tuấn <i>et al</i> .	Adaptive Feature Selection Applied in Cyberattack Detection Using Machine Learning Techniques	1194
40.	Trần Nam	Khánh <i>et al</i> .	Đánh giá hiệu quả áp dụng mô hình loại bỏ kính mắt trong nhận diện khuôn mặt	1202

TT	T Tác giả Tên bài báo		Tên bài báo	Trang				
41.	Vi Bảo	Ngọc <i>et al</i> .	Deep learning-based single object tracking methods on thermal infrared videos					
42.	Phan Thị Hải	Hồng <i>et al</i> .	Nhận dạng khuôn mặt: Tóm tắt công nghệ và ứng dụng					
43.	Vũ Thi	Ly <i>et al</i> .	ederated Learning for non-iid anomaly detection problem					
44.	Võ Khương	Lĩnh <i>et al</i> .	alware detection in PE files using Deep Learning with					
45.	Nguyễn Hữu	Nội <i>et al</i> .	Một hướng tiếp cận học bán giám sát sâu cho bài toán phát niên bất thường trong mạng IoT					
46.	Nguyễn Văn	Ngọc <i>et al</i> .	Nghiên cứu các kỹ thuật phát hiện bất thường từ ảnh X- quang lồng ngực	1262				
47.	Lê	Anh <i>et al</i> .	Nghiên cứu mô hình phát hiện bất thường trong video thông qua học đặc trưng từ các khung hình bình thường	1270				
48.	Trần Phương	Nam <i>et al</i> .	Nghiên cứu một số phương pháp phát hiện ảnh giả mạo	1283				
49.	Nguyễn Hoà Nhật	Quang <i>et al</i> .	Nghiên cứu và so sánh các thuật toán phân đoạn cho bài toán phát hiện đoạn bất thường trong dữ liệu chuỗi thời gian	1294				
50.	Phạm Thị	Thanh <i>et al</i> .	Nghiên cứu và ứng dụng học sâu cho bài toán nhận diện phát ngôn thù hân trong văn bản tiếng Việt					
51.	Nguyễn Đức	Linh <i>et al</i> .	Phát hiện đột biến gen dựa trên mô hình CNN					
52.	Nguyễn Kim	Thanh <i>et al</i> .	Public - key encryption - authentication schemes based on the elgamal cryptographic algorithm on elliptic curves	1332				
53.	Nguyễn Trọng	Tú <i>et al</i> .	So sánh hiệu suất các thuật toán Học máy và học sâu trong phân loại tin tức	1341				
54.	Nguyễn Chí	Công et al.	Tổng quan Reinforcement learning trong xử lý ngôn ngữ tự nhiên	1352				
55.	Bùi Văn	Bang <i>et al</i> .	Nghiên cứu động lực quay vòng xe chiến đấu bộ binh hiện đại BMP-3	1361				
56.	Phùng Chí	Cường <i>et al</i> .	Nghiên cứu lý thuyết dao động ngẫu nhiên xe tăng T54b cải tiến theo mô hình phi tuyến	1370				
57.	Nguyễn Viết	Tân <i>et al</i> .	Nghiên cứu tính toán hệ thống thủy lực dẫn động cơ cấu bơi cho xe thiết giáp chở quân	1381				
58.	Hoàng Văn	Dinh <i>et al</i> .	Xây dựng mô hình toán học chuyển động quay vòng của xe xích quân sự có xét đến tương tác xích - đất	1389				
59.	Phạm Văn	Đông et al.	Khảo sát ảnh hưởng của mấp mô mặt đường đến độ êm dịu chuyển động của xe	1400				
60.	Phùng Văn	Được et al.	Khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu đến cấu trúc tia phun của vòi phun kiểu air-blast ly tâm	1410				
61.	Nguyễn Văn	Dương <i>et al</i> .	Hoàn thiện thiết kế và đánh giá sức bến piston động cơ diesel trung tốc họ D-100	1418				
62.	Lê Tiến	Dương <i>et al</i> .	Nghiên cứu mài mòn cánh công tác máy nén tầng đầu tiên động cơ tuabin khí trực thăng bằng mô phỏng số	1427				
63.	Lê Văn	Dưỡng <i>et al</i> .	Nghiên cứu động lực học xe nâng người dạng gập thân	1435				

ТТ	Tác	giả	Tên bài báo	Trang
64.	Lưu Công	Hiển <i>et al</i> .	Xây dựng mô hình mô phỏng điều khiển tốc độ tự động của xe trong quá trình tăng tốc, phanh và duy trì tốc độ	1446
65.	Trần Văn	Hòa <i>et al</i> .	Xây dựng mô hình người lái cho hệ thống hỗ trợ giữ làn đường của ô tô tư hành	1454
66.	Nguyễn Mạnh	Hùng <i>et al</i> .	Nghiên cứu lựa chọn các thông số của bộ điều khiển dự báo MPC nhằm nâng cao độ chính xác làm việc của hệ thống điều khiển hành trình thích ứng Adaptive Cruise Control (ACC) trên ô tô	1465
67.	Bùi Quốc	Huy et al.	Khảo sát động lực học chuyển động thẳng xe thiết giáp bánh lốp chở quân sản xuất tai Việt Nam	1473
68.	Trần Thành	Lam <i>et al</i> .	Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số kết cấu hệ thống treo cabin đến độ êm dịu chuyển động của ô tô quân sự	1482
69.	Vũ Đức	Mạnh <i>et al</i> .	Nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện đầu vào dòng khí sau buồng đốt tới trạng thái nhiệt cánh phun tuabin cao áp	1490
70.	Lê Quang	Minh <i>et al</i> .	Nghiên cứu ứng dụng phần mềm MATHCAD trong tính toán đại lượng đặc trưng độ tin cậy của ô tô quân sự	1499
71.	Nguyễn Minh	Nhật <i>et al</i> .	Nghiên cứu xây dựng mô hình mô phỏng động lực học chuyển động phẳng của ô tô điện bốn bánh dẫn động độc lập.	1509
72.	Vũ Văn	Phong <i>et al</i> .	Thử nghiệm đánh giá ảnh hưởng của phụ gia nano đến đặc tính kỹ thuật và khí thải của động cơ diesel sử dụng nhiên liêu diesel sinh học	1521
73.	Mai Đức	Sơn <i>et al</i> .	Úng dụng phương pháp thử nghiệm tăng cường trong đánh giá đô bền của đĩa ma sát ly hợp chính xe xích quân sư	1528
74.	Nguyễn Văn	Tiến <i>et al</i> .	Nghiên cứu thay thế động cơ xăng bằng động cơ diezen trên xe thiết giáp M113	1536
75.	Nguyễn Thế	Uy et al.	Thiết kế, chế tạo hệ thống thí nghiệm điều khiển vòi phun xăng điên tử	1544
76.	Nguyễn Kim	Giáp <i>et al</i> .	Tính toán tham số cơ bản phục vụ thiết kế đầu tự dẫn tên lửa ra đa chủ đông	1552
77.	Nguyễn Hữu	Huấn <i>et al</i> .	Nghiên cứu và khảo sát phương pháp dẫn 3 điểm từ xa cải tiến cho tổ hợp tên lửa phòng không	1565
78.	Hồ Công	Quốc <i>et al</i> .	Thiết kế mô hình khảo sát đánh giá quỹ đạo bay tên lửa phòng không tầm thấp khi bắn các dang mục tiêu khác nhau	1573
79.	Nguyễn Xuân	Trường <i>et al</i> .	Xây dựng mô hình mạng Bayes giải bài toán tự động đánh giá tình huống trên không	1582
80.	Nguyễn Minh	Tú <i>et al</i> .	Nghiên cứu tổng hợp luật dẫn và điều khiển tích hợp cho tên lửa trên cơ sở điều khiển trượt	1591
81.	Đinh Ngọc	Tú <i>et al</i> .	Nghiên cứu, khảo sát động lực học của bom hàng không khi lắp thêm mô đụn cánh tăng tầm	1604
82.	Nguyễn Văn	Tuệ <i>et al</i> .	Phương pháp hiệu chỉnh quỹ đạo bằng ma trận động cơ xung và hệ thống định vị toàn cầu (GNSS)	1613
83.	Hoàng Mạnh	Tưởng <i>et al</i> .	Xác định góc lệch phương thẳng đứng cho các trục hình trụ nhờ sử dụng thiết bị quán tính	1622

TT	Tác g	giả	Tên bài báo	Trang
84.	Bùi Nam	Tiến <i>et al</i> .	Nghiên cứu cải tiến mô hình YOLO phát hiện mục tiêu cho đối tượng quân sự	1630
85.	Hồ Khánh	Trung et al.	Nghiên cứu nâng cao chất lượng phát hiện các vật thể nhỏ bằng thuật toán YOLOv5 cải tiến	1640
86.	Nguyễn Văn	Tuấn <i>et al</i> .	Nhận dạng hệ số lực nâng máy bay sử dụng mô hình nơron phản ứng đột biến và thuật toán lan truyền ngược sai số đột biến với tốc độ học thích nghi	1648
87.	Hồ Sĩ	Vinh <i>et al</i> .	Úng dụng phương pháp điều khiển trượt trên mô hình ổn đinh hai bâc tư do	1658
88.	Lưu Bá	Lâm <i>et al</i> .	A navigation framework for unmanned surface vehicle (USV) in dynamic and unknown environment	1666
89.	Lê Xuân	Quỳnh <i>et al</i> .	Nghiến cứu thuật toán điều khiển thích nghi điều chỉnh điện áp máy phát điên trên tàu thủy	1677
90.	Phạm Trần Quyền	Anh et al.	Lập kế hoạch đường đi cho robot tự hành hai bánh vi sai trên cơ sở thuật toán A* kết hợp với thuật toán TEB	1690
91.	Phan Anh	Tuấn <i>et al</i> .	Tổng hợp bộ điều khiển mờ lai Fuzzy - PI cho hệ truyền động bám sát khi có sư thay đổi đôt biến của tải	1701
92.	Vũ	Quân <i>et al</i> .	Sử dụng cảm biến Flex theo dõi đánh giá tình trạng bệnh Parkinson	1711

Nâng cao chất lượng phân loại các hành vi con người dựa vào dấu hiệu Micro-Doppler thu được từ Radar FMCW có tác động của nhiễu

Nguyễn Ngọc Bình¹

¹Khoa Vô tuyến điện tử, Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt

Ngày nay, các mạng nơ ron chập sâu (Deep Convolutional Neural Networks - DCNNs) cùng với những ưu điểm vượt trội đang được sử dụng rộng rãi để phân loại các hành vi con người dựa trên các dấu hiệu micro-Doppler (m-D) thu được từ các cảm biến radar. Tuy nhiên, tín hiệu m-D thu về từ radar thường bị ảnh hưởng rất lớn của nhiễu, làm giảm đáng kể độ chính xác phân loại của các mô hình hiện có. Một cách tiếp cận mới để cải thiện độ chính xác trong phân loại các hành vi của con người dựa trên các tín hiệu bị tác động bởi nhiễu Gauss trắng được đề xuất trong nghiên cứu này. Phương pháp đề xuất dựa vào giá trị entropy cực tiểu của tín hiệu để lựa chọn ra chỉ số rangebin tối ưu đối với các mức nhiễu khác nhau. Hiệu quả phương pháp đề xuất được kiểm nghiệm bởi 4 mạng DCNNs hiện có trên tập dữ liệu mô phỏng với 6 mức nhiễu khác nhau.

Từ khóa: micro-Doppler (m-D), DCNNs, nhiễu Gauss trắng.

1. Đặt vấn đề

Trong vài năm trở lại đây, một vấn đề về chăm sóc sức khỏe đang thu hút nhiều sự quan tâm là việc phát hiện kịp thời và phân loại các hành vi của con người một cách chính xác. Điều này đóng vai trò quan trọng trong việc phát hiện kịp thời các hoạt động bất thường, tiềm ẩn nguy hiểm như té ng ã do đột quỵ, nhồi máu cơ tim, đặc biệt đối với người già và người có nhu cầu đặc biệt [1]. Những hoạt động như vậy có thể được giám sát bằng thiết bị đeo, máy ảnh và cảm biến hiện đại. Mặc dù các thiết bị đeo như điện thoại thông minh hay đồng hồ thông minh mang lại những lợi ích vượt trội nhưng chúng có thể gây bất tiện cho người dùng khi đeo liên tục. Ngoài ra, các thiết bị dựa trên thị giác có thể gây lo ngại về quyền riêng tư cá nhân [2] và không thể hoạt động trong điều kiện đêm tối hoặc có sương mù. Do đó, cảm biến radar là một trong những giải pháp tối ưu nhất để phân loại các hoạt động của con người do nó có thể hoạt động trong môi trường thiếu sáng, bảo vệ sự riêng tư cá nhân và ổn định trong mọi điều kiện thời tiết.

Khi con người di chuyển và thực hiện các hoạt động hàng ngày, các chuyển động đồng thời của các bộ phận khác nhau, chẳng hạn như vung tay, chân; xoay, cúi, gập người được định nghĩa là chuyển động vi mô so với chuyển động tịnh tiến của cơ thể. Các chuyển động vi mô này tạo ra hiệu ứng m-D, được coi là một biến điệu bổ sung trong sự dịch chuyển tần số Doppler của toàn bộ chuyển động. Mỗi hoạt động cung cấp một dấu hiệu m-D duy nhất bắt nguồn từ các khớp nối chuyển động phức tạp của thân và các chi [3]. Các tín hiệu radar m-D của các hoạt động khác nhau của con người, được mô tả trong ảnh phổ, đã được sử dụng rộng rãi để xác định và phân loại các hoạt động của con người [4].

Trong những năm gần đây, nghiên cứu về phát hiện và phân loại các hoạt động của con người dựa vào các dấu hiệu m-D đã và đang thu hút được sự chú ý của các nhà khoa học. Các phương pháp tiếp cận không học máy (non-machine learning) đã được sử dụng trong [5] và [6] để trích xuất các đặc trưng một cách thủ công. Bên cạnh đó các nghiên cứu về sử dụng học máy (machine learning) cũng được công bố một cách rộng rãi. Trong [7], các mạng DCNN đã được áp dụng để phân loại con người với con vật, ô tô và phân loại các hoạt động khác nhau của con người, tuy nhiên kết quả độ chính xác phân loại mới chỉ dừng lại ở 90%. Ngoài việc sử dụng các mạng tự thiết kế đơn giản để phân loại hoạt động, trong [8], nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp học chuyển giao (transfer learning) dựa trên mạng ResNet và đạt được độ chính xác trên 95%. Tương tự như vậy, Fahad và cộng sự [9] đã thực hiện phân loại các hoạt động trong nhà bằng cách thực hiện học chuyển giao sử dụng Alex-Net và VGG-Net đạt được độ chính xác lần lượt là 94.82% và 95.81%.

Ngày nay, các mạng DCNNs đã có khả năng phân loại tốt các hành vi của con người dựa trên tập dữ liệu ảnh phổ đầu vào được biểu diễn dưới dạng hình ảnh. Tuy nhiên, khi xét dữ liệu đầu vào bị tác động bởi nhiễu (cụ thể ở đây là nhiễu Gauss trắng) thì các dấu hiệu đặc trưng được trích xuất để phân loại các hành vi này lại bị chìm dưới nền nhiều, điều này dẫn đến sự suy giảm đáng kể về độ chính xác của phân loại. Mặc dù các DCNNs có các lớp bổ sung và cấu trúc sâu hơn có thể duy trì độ chính xác phân loại ổn định cho các hành động bị ảnh hưởng bởi các mức nhiễu khác nhau, nhưng chúng sẽ cần một lượng lớn dữ liệu và chi phí xử lý đáng kể. Do đó, để cải thiện tốc độ nhận dạng chính xác của DCNNs, trong khi chúng không cần thêm dữ liệu đầu vào và duy trì độ phức tạp tính toán hợp lý, việc giảm thiểu sự tác động của nhiễu bằng cách lựa chọn các range-bin index hợp lí sẽ cải thiện được vấn đề này.

Trong nghiên cứu này, bằng cách dựa vào giá trị thông tin entropy cực tiểu [10] chúng tôi đề xuất thuật toán lựa chọn các chỉ số range-bin tối ưu để cải thiện độ chính xác phân loại các hành vi người dưới sự tác động của 6 mức nhiễu khác nhau. Cuối cùng, bốn mạng DCNNs hiện đại được sử dụng để phân loại hoạt động của con người và đánh giá hiệu suất của kỹ thuật được đề xuất.

Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau: phần 2 mô tả quá trình thu thập và xử lý dữ liệu của radar FMCW. Thuật toán đề xuất được giới thiệu trong phần 3. Phần 4 trình bày kết quả thực nghiệm và thảo luận. Cuối cùng, phần 5 là kết luận.

2. Thu thập và xử lý dữ liệu

2.1. Thu thập dữ liệu của radar FMCW



Hình 1. Nguyên lý hoạt động của radar FMCW

Sơ đồ nguyên lý hoạt động của hệ thống radar radar sóng liên tục điều chế tần số (Frequency-modulated continuous wave- FMCW) được mô tả ở Hình 1. Bộ tạo dạng sóng (waveform-generator-WG) tạo tín hiệu điều khiển cho bộ dao động điều khiển điện áp (voltage-controlled oscillator-VCO) để phát ra tín hiệu radar FMCW radar có tần số thay đổi theo thời gian. Tín hiệu sau đó được chia thành hai nhánh, nhánh thứ nhất đi đến anten phát (TX) để phát đến mục tiêu, nhánh còn lại được đưa đến bộ trộn ở máy thu.

Tín hiệu phát của radar FMCW có thể được biểu diễn như sau [11]:

$$S(t) = A_t \cos(2\pi (f_0 t + \frac{\Delta B}{2\tau} t^2))$$
(1)

Trong đó, ΔB là băng thông, τ là thời lượng mỗi chirp, A_t và f_0 lần lượt là biên độ và tần số sóng mang của tín hiệu phát. Khi tín hiệu S(t) được phát vào không gian, gặp mục tiêu sẽ có tín hiệu phản xạ về lại anten thu của radar. Lúc này, tín hiệu tại đầu vào máy thu được biểu diễn như sau:

$$R(t) = A_r \cos(2\pi (f_0(t - t_d) + \frac{\Delta B}{2\tau} (t - t_d)^2)$$
(2)

 $t_d = \frac{2(D_0 + vt)}{c}$ là thời gian trễ của tín hiệu thu. D_0 là khoảng cách từ mục tiêu đến anten

thu tại thời điểm t = 0, ν là vận vận tốc di chuyển của mục tiêu và c vận tốc ánh sáng. Tại máy thu, tín hiệu R(t) được trộn với tín hiệu phát S(t), sau đó thông qua một bộ

lọc thông thấp (low pass filter-LPF) để thu được tín hiệu IQ cho các bước xử lý tiếp theo

$$R_{IQ}(t) = A_m \exp\{2\pi(\frac{2f_0 D_0}{c} + (\frac{2f_0 \cdot \nu}{c} + \frac{2\Delta B \cdot D_0}{\tau})t)\}$$
(3)

Trong đó, $A_m = \frac{A_t A_r}{2}$ là biên độ của tín hiệu IQ thu được sau bộ lọc thông thấp. Bằng phân tích phẩ m D của IE signal, tạ có thể phân loại được các hoạt động của con người

cách phân tích phổ m-D của IF signal, ta có thể phân loại được các hoạt động của con người dựa vào các dấu hiệu m-D.

2.2. Quy trình xử lý dữ liệu



Hình 2. Quy trình xử lí dữ liệu

Hình 2 trình bày chi tiết quy trình xử lý FMCW từ tín hiệu IF và kết quả thu được là range-profile hoặc ảnh phổ có chứa các dấu hiệu m-D của mục tiêu [12]. Tín hiệu IF (dữ liệu thô), theo dạng sóng răng cưa điển hình, bao gồm M chirps. Đối với mỗi chirp, dữ liệu được

lấy mẫu với số lượng các ô tần số (frequency bin) là N (Hình 2a). Thuật toán biến đổi Fourier nhanh (fast Fourier transform-FFT) lần thứ nhất được áp dụng trực tiếp cho mỗi chirp theo chiều fast-time, các range-bin tương ứng từng chirp sẽ được lưu trữ trong ma trận range-time (Hình 2b). Qúa trình xử lý biến đổi Fourier này sẽ biểu thị cho sự hiện diện của các mục tiêu tại các khoảng cách khác nhau. Quá trình xử lý này được gọi là range-FFT và kết quả là ta sẽ thu được range-profile của mục tiêu tương ứng (Hình 2d).

Tiếp theo, ảnh phổ có chứa các dấu hiệu m-D của mục tiêu thu được bằng cách sử dụng biến đổi Fourier thời gian ngắn (short-time Fourier transform-STFT) các range-bin theo chiều slow-time (Hình 2c). Kết quả sẽ thu được ảnh phổ có chứa các dấu hiệu m-D tương ứng với các hoạt động khác nhau của mục tiêu (Hình 2e).

Trong nội dung nghiên cứu, thay vì áp dụng STFT trên tất cả các range-bin hay với bất kì một giá trị chỉ số range-bin cụ thể nào; chúng tôi sẽ lựa chọn ra một vùng lân cận các chỉ số range-bin có giá trị cao nhất tập trung tối ưu vào đối tượng để tạo ra ảnh phổ m-D theo thời gian làm đầu vào phân loại của các mạng DCNN.

3. Lựa chọn vùng range-bin tối ưu dựa vào giá trị entropy cực tiểu

Như đã trình bày trong Phần 2, các dấu hiệu m-D của mục tiêu thu được bằng cách sử dụng STFT trên tất cả các range-bin theo chiều slow-time. Tuy nhiên đối với trường hợp tín hiệu có sự tác động của nhiễu (cụ thể ở đây là nhiễu Gauss trắng - white Gauss Noise) thì việc lựa chọn các vùng range-bin tối ưu để trích xuất các dấu hiệu m-D là một trong những phương pháp giảm nhiễu hiệu quả.



Hình 3. Range profile và biểu diễn FFT của 1 chirp cụ thể

Hình 3a,c biểu diễn range-profile của hoạt động đi bộ với dữ liệu sạch (dữ liệu đo ban đầu chưa thêm nhiễu) và dữ liệu có mức tỷ lệ tín trên tạp (signal-to-noise ratio-SNR) là 5dB. Trong cả hai trường hợp, mục tiêu được phát hiện tại khoảng range-bin thứ 8 và dao động trong khoảng từ range-bin thứ 6 đến range-bin thứ 10 trong suốt quá trình chuyển động

Hình 3b,d lần lượt biểu diễn kết quả FFT của 1 chirp cụ thể tương ứng với dữ liệu sạch và dữ liệu có mức SNR là 5dB. Quan sát chi tiết, Hình 3d thể hiện mức năng lượng tập trung lớn nhất đại diện cho mục tiêu xuất hiện ở range-bin thứ 8 (tương tự Hình 3b), các đỉnh năng lượng ngoài vùng nét đứt màu đỏ được xem là nhiễu. Do đó, trong nội dung tiếp theo, nhóm tác giả sẽ sử dụng giá trị entropy cực tiểu để xác định khoảng chỉ số range-bin tối ưu nhất với mục đích loại bỏ các thành phần nhiễu không mong muốn.

3.1. Thông tin Entropy 3.1.1 Định nghĩa Cho dãy phân bố xác suất rời rạc $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, theo định nghĩa entropy thông tin, entropy thông tin của nó có thể viết là $H(p) = -\sum_i p_i \ln p_i$, trong đó $i = 1, 2, \dots, n$ đại diện cho tất cả các giá trị có thể có của biến ngẫu nhiên đầu ra và p_i biểu thị xác suất của từng giá trị. Bằng cách tương tự, trong phân bố tần số thời gian của tín hiệu, nếu phân bố tần số của tín hiệu tại một thời điểm nhất định, $p = (p_1, p_2, \dots, p_F)$ được coi là một chuỗi phân bố xác suất, khi đó phân bố xác suất tần số của tín hiệu tại thời điểm *t* có thể thu được là

$$p_t(f) = \frac{|X(t,f)|^2}{\int_{-\infty}^{\infty} |X(t,f)|^2 \,\mathrm{d}f}$$
(4)

trong đó X(t, f) là mức năng lượng của tín hiệu tại thời điểm (t, f). Khi đó tại thời điểm t, entropy thông tin của tần số chứa trong tín hiệu có thể được viết là

$$H_t(p_t) = -\sum_F p_t \ln p_t \tag{5}$$

 $H_t(p_t)$ được gọi là hàm entropy, dùng để đo và biểu thị entropy thông tin. *F* là đơn vị của độ phân giải tần số và giá trị của nó liên quan đến độ dài thời gian của tín hiệu và thuật toán phân tích tần số thời gian.

3.1.2 Tiêu chí entropy cực tiểu

Phân bố tần số thời gian từ STFT của tín hiệu có thể được hiểu là chuỗi phân bố xác suất. Và phân bố xác suất của đơn vị phân giải tần số tại thời điểm t có thể được định nghĩa là

$$p_t(u) = \frac{\left|X_{\text{STFT},r}(t,u)\right|^2}{\int_{-\infty}^{\infty} \left|X_{\text{STFT},r}(t,u)\right|^2 du}$$
(6)

Trong đó, $X_{\text{STFT},r}(t,u)$ là STFT của tín hiệu đầu vào, x(t), với khoảng chỉ số range-bin được chọn là *r*. Do đó, entropy thông tin có thể được biểu diễn dưới dạng

$$H_t(p_t) = -\int_{-\infty}^{\infty} p_t(u) \cdot \ln p_t(u) du$$
(7)

Để thuận tiện cho việc tính toán, (6) và (7) có thể được chuyển đổi thành dạng rời rạc dưới dạng

$$p_{m}(k) = \frac{\left|X_{\text{STFT},r}(m,k)\right|^{2}}{\sum_{k=1}^{M} \left|X_{\text{STFT},r}(m,k)\right|^{2}}$$
(8)

$$H_m = -\sum_{k=1}^M p_m(k) \cdot \ln p_m(k)$$
(9)

Trong trường hợp này, H_m là entropy thông tin của phân bố tần số tại thời điểm m sau STFT. Giá trị entropy thông tin trung bình thu được trên toàn bộ các ô thời gian trên toàn chiều dài tín hiệu, M, được biểu diễn như sau:

$$H_{avg}(r) = \frac{\sum_{m=1}^{M} H_m}{M}$$
(10)

Độ lớn của $H_{avg}(r)$ có thể phản ánh sự tổng hợp năng lượng của phân bố tần số thời gian của tín hiệu với khoảng chỉ số range-bin được chọn là *r*. Với các khoảng range-bin được

xem xét lựa chọn khác nhau, bằng cách tìm kiếm entropy thông tin cực tiểu, có thể xác định vùng chỉ số range-bin tối ưu để đạt được mức tổng hợp năng lượng cao nhất. Do đó, để có được sự tổng hợp tần số thời gian tốt nhất, tiêu chí về entropy thông tin cực tiểu được sử dụng cho STFT bằng cách tìm chỉ số range-bin tối ưu, r, sao cho giá trị $H_{avg}(r)$ trong phương trình (10) đạt được là nhỏ nhất.

3.2. Lựa chọn khoảng range-bin tối ưu

Tại mỗi chirp, sau khi thực hiện FFT lần thứ nhất dọc theo trục fast time, xác định chỉ số range-bin có giá trị cao nhất (idx_{max}). P_{max} là một vecto bao gồm M phần tử chứa các chỉ số range-bin có giá trị độ lớn cao nhất sau FFT của tất cả M chirp. Sau đó, xác định idx_{max} là chỉ số được lặp lại nhiều nhất trong P_{max} .

Tiếp theo, $\mathbf{r} = \{r_1, r_2, ..., r_Q\}$ là một chuỗi các giá trị của các khoảng range-bin được lựa chọn để xem xét (các giá trị này được chọn dựa trên kinh nghiệm). Sau đó, \mathbf{r} là thư viện chỉ số range-bin, mỗi phần tử trong thư viện range-bin $r_q, q = 1, 2, ..., Q$ được lựa chọn lần lượt trong quá trình thực hiện thuật toán STFT. Tương ứng với mỗi giá trị r_q , khoảng range-bin được lựa chọn là: $range_{r_q} = (idx_{max} - r_q : idx_{max} + r_q)$

Thuật toán STFT cho tín hiệu đầu vào tại idx_{max} có thể được viết là:

$$STFT_{idx_{\max}}(t,f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)w(t-\tau)\exp(-j\omega t)dt$$
(11)

Giá trị STFT thu được với khoảng range-bin được lựa chọn tương ứng với phần tử thứ q trong hàm thư viện r được định nghĩa:

$$STFT_{range_{r_q}}(t,f) = \sum_{idx_{\max} - r_q}^{idx_{\max} + r_q} STFT_{idx_{\max}}(t,f)$$
(12)

Giá trị $H_{avg}(range_{r_q})$ của $STFT_{range_{r_q}}(t, f)$ tương ứng với phần tử thứ q trong hàm thư viện **r** được tính theo phương trình 10. Sau đó, r_{opt} được tính theo Phương trình 11.

$$r_{opt} = \arg\min_{1 \le q \le Q} H_{avg}(range_{r_q})$$
(13)

Cuối cùng, khoảng ô-cự ly tối ưu đọc lựa chọn là: $range_{opt} = (idx_{max} - r_{opt} : idx_{max} + r_{opt})$.

4. Các kết quả thực nghiệm và thảo luận

4.1. Mô tả tập dữ liệu

Bộ dữ liệu được sử dụng trong bài viết này là bộ dữ liệu phần mềm Simhumalator [13]. Dữ liệu được thu thập bằng radar FMCW, hoạt động ở tần số 24 GHz (băng tần K) với băng thông 400 MHz, độ dài chirp là 1 ms và tốc độ lấy mẫu là 128 mẫu trên mỗi chirp. Radar được bố trí cách mặt đất 1 m, khoảng cách từ radar đến mục tiêu là 3 m. Tổng cộng có 11 hành động riêng biệt được thực hiện và lặp lại 60 lần với các góc quan sát khác nhau lần lượt là -90° , -45° , 0° , 45° , 90° . Thời gian cho mỗi lần thực hiện là 8–15 giây tùy thuộc vào từng hoạt động. Ngoài ra, nhiễu Gauss trắng được thêm vào tập dữ liệu với các giá trị tỷ lệ tín trên tạp (signal-to-noise ratio-SNR) nằm trong khoảng từ -15 đến 10 dB để sát với điều kiện phân loại thực tế và nâng cao tính thử thách của mô hình. Do đó, tập dữ liệu tín hiệu thô bao gồm 19800 mẫu, thu được bằng cách kết hợp 11 hoạt động, 5 góc quan sát, 60 lần lặp và 6 mức nhiễu. Tập dữ liệu được chia thành 80% cho huấn luyện và đánh giá, 20% còn lại để kiểm tra.

4.2. Kết quả lựa chọn vùng range-bin tối ưu

 $r = \{0,1,2,3\}$ là thư viện chỉ số range-bin được lựa chọn để đánh giá. Hình 4 biêu diễn ảnh phổ tương ứng với các khoảng range-bin được lựa chọn khác nhau tại mức SNR là 5dB. Cụ thể, Hình 4 a,f biểu diễn ảnh phổ của hành động đi bộ và ngã tại mức SNR là 5dB được thực hiện STFT trên toàn bộ các range-bin của range profile. Hình 4(b-e) và 4(g-j) biểu diễn ảnh phổ của hai hoạt động khi thực hiện STFT với các khoảng chỉ số range-bin được lựa chọn khác nhau, lần lượt là r = 0, r = 1, r = 2, và r = 3. Quan sát cụ thể trên Hình 4b, g, với r = 0 (tương ứng với chỉ chọn 1 giá trị range-bin cực đại, idx_{max}), ảnh phổ đã được khử nhiễu đáng kể và các dấu hiệu m-D được thể hiện rõ ràng hơn. Tuy nhiên, một số vùng dấu hiệu lân cận chứa các dấu hiệu m-D nhỏ hơn, chi tiết hơn của các chi chưa được thể hiện rõ nét bằng Hình 4c, h (vùng khoanh tròn nét đứt màu đỏ). Đối với Hình 4d, e, i, j, các đặc trưng cũng được cải thiện rõ hơn tuy nhiên vẫn còn bị tác động bởi nền nhiễu. Với r = 1 (Hình 4c, h), mức năng lượng và các dấu hiệu m-D được thể hiện rõ nét nhất đối các chi tiết của thân và các chi trên ảnh phổ thu được.



Hình 4. Ảnh phổ với các khoảng range-bin được lựa chọn khác nhau

Bên cạnh đó, kết quả được thể hiện trong Bảng 1 cũng cho thấy giá trị entropy cực tiểu đạt được với r=1, tương ứng với khoảng range-bin tối ưu được lựa chọn là 3. Một kết quả tương tự với mức SNR là 0dB cũng được thể hiện trong Bảng 1.

Heat động	Giá trị thông tin entropy						
noạt ượng	Noise	r = 0	r = 1	r = 2	r = 3 2.63 3.06 3.42 3.66		
WTF(5dB)	3.77	2.46	2.34	2.5	2.63		
W(5dB)	4.2	3.03	2.88	2.94	3.06		
WTF(0dB)	5.37	3.46	2.96	3.22	3.42		
W(0dB)	5.4	3.61	3.3	3.37	3.66		

Bảng 1. Kết quả độ chính xác phân loại

^{4.3.} Kết quả phân loại các hoạt động đối với hai tập dữ liệu

Trong phần này, bốn mạng DCNN, bao gồm RepVGG [14], MobileNet-V2 [15], ResNet [16], và Dop-DenseNet [17] được sử dụng để phân loại các hoạt động hàng ngày của con người trên cả hai bộ dữ liệu (nhiễu và khử nhiễu). Quá trình huấn luyện được thực hiện bởi một máy tính có cấu hình phần cứng Intel (R) Core [™] i5-12400F 2.5Ghz, RAM 32 GB và GPU RTX 3060Ti. Kích thước batch size sử dụng là 16 với tốc độ huấn luyện là 0.0001 trong 20 lần lặp (epoch). Đánh giá chéo năm lần được sử dụng để đánh giá sự cải thiện về độ chính xác phân loại.

Các kết quả phân loại được thực hiện trên hai bộ dữ liệu (nhiễu và khử nhiễu) bởi bốn mạng DCNNs được thể hiện trong Bảng 2. Tỷ lệ phân loại chính xác của cả bốn mạng đã được cải thiện đáng kể đối với tập dữ liệu đã được khử nhiễu, chứng minh rằng thuật toán đề xuất thực sự góp phần nâng cao độ chính xác nhận dạng các hoạt động của con người. Cụ thể, độ chính xác phân loại của tất cả các mô hình được cải thiện khoảng trên 4% đối với tập dữ liệu đã được khử nhiễu, khở nhiễu, đặc biệt là RepVGG với độ chính xác tăng gần 10%.

	RepVGG	MobileV2	ResNet	Dop-DenseNet
Tập dữ liệu nhiễu	80.9	90.61	91.94	88.83
Tập dữ liệu được khử nhiễu	90.53	95.37	96	96.65

Bảng 2. Kết quả độ chính xác phân loại

5. Kết luận

Nghiên cứu đề xuất thuật toán lựa chọn chỉ số range-bin tối ưu dựa vào giá trị entropy cực tiểu để khử nhiễu cho tín hiệu đầu vào. Phương pháp này được sử dụng như một bước tiền xử lý để nâng cao độ chính xác phân loại của các hoạt động hàng ngày của con người dựa vào các dấu hiệu m-D thu được từ radar FMCW. Kết quả thực nghiệm chứng minh rằng tập dữ liệu được khử nhiễu bằng phương pháp đề xuất với giá trị khoảng range-bin được lựa chọn là 3 đã cải thiện độ chính xác phân loại lên tới gần 10% so với tập dữ liệu ban đầu chưa được khử nhiễu.

Tài liệu tham khảo

- W. Li, T. H. M. Keegan, B. Sternfeld, S. Sidney, C.P. Quesenberry, and J. L. Kelsey, "Outdoor falls among middle-aged and older adults: a neglected public health problem," American Journal of Public Health, vol. 96, no. 7, pp. 1192-1200, July 2006.
- R. Igual, C. Medrano, and I. Plaza, "Challenges, issues and trends in fall detection systems," BioMedical Engineering OnLine, vol. 12, no.1, p.66, 2013.
- V. Chen, F. Li, S.-S. Ho, and H. Wechsler, "Micro-doppler effect in radar: phenomenon, model, and simulation study," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 42, no. 1, pp. 2–21, jan 2006.
- 4. Y. Kim and H. Ling, "Human activity classification based on microdoppler signatures using a support vector machine," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 47, no. 5, pp.1328–1337, may 2009.
- 5. Z. Sun, J. Wang, J. Sun, and P. Lei, "Parameter estimation method of walking human based on radar micro-Doppler," in 2017 IEEE Radar Conference (RadarConf), 2017: {IEEE}.
- F. Fioranelli, M. Ritchie, S. Z. Gurbuz, and H. Griffiths, "Feature Diversity for Optimized Human Micro-Doppler Classification Using Multistatic Radar," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 53, pp. 640–654, April 2017.

- Y. Kim and T. Moon, "Human Detection and Activity Classification Based on Micro-Doppler Signatures Using Deep Convolutional Neural Networks," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 13, pp.8–12, January 2016.
- 8. H. Du, Y. He, and T. Jin, "Transfer Learning for Human Activities Classification Using Micro-Doppler Spectrograms," in 2018 IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM), 2018: {IEEE}.
- F. A. Jibrin, A. Abdulaziz, A. S. Muhammad, A. D. Usman, and Y.Jibril, "Indoor Human Activity Classification Based on FMCW Radar Micro-Doppler Signatures and Deep-Learning Networks," in 2021 1st International Conference on Multidisciplinary Engineering and Applied Science ({ICMEAS}), 2021: {IEEE}.
- Bing Deng, Dan Jin, Junbao Luan, "Adaptive Short-Time Fractional Fourier Transform Based on Minimum Information Entropy," in Journal of Beijing Institute of Technology, 2021, 30(3): 265-273.
- 11. V. Winkler, "Range doppler detection for automotive FMCW radars," in 2007 European Microwave Conference. IEEE, 2007.
- 12. Fioranelli, H.F.; Griffiths, M.R.; Balleri, "A. Micro-Doppler Radar and Its Applications; The Institution of Engineering and Technology", Stevenage, UK, 2020
- S. Vishwakarma, W. Li, C. Tang, K. Woodbridge, R. Adve, and K. Chetty, "SimHumalator: An Open-Source End-to-End Radar Simulator for Human Activity Recognition," IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 37, pp. 6–22, March 2022.
- X. Ding, X. Zhang, N. Ma, J. Han, G. Ding, and J. Sun, "Repvgg: making vgg-style convnets great again," in Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2021, pp. 13733-13742.
- 15. M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, and L.-C. Chen, "Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks," 2018.
- 16. K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," 2015.
- Le, Hai & Hoang, Van-Phuc & Doan, Sang & Le, Dai, "Dop-DenseNet: Densely Convolutional Neural Network-Based Gesture Recognition Using a Micro-Doppler Radar", Journal of Electromagnetic Engineering and Science. 22. 335-343. 10.26866/jees.2022.3.r.95.

828

Improving the quality of human behavior classification based on Micro-Doppler signals obtained from FMCW Radar with noise effects

Abstract: Nowadays, deep convolutional neural networks (DCNNs), along with their outstanding advantages, are being widely used to identify human activities based on micro-Doppler (m-D) signatures obtained from radar sensors. However, m-D signals obtained from radar are often greatly affected by noise, which significantly reduces the classification accuracy of existing models. A new approach to improve the classification accuracy of human behaviors based on signals affected by white Gaussian noise is proposed in this study. The proposed method is based on the minimum entropy value of the signal to select the optimal range-bin index for different noise levels. The effectiveness of the proposed method is tested by four existing DCNNs on simulated data sets with six different noise levels.

Keywords: micro-Doppler (m-D), DCNNs, white Gauss noise.

Thuật toán định hướng trên cơ sở phân bố không gian thời gian tần số dùng cho các hệ thống sonar thụ động

Nguyễn Thanh Chinh^{1*}, Nguyễn Ngọc Đông¹, Phạm Khắc Hoan¹

¹Khoa Vô tuyến điện tử, Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt

Bài báo đã xem xét tổng quan về các thuật toán định hướng trên cơ sở phân bố không gian thời gian tần số (spatial time frequency distribution: STFD), bao gồm mô hình hệ thống, cơ sở toán học và lịch sử phát triển. Đồng thời, bài báo cũng đã xem xét một số loại mô hình mục tiêu và các phương pháp ước lượng hướng trên cơ sở STFD điển hình. Một giải pháp mới được đề xuất áp dụng cho các mục tiêu biển có chân vịt, đó là sự kết hợp của sự chọn lọc các đặc tính đặc trưng (character specifies selection: CSS) của mục tiêu với sự định hướng trên cơ sở STFD, giải pháp CSS-STFD-DOA. Giải pháp này tăng cường tiền xử để loại bỏ nhiễu và chỉ chọn lọc các thành phần phổ vạch đặc trưng của chân vịt trên vùng tần số hạ âm. Các kịch bản mô phỏng được thực hiện để đánh giá chất lượng của thuật toán sử dụng dữ liệu mô phỏng đầu vào xây dựng trên cơ sở các tín hiệu thực địa. Kết quả mô phỏng cho thấy, giải pháp CSS-STFD-DOA, đặc biệt khi xử lý các tín hiệu dải rộng.

Từ khóa: Sonar; định hướng (DOA); phân bố thời gian tần số (TFD); mục tiêu biển; chân vịt.

1. Mở đầu

Phân bố thời gian tần số (time-frequency distribution: TFD) được sử dụng rất nhiều trong các lĩnh vực của đời sống xã hội cũng như trong quốc phòng an ninh, bao gồm: xử lý giọng nói, xử lý các tín hiệu y sinh, ứng dụng trong xử lý tín hiệu sonar, radar và các hệ thống định vị toàn cầu. Trong những năm gần đây, hầu hết các nghiên cứu về TFD bậc hai đã tập trung vào các cấu trúc tín hiệu thời gian đơn thành phần và đa thành phần và các biểu diễn tần số thời gian (t-f) tương ứng. Việc này dẫn đến những tiến bộ lớn trong phân tích và xử lý tín hiệu không dừng. Trong bài toán định hướng, TFD được xem xét trên cơ sở một mạng các cảm biến sắp đặt theo một trật tự nào đó trong không gian, việc xem xét này hình thành phân bố không gian thời gian tần số (spatial time-frequency distribution: STFD). Bài toán định hướng (direction of arrival: DOA) trên cơ sở STFD ngày càng được quan tâm vì những lợi thế vượt trội của phương pháp này.

Kết quả công bố [1] đã đề xuất một phương pháp mới để ước lượng DOA theo một tình huống chưa xác định, sử dụng kết hợp theo dõi tiếng ồn nền, phát hiện nguồn và thử nghiệm kết hợp để xác định tốt nguồn chiếm ưu thế trong ngăn t-f. Tiếp theo, các hàm riêng quan trọng nhất của ma trận hiệp phương sai tương ứng với các ngăn này được nhóm lại và việc ước lượng hướng được thực hiện trên cơ sở trọng tâm cụm. Dey và cộng sự [2] cũng đề xuất một ứng dụng của tai nghe thông minh cho phép truyền âm thanh giọng nói có chọn lọc trong môi trường. Thuật toán này được chia thành hai phần: phần đầu tiên là thuật toán phát hiện giọng nói trường xa công suất lớn trên môi trường tiếng ồn nền lớn; phần thứ hai là định vị nguồn âm. Ứng dụng của kỹ thuật này là một hệ thống tai nghe thông minh, trong đó người dùng có thể nghe nhạc qua tai nghe và nghe giọng nói từ một hướng xác định.

¹* Email: thanhchinh.nguyen.navy@lqdtu.edu.vn

Năm 2021, Feng và cộng sự đã đề xuất thuật toán ước lượng DOA cho tín hiệu băng rộng [3]. Thuật toán này đã sử dụng quy trình phân rã thích nghi nhanh tín hiệu dựa trên các biến đổi chuỗi ngắn (chirplet) để xây dựng ma trận hiệp phương sai t-f. Việc phân chia không gian con được tiến hành tương tự như thuật toán MUSIC (multiple signal classification) và ESPRIT (estimation of signal parameters via rotational invariant techniques) truyền thống [3]. Việc chồng chập đã được thực hiện cho không gian con băng hẹp và băng rộng để xây dựng một ma trận t-f chung đã được thực hiện trong nghiên cứu này. Thuật toán DOA băng rộng trên cơ sở chirplet đã được đề xuất và đánh giá. Ưu điểm của việc sử dụng thuật toán này là không có hạn chế đối với cấu trúc mảng, không quá phức tạp và hiệu suất cao.

Trước khi thực hiện thuật toán DOA, một số kỹ thuật tiền xử lý được áp dụng để nâng cao chất lượng tín hiệu đầu vào. Một số minh họa gồm: việc tăng cường giọng nói dựa trên phương pháp không gian con [4], tách nguồn mù [5], phân cum dưa trên băng con [6] và phân bố thời gian - tần số thích nghi (adaptive spatial time-frequency distribution: ASTFD) [7]. Trong [7], Khan và công sư đã chứng minh rằng ASTFD làm tốt việc phân tích các tín hiệu gần nhau hơn so với các phương pháp tiền xử lý khác. ASTFD triển khai tối ưu hóa hướng các truc chính của hàm lõi tai mỗi điểm trong miền t-f để có được sự phân bố t-f rõ (nổi bât lên các điểm có mức năng lương vươt trôi), sau đó được khai thác để ước lượng DOA [8]. Năm 2018, Haiyan và nhóm nghiên cứu đã đề xuất một phương pháp ước lượng STFD DOA trên cơ sở mang cảm biến véc-tơ (Vector-sensor Array) [8], tác giả đề câp đến các phép đo thu được bằng mảng cảm biến véc-tơ âm thanh và phát triển một phương pháp mới, khai thác thông tin STFD của tín hiệu mảng cảm biến vecto cơ bản để đạt được hiệu suất ước lượng DOA tốt hơn ngay cả trong môi trường nhiễu ồn lớn và các nguồn kết hợp. Năm 2022, trong công bố [9], Pranav và Buket đã xem xét tổng quan về các thuật toán DOA đã được công bố. Đánh giá và so sánh hiệu suất của ba thuật toán nổi tiếng, bao gồm MUSIC, ESPRIT và phân tích giá tri riêng (EVD), có và không sử dung ASTFD ở giai đoan tiền xử lý. Kết quả mô phỏng đã được thực hiện với một số tình huống điển hình và cho thấy thuật toán ASTFD DOA đã cải thiên đáng kể hiêu suất của MUSIC. Tuy nhiên, thời gian tính toán của các thuật toán đã tăng lên do triển khai thuật toán ASTFD như một bước tiền xử lý.

Đặc biệt, năm 2021, Xueyan và các cộng sự đã công bố một thuật toán STFD DOA dùng cho sonar thụ động khi có lan truyền đa đường [10]. Đầu tiên, bài báo thiết lập mô hình tín hiệu đa đường và sử dụng phương pháp phân tích t-f bậc hai để giảm các yếu tố phân bố chéo (cross-term) trong khi vẫn giữ được độ phân giải tốt. Sau đó, thuật toán ước lượng hướng của tất cả các đường truyền trong tình huống đa đường. Tiếp theo, một kỹ thuật để nhóm các đường truyền thuộc cùng một nguồn vào với nhau được thực hiện. Kỹ thuật nhóm này dùng ý tưởng là phẳng tiến, lùi và tiêu chuẩn phát hiện điểm biên t-f. Cuối cùng, thuật toán DOA được áp dụng cho từng nhóm đường truyền và cho ra kết quả hướng của các đường truyền trực tiếp. Thuật toán cũng có thể sử dụng cho các sonar chủ động và có thể được mở rộng trong các tình huống băng rộng, phức tạp hơn.

Các nghiên cứu kể trên đã tận dụng hiệu quả tài nguyên và lợi thế của phân bố STFD, đó là việc cô lập vùng t-f của từng nguồn trên mặt phẳng t-f. Mặc dù vậy, các nghiên cứu này tập trung xem xét các nguồn tín hiệu dạng điều tần (frequency modulation: FM), tuyến tính hoặc phi tuyến [11-15]. Đặc tính của các nguồn FM là có biểu hiện rõ ràng trên mặt phẳng t-f

khi sử dụng các phân tích STFD, thường là một đường thẳng hoặc đường cong liên thông. Biểu hiện đó giúp cho việc phân tách các nguồn khá thuận lợi. Tuy nhiên, với các mục tiêu biển có chân vịt, tiếng ồn của chúng cũng có các đặc trưng riêng, khác với các loại mục tiêu khác và khác nhau đối với các mục tiêu có chân vịt khác nhau, đó chính là các phổ vạch chân vịt trong vùng hạ âm (nhỏ hơn 100 Hz) [16, 17]. Các đặc tính này hầu hết chưa được khai thác trong các nghiên cứu STFD DOA. Bài báo này đề xuất thuật toán mới trên cơ sở STFD kết hợp với tiền xử lý chọn lọc phổ vạch đặc trưng của tiếng ồn chân vịt và dùng thuật toán MUSIC cho ma trận STFD tương đương của hệ thống, CSS-STFD-DOA.

Trên cơ sở đó, phần còn lại của bài báo có cấu trúc như sau: phần II, mô hình dữ liệu sẽ xác định biểu diễn toán học của dữ liệu mạng ăng ten cũng như mô hình toán của tiếng ồn từ các nguồn có chân vịt. Phần III sẽ xem xét về cơ sở toán học của các thuật toán định hướng trên cơ sở TFD và thuật toán đề xuất. Phần IV đưa ra một số bài mô phỏng và thảo luận, cuối cùng là phần kết luận.

2. Mô hình dữ liệu

Để thống nhất và thuận tiện trong tính toán và các minh họa, bài báo sử dụng các giả thiết như sau: Mạng ăng ten tuyến tính cách đều (ULA) có *m* chấn tử, khoảng cách giữa hai chấn tử liên tiếp là *d*, tính theo mét. Trong đó, có tổng cộng *Q* nguồn tín hiệu, tín hiệu thứ *q* nằm ở các góc hướng θ_q . Đoạn dữ liệu có độ dài *N*; (.)^T là toán tử chuyển vị và (.)^H là toán tử chuyển vị liên hợp phức.

2.1 Mô hình dữ liệu mảng

Trong xử lý dải hẹp, khi Q tín hiệu thu được nhận bởi mạng M chấn tử, mô hình dữ liệu tuyến tính là:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{A}\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t). \tag{1}$$

Trong đó, $\mathbf{x}(t) = [x_1(t), ..., x_m(t)]^T$ là ma trận dữ liệu thu được từ M chấn tử, kích thước $M \times n$; $\mathbf{s}(t) = [s_1(t), ..., s_Q(t)]^T$ là ma trận các nguồn tín hiệu, kích thước $Q \times n$; $\mathbf{A} = \mathbf{A}(\Theta) = [\mathbf{a}(\theta_1) \dots \mathbf{a}(\theta_n)]$ là ma trận hướng, mang thông tin về góc hướng của các nguồn tín hiệu, $\mathbf{a}(\theta_q) = [1, e^{-jD\sin(\theta_q)/c}, ..., e^{-j(M-1)D\sin(\theta_q)/c}]^T$ là véc-tơ hướng ứng với nguồn thứ q; $\mathbf{n}(t)$ là ma trận nhiễu cộng tính.

2.2 Mô hình toán học của nguồn tiếng ồn từ các mục tiêu biển có chân vịt

Các vật thể như tàu mặt nước, tàu ngầm hoặc phương tiện dưới nước khác di chuyển trong môi trường nước đều tạo ra tiếng ồn do có sự bức xạ của các nguồn âm khác nhau. Tùy thuộc vào nguồn tạo ra tiếng ồn, phổ tiếng ồn có thể là rời rạc hoặc liên tục, nằm trong một dải tần nhất định, hoặc cũng có thể là phổ hỗn hợp, bao gồm tổng các thành phần phổ rời rạc và phổ liên tục. Tiếng ồn của mỗi loại mục tiêu có đặc trưng riêng, được thể hiện trong các đặc trưng của phổ phát xạ, nhưng nhìn chung, phổ phát xạ của một mục tiêu biển chiếm một dải tần rộng từ hạ âm đến siêu âm [16], và chúng bao gồm các thành phần sau (minh họa trên Hình 1):



Hình 1. Phổ năng lượng điển hình của tiếng ồn của tàu

1 - các thành phần rời rạc do phát xạ của các trục và cánh chân vịt (hay còn gọi là các thành phần phổ vạch);

2 - Phổ tiếng ồn phát xạ của thân vật thể khi dòng nước chạy xung quanh nó;

3 - Phổ tiếng ồn phát xạ của các cánh chân vịt khi có dòng nước chảy xung quanh (tiếng ồn xoáy cánh quạt);

4 - phổ của tiếng ồn xâm thực của chân vịt;

5 - phổ rời rạc và phổ liên tục của tiếng ồn do các máy móc và cơ cấu trên tàu tạo ra;

Trên Hình 1, đường số 6 là phổ chung của tiếng ồn do tàu tạo ra (chồng chất của tất cả các thành phần tiếng ồn của trường âm thanh).

Cường độ phổ tiếng ồn phát xạ của các mục tiêu trên biển không đồng đều trên toàn bộ dải tần và được xác định bởi nhiều yếu tố, trong đó các yếu tố chính là: máy chính và các cơ cấu của máy chính, số lượng và chủng loại cơ cấu phụ trợ, cấu trúc và cách thức di chuyển của vật mang, tốc độ quay của động cơ, tốc độ của vật mang, điều kiện lan truyền sóng âm trong khu vực hoạt động [17]. Vì thế, khó có thể xác định chính xác chân dung phổ của một mục tiêu nhất định do các điều kiện thu khác nhau. Tuy nhiên, ở đây chúng ta quan tâm chủ yếu đến các thành phần phổ vạch tần số thấp (nhỏ hơn 100 Hz), thuộc dải hạ âm do chân vịt gây ra. Trong những tình huống tác chiến phức tạp hoặc ở các điều kiện thủy văn không thuật lợi, việc phát hiện được mục tiêu ngầm là nhiệm vụ tác chiến được ưu tiên hàng đầu.

Mô hình toán học của tín hiệu trên miền thời gian của nguồn tiếng ồn thứ q có dạng [16]:

$$s_{q}(t) = s_{qD}(t) + s_{qC}(t) + n(t)$$

= $s_{qD}(t) + \left(1 + \sum_{l=1}^{L} A_{l} \cos\left(2\pi l f_{b} t\right)\right) c(t) + n(t),$ (2)

Trong đó: s_{qD} - là thành phần tín hiệu chứa các vạch phổ rời rạc gây ra bởi các cơ cấu cơ khí, máy móc trên mục tiêu cũng như nhiễu thủy động học; $s_{qC}(t)$ - là tín hiệu điều chế biên độ tiếng ồn c(t) gây ra do bọt khí vỡ trong quá trình chân vịt quay; A_l - biên độ của thành phần phổ thứ l của các cơ cấu cơ khí, máy móc; n(t) - tạp âm nền.

Như vậy, s_{qD} sẽ chứa các thành phần phổ f_d là hài của tần số trục chân vịt f_r :

$$f_d = l f_r \,. \tag{3}$$

Thuật toán CSS-STFD-DOA sử dụng cơ sở biểu diễn WVD để tách các vùng t-f của thành phần S_{qD} phục vụ cho bài toán DOA.

3. Thuật toán định hướng trên cơ sở phân bố thời gian tần số và thuật toán đề xuất

3.1 Các thuật toán định hướng kinh điển

Trong một thời gian dài, các thuật toán DOA trên cơ sở phân bố không gian-thời gian được nghiên cứu và phát triển, thu được những kết quả ấn tượng. Các thuật toán tiêu biểu trên cơ sở này là tạo búp sóng kinh điển (Conventional Beamforming - CB), đáp ứng phương sai không méo cực tiểu (Minimum Variance Distortion Response - MVDR), phân tách đa nguồn (Multiple SIgnal Classification - MUSIC), chuẩn cực tiểu (Minimum Normal - MIN-NORM), ước lượng thông số tín hiệu bằng phương pháp quay bất biến (ESPRIT), hợp lý cực đại (Maximum Likely Hood - MLE),...Mặc dù đạt được thành công ở những mức độ khác nhau, nhưng nhìn chung, các thuật toán này đều khai thác thông tin có ích chứa trong ma trận hiệp phương sai, \mathbf{R}_{xx} . Bản chất của ma trận này là khai thác thông tin về sự sai khác thời gian của tín hiệu trên các Hydrophone. Ma trận \mathbf{A} là ma trận đủ hạng cột, ngầm hiểu rằng các véc-tơ hướng tương ứng với Q góc hướng đến khác nhau là độc lập tuyến tính. \mathbf{R}_{xx} được tính bởi [3]:

$$\mathbf{R}_{\mathbf{x}\mathbf{x}} = E\left[\left(\mathbf{x}(t)\mathbf{x}^{H}(t)\right)\right] = \mathbf{A}\mathbf{R}_{\mathbf{s}}\mathbf{A}^{\mathbf{H}} + \sigma\mathbf{I},\tag{4}$$

Trong đó: $\mathbf{R}_{s} = E[\mathbf{s}(t)\mathbf{s}^{H}(t)]$ là ma trận tự tương quan của tín hiệu.

Uớc lượng \mathbf{R}_{xx} theo:

$$\mathbf{R}_{\mathbf{x}\mathbf{x}} \approx \mathbf{R}_{\mathbf{x}\mathbf{x}} = \sum_{n=1}^{N} \mathbf{x}(n) \mathbf{x}^{H}(n).$$
(5)

Thuật toán CB sử dụng ngay ma trận này để ước lượng phổ không gian, trong khi đó thuật toán MVDR cần phải tính ma trận nghịch đảo \mathbf{R}_{xx}^{-1} .

Các thuật toán DOA trên cơ sở phân tích không gian con lại tiếp cận theo cách khác. Trước hết, ma trận hiệp phương sai được phân tích trị riêng để tìm ra một ma trận có các cột là các véc-tơ riêng và ma trận đường chéo chứa các trị riêng của \mathbf{R}_{xx} . Nếu sắp xếp các giá trị riêng theo thứ tự tăng hoặc giảm, và các véc-tơ riêng cũng sắp xếp theo cách tương tự thì các véc-tơ riêng ứng với các giá trị riêng lớn tạo thành một không gian con, \mathbf{U}_s gọi là không gian con tín hiệu. Các véc-tơ riêng còn lại tạo thành một không gian con khác, gọi là không gian con nhiễu, \mathbf{V}_n . Nếu có một véc-tơ nào đó thuộc về tín hiệu, thì khi chiếu véc-tơ đó lên không gian con nhiễu sẽ có kết quả rất nhỏ, lý tưởng là bằng 0. Hàm phổ không gian tỉ lệ nghịch với kết quả của phép chiếu trên, tức là hàm phổ khi đó sẽ cực đại tại các góc có nguồn tín hiệu.

3.2 Phân bố thời gian tần số và bài toán định hướng

Phân bố thời gian tần số là phân bố dựa trên sự phân tích đặc tính của tín hiệu trên cả hai cơ sở, cơ sở thời gian và cơ sở tần số. Các phân bố này có thể là tuyến tính, bậc hai, hoặc một quy luật khác. Tức là, tín hiệu được xem xét đồng thời trên cả hai miền, miền tần số và miền thời gian. Cách tiếp cận này khắc phục được nhược điểm của các phương pháp trước đây, khắc phục được sự "phiến diện" trong phân tích tín hiệu.

Một trong những nghiên cứu nổi bật về việc phân tích tín hiệu đồng thời theo thời gian tần số là lớp các phân bố Cohen [9] mà phân bố lõi là WVD (Winger-Ville distribution), TFD trên cơ sở lớp Cohen của tín hiệu dải hẹp x(t) được định nghĩa như sau:

$$D_{xx}(t,f) = \iint \phi(t-u,\tau) x(u+\frac{\tau}{2}) x^*(u-\frac{\tau}{2}) e^{-j2\pi j t} du d\tau$$
(6)

Trong đó, t và f thể hiện các biến về thời gian, hàm là hàm lõi t-f, là biến dịch thời gian và (.)* là toán tử liên hợp phức. Tích phân được lấy từ đến . Biểu thức (6) cũng được gọi là tự phân bố t-f (auto-term) của tín hiệu x(t). Tương tự như vậy, phân bố chéo t-f (cross-term) giữa hai tín hiệu cũng được định nghĩa theo:

$$D_{x_i x_k}(t, f) = \iint \phi(t - u, \tau) x_i (u + \frac{\tau}{2}) x_k^* (u - \frac{\tau}{2}) e^{-j2\pi i f t} du d\tau$$
(7)

$$D_{xx}(t,f) = 2 \iint \phi(t-u,\tau) x(u+\tau) x^*(u-\tau) e^{-j4\pi f t} du d\tau$$
(8)

$$D_{xx}(t,f) = \sum_{u=-\infty}^{\infty} \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} \phi(u,\tau) x(t+u+\tau) x^*(t+u-\tau) e^{-j4\pi f\tau}$$
(9)

$$\mathbf{D}_{\mathbf{x}\mathbf{x}}(t,f) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} \phi(k,\tau) \mathbf{x}(t+k+\tau) \mathbf{x}^* (t+k-\tau) e^{-j4\pi f \tau}$$
(10)

Trong đó $\phi(u, \tau)$ là hàm lõi (kernel) thời gian-tần số. Thực tế, các tín hiệu thu được có độ dài hữu hạn và được rời rạc hóa để thuận tiện cho xử lý bằng các thiết bị kỹ thuật số, ma trận STFD có được bằng cách thay x(t) bởi véc-tơ các mẫu dữ liệu x(t), ma trận này có kích thước $m \times m$ và được xác định như (10).

Thay (1) vào (10), và lưu ý rằng kỳ vọng của ma trận phân bố chéo t-f giữa tín hiệu và nhiễu bằng 0, dẫn đến:

$$E[\mathbf{D}_{\mathbf{xx}}(t,f)] = \mathbf{D}_{\mathbf{ss}}(t,f) + E[\mathbf{D}_{\mathbf{nn}}(t,f)]$$

= $\mathbf{A}\mathbf{D}_{OO}(t,f)\mathbf{A}^{\mathbf{H}} + E[\mathbf{D}_{\mathbf{nn}}(t,f)]$ (11)

Phương trình (11) tương tự như phương trình (4) thường được sử dụng trong ước lượng DOA liên quan đến ma trận tương quan tín hiệu với ma trận tương quan không gian dữ liệu. Tuy nhiên, trong (11) các ma trận tương quan được thay thế bằng các ma trận STFD. Có nghĩa là các phân bố không gian thời gian tần số có thể được sử dụng để giải bài toán định hướng. Điều quan trọng là mối quan hệ (11) đúng với mọi điểm (t, f) trong kết quả phân bố đối với tín hiệu thu. Tuy nhiên, có những điểm có cường độ lớn nhưng không phải là tín hiệu có ích khi có nhiễu tác động, dẫn đến các kết quả sai của hệ thống xử lý. Để giảm ảnh hưởng của nhiễu và đảm bảo thuộc tính đủ hạng cột cho ma trận STFD, nhiều điểm t-f được xem xét đồng thời. Có hai kỹ thuật chính để xử lý đồng thời nhiều điểm t-f đó là chéo hóa khối đồng thời (joint block diagonalization: JBD) và trung bình phân bố t-f [18].

Các thuật toán STFD DOA chủ yếu tập trung vào quá trình xử lý để đưa ra được ma trận STFD tương đương cho nhiều điểm t-f, sau đó ma trận này lại được xử lý bằng các thuật toán DOA trên cơ sở không gian con quen thuộc, chẳng hạn MUSIC. Thuật toán được kết hợp như vậy thường được đặt tên là t-f MUSIC.

Một đặc điểm vượt trội khác của phương pháp STFD DOA là nếu Q_0 nguồn tín hiệu được chọn thay vì Q nguồn trên cơ sở các dấu hiệu thời gian-tần số của chúng $(Q_0 < Q)$, (11)

trở thành:

$$E\left[\mathbf{D}_{xx}^{o}(t,f)\right] = \mathbf{A}^{o}\mathbf{D}_{Q_{0}Q_{0}}^{o}(t,f)(\mathbf{A}^{o})^{H} + E\left[\mathbf{D}_{m}^{o}(t,f)\right]$$
(12)

Trong đó \mathbf{A}^{o} và $\mathbf{D}_{Q_{0}Q_{0}}^{o}(t, f)$ lần lượt là ma trận trộn và STFD của Q_{0} nguồn tín hiệu.

Biểu thức (12) rất quan trọng trong ứng dụng STFD DOA vì nó cho phép: thay vì phải xử lý tất cả các nguồn tín hiệu trong vùng quan sát tại một thời điểm nào đó, hệ thống có thể xử lý một số nguồn trong đó bằng cách lập ma trận STFD riêng của các nguồn đó theo (12). Có nghĩa là, kể cả số nguồn nhiều hơn số lương chấn tử của mang ăng ten, việc xử lý vẫn được thực hiện đúng khi mỗi lần xử lý chọn số lượng nguồn nhỏ hơn số chấn tử.

3.3 Thuật toán đề xuất, CSS-STFD-DOA

Thuật toán sử dụng phân bố WVD để biểu diễn tín hiệu trên miền *t-f*, sau đó lập ma trận STFD trên cơ sở tính trung bình ma trận STFD của các điểm đặc trưng (CSS). Sau đó, thuật toán MUSIC được áp dụng để thực hiện bài toán DOA. Các bước thuật toán như sau:

Đầu vào: x(t), L: số điểm lân cận, N: số lượng mẫu.

Bước 1. Lập phân bố *t-f* bằng WVD.

Bước 2. Với t, f khác 0, tìm điểm M_0 có công suất cực đại, điểm này có tọa độ (t_{0max} , f_{0max}).

Bước 3. Tìm các M_i là họ hàng của M₀, có tọa độ $t_{0\text{max}}, f_{0\text{max}} \pm i * df, i \in -L \div L, i = 1 -$

L.

Bước 4. Xác định ma trận STFD trung bình cho các điểm M_0 và Mi.

Bước 5. Áp dụng thuật toán MUSIC cho 1 nguồn, tìm hướng nguồn này.

Bước 6. Gán công suất cho vùng t-f thuộc nguồn thứ 1 bằng 0.

Bước 7. Lặp lai bước 2 đến khi đạt số lượng nguồn đã biết hoặc đến khi hết dải tần số quét.

Đầu ra: Các góc $\begin{bmatrix} \theta_1, \theta_2, ..., \theta_Q \end{bmatrix}$ của Q nguồn cần ước lượng.

4. Kết quả mô phỏng và thảo luận

Bài báo sử dụng công cụ Matlab R2022b để tạo dữ liệu và mô phỏng làm việc của các biểu diễn STFD cũng như sư làm việc của thuật toán.

Bài mô phỏng số 1: Khảo sát TFD của tín hiệu điều tần tuyến tính (linear frequency modulation: LFM) với các công cụ TFD: STFT (short time Fourier transform), WVD, SPWVD (smooth pseudo WVD). Kết quả mô phỏng thể hiện trên Hình 2.

Kết quả cho thấy tín hiệu LFM cho biểu hiện rõ là một đường thẳng đâm trên nền nhiễu và tách biệt khi sử dụng công cụ TFD. Phân bố WVD cho độ phân giải tốt nhất, phân bố STFT cho đô phân giải kém nhất.



Hình 2. TFD của tín hiệu LFM thể hiện trên mặt phẳng t-f và hình ảnh 3D.

Bài mô phỏng số 2: Khảo sát TFD của tín hiệu gồm hai thành phần đơn tần, tần số 45 Hz và 90 Hz. Kết quả thể hiện trên Hình 3.

Kết quả khảo sát cho thấy: Phân bố STFT có độ phân giải thấp, khó phân biệt trong trường hợp tín hiệu có nhiều thành phần, vùng t-f chồng lấn nhau. Thêm vào đó, phân bố SPWVD mặc dù có hiệu quả rất tốt với các tín hiệu FM nhưng hiệu quả đối với tín hiệu loại này kém hơn, vùng t-f cross-term lớn, chồng lấn với vùng t-f auto-term. Ngược lại, phân bố WVD có độ phân giải tốt nhất, mặc dù vùng t-f cross-term có xuất hiện với cường độ lớn, nhưng vẫn tách biệt, có thể cô lập khỏi vùng t-f auto-term.

Như vậy, đối với các tín hiệu có nhiều thành phần dạng tiếng ồn chân vịt, sử dụng WVD sẽ tốt hơn STFT và SPWVD.



Hình 3. TFD của tín hiệu hai thành phần đơn tần trên mặt phẳng t-f và hình ảnh 3D.

836

Bài mô phỏng số 3: Đánh giá làm việc của thuật toán CSS-STFD-DOA với tín hiệu thực. Phổ DEMON tín hiệu tiếng ồn từ các loại mục tiêu thể hiện trên Hình 4. Kết quả kiểm tra làm việc của thuật toán STFD-DOA và CSS-STFD-DOA thể hiện trên Hình 5.

Sử dụng 02 file âm thanh tiếng ồn của các loại mục tiêu: tàu cá DeOnza_Espera (file số 9) trong cơ sở dữ liệu âm ShipEar và tàu ngầm cỡ nhỏ thu âm tại vùng biển Việt Nam. Tàu cá được thiết đặt mô phỏng ở góc -10^{0} , tàu ngầm cỡ nhỏ được đặt ở góc $+30^{0}$.







Hình 5. Kết quả thuật toán CSS-STFD-DOA và STFD-DOA với các tiếng ồn thực.

Hình ảnh minh họa cho thấy, các vạch phổ do tốc độ quay của chân vịt và các cánh chân vịt tạo ra chiếm ưu thế vượt trội, phân biệt hẳn với mức nền. Đối với tàu ngầm cỡ nhỏ, với một số kỹ thuật vật liệu và công nghệ chế tạo, phần nhiễu nền do tàu tạo ra khá lớn, về mặt bản chất là bảo đảm sự tương thích với môi trường hoạt động. Còn các tàu cá, đơn thuần

là một phương tiện cơ động trên biển, các vạch phổ này phân tách hẳn so với nền, dễ dàng tách và đưa đến các bước xử lý tiếp theo.

Bên cạnh đó, các thuật toán đều có khả năng làm việc tốt và cho kết quả chính xác với các thông số mô phỏng đã đặt. Tuy nhiên, thuật toán CSS-STFD-DOA đã thể hiện khả năng làm việc vượt trội khi cho ra mức chênh lệch đỉnh-nền khoảng 26dB, mức chênh lệch này chỉ khoảng 10dB đối với thuật toán STFD-DOA thông thường. Thêm vào đó, đỉnh phổ cũng hẹp hơn, thể hiện độ phân giải cao hơn khi sử dụng thuật toán CSS-STFD-DOA.

Bài mô phỏng số 4: Đánh giá sai số RMSE (root mean square error: RMSE) với các giá trị SNR khác nhau với các giá trị *M* khác nhau. Kết quả thể hiện trên Hình 6.



Hình 6. Đánh giá sai số của thuật toán khi thay đổi số lượng chấn tử ăng ten Kết quả cho thấy:

- Trong dải SNR khảo sát, $-5dB \div 20dB$, thuật toán làm việc ổn định trong khoảng $5dB \div 20dB$, khi SNR < 5dB sai số tăng lên.

- Với $SNR \ge 5dB$, thuật toán cho sai số như nhau với các giá trị M khác nhau. Điều này có thể giải thích là, khi tín hiệu có ích lớn, việc tăng cường thêm số lượng chấn tử cũng không mang lại nhiều ý nghĩa cho thuật toán định hướng.

- Trong vùng SNR nhỏ, M càng lớn thì sai số càng giảm.

5. Kết luận

Bài báo đã xem xét tổng quan về bài toán DOA trong các hệ thống sonar, đánh giá các ưu điểm và hạn chế của những phương pháp đã được công bố. Đồng thời, bài báo cũng xem xét mô hình toán học của các mục tiêu biển có chân vịt, cơ chế tạo và các đặc trưng. Trên cơ sở xem xét phân bố STFD để hình thành các ma trận STFD phục vụ cho bài toán DOA, bài báo đã chọn phân bố WVD kết hợp với chọn lọc vùng *t-f* đặc trưng của tiếng ồn chân vịt, đề xuất thuật toán CSS-STFD-DOA. Các bài mô phỏng đã được thực hiện để xem xét, đánh giá và so sánh các phân bố TFD khác nhau đối với các loại nguồn tín hiệu khác nhau. Khả năng hoạt động của thuật toán CSS-STFD-DOA được đánh giá bằng việc định hướng các mẫu tín hiệu xây dựng từ các file âm thanh thực và khảo sát sai số làm việc khi số lượng chấn tử trong mạng thay đổi. Cơ sở toán học và các kết quả mô phỏng khẳng định CSS-STFD-DOA là một thuật toán có nhiều ưu điểm so với các thuật toán trước đó, phù hợp cho bài toán định hướng trong sonar.

Tài liệu tham khảo

- 1. Pérez, M.S., G. Antoniu, and K. Keahey, *Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER).* 2014, IEEE.
- 2. Dey, A., et al., gold-MUSIC based DOA estimation using ULA antenna of DS-CDMA sources with propagation delay diversity. 2018. 84: p. 162-170.
- 3. Feng, A., Z. Zhao, and Q. Yin. Wideband direction-of-arrival estimation using fast chirpletbased adaptive signal decomposition algorithm. in IEEE 54th Vehicular Technology Conference. VTC Fall 2001. Proceedings (Cat. No. 01CH37211). 2001. IEEE.
- 4. Asano, F., et al., *Speech enhancement based on the subspace method.* 2000. 8(5): p. 497-507.
- Visser, E., T.-W. Lee, and M. Otsuka. Speech enhancement in a noisy car environment. in Proc. 3rd International Conference on Independent Component Analysis and Source Separation. 2001.
- 6. Mitianoudis, N., M.E.J.I.J.o.A.C. Davies, and S. Processing, *Audio source separation: Solutions and problems.* 2004. 18(3): p. 299-314.
- 7. Ali Khan, N., et al., *Direction of arrival estimation using adaptive directional time-frequency distributions*, Springer, 29(2): p. 503-521, 2018.
- 8. Song, H., et al. Vector-Sensor Array DOA Estimation Based on Spatial Time-Frequency Distribution. in 2018 Eighth International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC). 2018. IEEE.
- 9. Eranti, P.K. and B.D.J.E. Barkana, *An overview of direction-of-arrival estimation methods using adaptive directional time-frequency distributions*, MPDI, 11(9): p. 1321, 2022
- Han, X., et al., A passive DOA estimation algorithm of underwater multipath signals via spatial time-frequency distributions. IEEE Transactions on Vehicular Technology 70(4): p. 3439-3455. 2021
- 11. Amin, M.G., et al., *Spatial time-frequency distributions: Theory and applications*, Springer, p. 269-310, 2003.
- 12. Boashash, B., N.A. Khan, and T.J.D.S.P. Ben-Jabeur, *Time-frequency features for pattern* recognition using high-resolution TFDs: A tutorial review. HAL, 40: p. 1-30, 2015.
- 13. Heidenreich, P., L.A. Cirillo, and A.M.J.S.P. Zoubir, *Morphological image processing for FM source detection and localization*, Elsevier, 89(6): p. 1070-1080, 2009.
- 14. Rankine, L., M. Mesbah, and B.J.S.P. Boashash, *IF estimation for multicomponent signals using image processing techniques in the time-frequency domain*, Elsevier, 87(6): p. 1234-1250, 2007.
- 15. Zhang, H., et al., *IF estimation of FM signals based on time-frequency image*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 51(1): p. 326-343, 2015.
- 16. J.Urick, R., Principles of Underwater sound, McGraw-Hill, 1983.
- 17. Kumar, G.K., et al. *Simulation of Radiated Noise signature of a marine vessel*. in 2015 IEEE Underwater Technology (UT), 2015.
- 18. Amin, M.G. and Y.J.D.S.P. Zhang, *Direction finding based on spatial time-frequency distribution matrices*, Elsevier, 10(4): p. 325-339, 2000.

Orientation algorithm based on space-time frequency distribution for passive sonar systems

Abstract: The article has reviewed an overview of navigation algorithms based on spatial time frequency distribution (STFD), including system model, mathematical basis and development history. At the same time, the article also reviewed several types of target models and typical STFD-based direction estimation methods. A new solution is proposed for marine targets with propellers, which is a combination of character specification selection (CSS) of the target with orientation based on STFD. , CSS-STFD-DOA solution. This solution enhances the preprocessing to remove noise and selects only the characteristic line spectral components of the propeller in the infrasound frequency region. Simulation scenarios are performed to evaluate the quality of the algorithm using input simulation data built on the basis of field signals. Simulation results show that the CSS-STFD-DOA solution is able to work stably, accurately and has better performance than the STFD-DOA algorithms, especially when processing wide-band signals.

Keywords: Sonar; orientation (DOA); time-frequency distribution (TFD); marine targets; duck-legged.

LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU CHẾ SỐ CHO HỆ THỐNG BIBCM-ID

Hoàng Văn Dũng^{1*}, Phạm Khắc Anh Lưu¹, Nguyễn Tiến Hùng¹

Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn Email: dunghv198@lqdtu.edu.vn

Tóm tắt

Bài viết trình bày về việc lựa chọn phương pháp điều chế cho hệ thống BIBCM-ID, một trong những giải pháp nhằm cải thiện chất lượng truyền tin cho hệ thống BIBCM-ID trên kênh Gauss. Đánh giá kết quả so sánh phẩm chất của hệ thống BIBCM-ID khi sử dụng điều chế cầu phương đa mức M-QAM cho thấy chất lượng của hệ thống được cải thiện rõ rệt khi sử dụng điều chế 16-QAM so với các phương pháp điều chế 4-QAM, 8-QAM và 32-QAM với độ lợi SNR 1dB trở lên (BER = 10⁻⁶).

Từ khóa: Điều chế mã khối có hoán vị bit và giải mã lặp BIBCM-ID; tỷ lệ lỗi bit; hồ sơ cự ly bit; nhất dạng hình học.

1. Đặt vấn đề

Sơ đồ Điều chế mã khối có hoán vị bít và giải mã lặp BICM-ID so với các sơ đồ mã hóa với điều chế truyền thống: Điều chế mã khối (Block Coded Modulation), Điều chế mã lưới (Trellis Coded Modulation) hay điều chế mã hóa xáo trộn bit (BICM – Bit Interleaved Code Modulation) được ứng dụng rộng rãi trong thông tin vô tuyến số nhờ ưu điểm về khả năng gia tăng hiệu quả chống nhiễu dựa trên sự kết hợp của mã hóa và điều chế, khắc phục tác động của fading bằng giải pháp xáo trộn (interleave) dãy bit với đặc tính phân tập thời gian và bảo đảm yêu cầu về độ trễ xử lý, độ phức tạp mã hóa/điều chế (giải mã hóa/giải điều chế) khi sử dụng mã khối với chiều dài từ mã không quá lớn. Các yêu cầu về phẩm chất Bit Error Rates (BER), hiệu quả sử dụng băng thông trên cả kênh Gao-xơ và kênh pha-đinh, được cải thiện nhờ giải pháp sử dụng mô hình hệ thống Điều chế mã có hoán vị bit kết hợp giải mã/giải điều chế lặp (BIBCM-ID) [1-4]. Tuy nhiên, để hệ thống này thực sự đảm bảo chất lượng tốt, bên cạnh việc lựa chọn các bộ mã hóa kênh tốt, hoán vị có chất lượng tốt, lựa chọn bộ ánh xạ tín hiệu phù hợp, thì việc lựa chọn phương pháp điều chế phù hợp giúp cải thiện đáng kể chất lượng và tốc độ truyền tin của hệ thống. Do đó, mục tiêu của bài viết là qua đánh giá phẩm chất hệ thống BIBCM-ID sử dụng điều chế đa mức M-QAM và đưa ra lựa chọn phương pháp điều chế phù hợp cho hệ thống BIBCM-ID nhằm cải thiện phẩm chất hệ thống.

2. Mô hình hệ thống BIBCM-ID

Sơ đồ khối Hệ thống Điều chế mã khối có xáo trộn bit và giải mã lặp (BIBCM-ID) được mô tả trên Hình 1. So với hệ thống thông tin vô tuyến số truyền thống đối với hệ thống BIBCM-ID để đạt được yêu cầu về độ trễ xử lý và độ phức tạp của mã hóa/điều chế và giải mã/giải điều chế, đã đề xuất giải pháp sử dụng mã khối với chiều dài từ mã không quá lớn [5].



Hình 1. Sơ đồ Hệ thống BIBCM-ID

Trong sơ đồ hệ thống BIBCM-ID, ở đầu phát chuỗi bit thông tin ban đầu $u = [u^1, u^2, ..., u^k]$ được đưa qua bộ mã hóa kênh (ở đây sử dụng bộ mã khối (n, k, d)) với tỷ lệ mã hóa R = k/n để thực hiện k bit thông tin đầu vào thành n bit mã đầu ra $c = [c^1, c^2, ..., c^n]$. Khối hoán vị bit trong hệ thống có chiều dài N_b thực hiện hoán vị bit mã (1) và tách thành các nhóm bit $v_t = [u_t^1, u_t^2, ..., u_t^m]$ với $m = \log_2 M, t = 1, 2, ..., N_b/m$ để ánh xạ lên một dấu tín hiệu x_t trong bộ tín hiệu X gồm M điểm bằng một kiểu dán nhãn nhị phân $\mu = \{0,1\} \rightarrow X, x_t \in X$ [6, 7].

$$c = \left[c_1^1, c_1^2, \dots, c_1^n; c_2^1, c_2^2, \dots, c_2^n; \dots; c_{N_b/n}^1, c_{N_b/n}^2, \dots, c_{N_b/n}^n\right]$$
(1)

Lưu ý rằng mỗi bit trong nhãn nhị phân của tín hiệu điều chế M-mức thuộc một từ mã khác nhau. Và việc quyết định một bit nào trong nhãn nhị phân của tín hiệu đó được dựa trên sự hiểu biết đầy đủ về (m-1) bit còn lại được xác định là thông tin tiên nghiệm để cung cấp cho các bước giải mã giải điều chế trong các bước giải mã lặp.

Qua kênh truyền Gao-xơ, tín hiệu nhận được ở đầu thu hệ thống có dạng:

$$r(t) = s(t) + n(t) \tag{2}$$

Trong đó n(t) là tạp âm trắng cộng tính (AWGN) với mật độ phổ công suất một bên là N_o là đại lượng ngẫu nhiên có giá trị trung bình bằng 0, phương sai $\sigma_n = \sqrt{N_0/2}$ với hàm phân bố mật độ xác suất thể hiện theo công thức:

$$\Pr(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_n^2}} \exp\left[-\frac{|r|^2}{2\sigma_n^2}\right]$$
(3)

Ở phía thu, bộ giải điều chế cùng với bộ giải mã kênh kết hợp với bộ hoán vị/giải hoán vị tạo thành một cấu trúc xử lý lặp. Hệ thống BICM-ID tại đầu thu thường dùng giải mã quyết định mềm. Nguyên lý giải điều chế/giải mã mềm của hệ thống BIBCM-ID việc tính toán giá trị bit thứ $i r_i = \{0,1\}$ phụ thuộc vào thông tin ngoài của các bit khác trong cùng một symbol đối với kênh Gauss được xác định như sau:

$$Pr(r_i \mid s_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_n^2}} exp[\frac{-|r_i - s_i|^2}{2\sigma_n^2}]$$
(4)

Theo công thức (4) giá trị $Pr(r_i|s_i)$ được quyết định bởi bình phương khoảng cách O-cơ-lít giữa tín hiệu nhận được r_i và tín hiệu $s_i \in X_b^i$ trên mặt phẳng phức. Khi điều chế bậc càng cao thì số lượng điểm tín hiệu của chòm sao tăng, nếu năng lượng trung bình dấu tín hiệu không đổi thì khoảng cách O-cơ-lít giữa các điểm tín hiệu giảm. Khi đó, chất lượng hệ thống trên kênh Gao-xơ sẽ giảm.

Số đo của các bít thực chất là giá trị xác suất hậu nghiệm (a posteriori probability) được tính theo tiêu chuẩn xác suất hậu nghiệm cực đại MAP (Maximum A posteriori Probability) theo hàm lô-ga-rít như sau:

$$\lambda(v_k = b) = \log \sum_{x_i \in x_b^k} \Pr(s_i \mid r) \sim \log \sum_{x_i \in x_b^k} \Pr(r \mid s_i) \Pr(s_i)$$
(5)

Trong biểu thức (6) có $Pr(s_i | r)$ là xác suất hậu nghiệm (xác suất phát tín hiệu s_i khi thu được tín hiệu r. Tập X_b^k là tập con của bộ tín hiệu X gồm các điểm tín hiệu mà vị trí bit thứ k có giá trị bằng b. $Pr(s_i)$ là xác suất tiên nghiệm (priori probability) hay xác suất truyền tín hiệu s_i còn $p(r|s_i)$ là xác suất hậu nghiệm thu được tín hiệu r khi truyền tín hiệu s_i .

Khi sử dụng bộ hoán vị lý tưởng, *m* bit trong dấu tín hiệu có thể được coi là độc lập với nhau, thông tin tiên nghiệm cho các tín hiệu $s_i \in X_b^i$ được tính như sau:

$$Pr(s_i) = Pr[v^1(s_i), v^2(s_i), ..., v^m(s_i)] = \prod_{(k=1)}^m Pr[v^k = v^k(s_i)]$$
(6)

Trong đó $v^k(s_i) \in \{0,1\}, 1 \le k \le m$ là giá trị bit thứ k trong tín hiệu s_i . Với i = 1, 2, ..., m và $b = \{0,1\}$ từ (5) và (6) thông tin ngoài cho vòng giải điều chế/giải mã lặp tiếp theo được xác định như sau:

$$Pr(v_{t}^{i} = b) = \frac{Pr(v_{t}^{i} = b \mid r_{i})}{Pr_{I}(v_{t}^{i} = b)} = \frac{\sum_{s_{i} \in X_{b}^{i}} Pr(r_{i} \mid s_{i})Pr(s_{i})}{Pr_{I}(v_{t}^{i} = b)} = \sum_{s_{i} \in X_{b}^{i}} Pr(r_{i} \mid s_{i}) \prod_{i \neq k} Pr(v_{t}^{i} = v_{t}^{i}(s_{i}))$$
(7)

Đối với trường hợp tín hiệu của hệ thống BICM-ID được điều chế M-mức, trong quá trình giải mã lặp thông tin phản hồi không mang lỗi thì kênh truyền tín hiệu đa mức trở thành m kênh truyền nhị phân (điều chế BPSK) độc lập. Các kênh truyền nhị phân này có khoảng cách O-cơ-lít giữa hai điểm tín hiệu lần lượt là $d_1, d_2, ..., d_m$ chính là khoảng cách O-cơ-lít của các cặp liên tín hiệu trên kênh truyền tín hiệu điều chế đa mức.

Trong hoạt động giải mã xác suất lỗi cặp PEP (Pairwise Error Probability) của các chuỗi bít điều chế là xác suất khi truyền đi chuỗi mã c, nhận được chuỗi c sau giải mã, ký hiệu trọng số Hamming giữa hai chuỗi là $p(\omega_1, \omega_2, ..., \omega_m)$ được tính như sau:

$$p(\omega_1, \omega_2, ..., \omega_m) = Q\left(\sqrt{\frac{d_E^2(\omega_1, \omega_2, ..., \omega_m)}{2N_o}}\right)$$
(8)

Trong đó: $Q(x) = \int_{x}^{\infty} e^{-t^2/2} dt / \sqrt{2\pi}$ và $d_E^2(\omega_1, \omega_2, ..., \omega_m)$ là bình khoảng cách Ơ-cơ-lít giữa

hai chuỗi tín hiệu điều chế c
 và \tilde{c} được xác định như sau:

$$d_{E}^{2}(\omega_{1},\omega_{2},...,\omega_{m}) = \omega_{1}d_{1}^{2} + \omega_{2}d_{2}^{2} + ... + \omega_{m}d_{m}^{2}$$
(9)

Từ công thức (9) cho thấy bình phương khoảng cách O-cơ-lít tự do với điều kiện phản hồi lý tưởng (FedC – free squared Euclidean distance conditioned on the ideal feedback) $d_E^2(\omega_1, \omega_2, ..., \omega_m)$ là yếu tố chi phối đối với hiệu suất lỗi sàn. Trong [6] chỉ ra rằng, hệ thống BICM-ID với chòm sao M-mức bất kỳ khi bộ hoán vị hoạt động bảo đảm các bit độc lập khi đó FedC được xác định là:

$$FEDC(\mu, C) = \min_{\omega_1, \dots, \omega_m} \sum_{i=1}^m \omega_i d_i^2$$
(10)

3. Cơ sở toán học nghiên cứu các phương pháp điều chế số trong hệ thống BIBCM-ID

Hoạt động của bộ điều chế trong hệ thống BICM-ID là quá trình ánh xạ 1-1 các nhóm m bít nhị phân tới một dấu tín hiệu của chòm sao tín hiệu (M-PSK hoặc M-QAM) tức là: $B^m \to X$, nên bộ điều chế còn được gọi là bộ ánh xạ. Do đó, nghiên cứu các các bộ tín hiệu (các phương pháp điều chế) được thực hiện dựa trên việc xây dựng các bộ ánh xạ.

Đối với tín hiệu điều chế M-mức, ta có 2^m nhãn nhị phân để gán cho các tín hiệu s_i và có M! cách gán nhãn khác nhau.

Thực hiện phân hoạch tập tín hiệu X thành những tập tín hiệu con là X_b^i gồm các điểm tín hiệu mà vị trí bít thứ i = 1, 2, ..., m nhận giá trị "1" và $X_{\overline{b}}^i$ gồm các điểm tín hiệu mà vị trí bít thứ i = 1, 2, ..., m nhận giá trị "0". Khi đó, khoảng cách bít thứ $i (d_i)$ là độ dài các đoạn thẳng thể hiện khoảng cách O-cơ-lít giữa các cặp tín hiệu có nhãn nhị phân chỉ khác nhau ở một vị trí bít i. Khoảng cách O-cơ-lít giữa một dấu tín hiệu thuộc tập X_b^i và một dấu tín hiệu thuộc tập $X_{\overline{b}}^i$ của chòm sao tín hiệu M-PSK hoặc M-QAM sẽ nhận $m = \log_2 M$ giá trị khoảng cách bít tương ứng với từng vị trí bít trong một cặp dấu tín hiệu.

Phép ánh xạ μ được gọi là phép ánh xạ có khoảng cách bít đều nếu với mỗi vị trí bít *i* chỉ có một giá trị d_i . Từ các nghiên cứu [6] khi xây dựng bộ ánh xạ tín hiệu đòi hỏi phải thỏa mãn điều kiện thiết kế bộ ánh xạ Nhất dạng hình học mức bít BGU (Bit Geometrical Uniformity), theo điều kiện này phép dán nhãn nhị phân là phép ánh xạ *có khoảng cách bít đều*. Khi đó, hồ sơ khoảng cách bít $BDP(\mu) = \{d_1, d_2, ..., d_m\}$ gồm *m* giá trị tương ứng với *m* bít trong nhãn nhị phân.

Trong điều kiện Phản hồi lý tưởng IF (Ideal Feedback), mỗi bít thứ i sau mã hóa được truyền qua một trong m kênh nhị phân đối xứng tương đương (Equivalent Binary Symmetric

Channel – EBSC). Xét trường hợp tổng quát việc tính tỷ lệ Tín/Tạp của kênh EBSC truyền bít thứ i phụ thuộc vào vị trí điểm tín hiệu đã phát đi và vị trí bít thứ i.

Các chòm sao tín hiệu điều chế pha *M*-PSK cũng như điều chế cầu phương *M*-QAM thường sử dụng trong các hệ thống truyền dẫn đều có tính chất nhất dạng hình học GU (Geometrical Uniformity) [9]. Do tính tuyến tính của sơ đồ điều chế mã hóa kết hợp với tính đối xứng của chòm sao kiểu *M*-PSK và *M*-QAM đảm bảo rằng lỗi ký tự không phụ thuộc vào việc phát đi tín hiệu nào. Đồng thời kiểu dán nhãn nhị phân nhất dạng hình học mức bít BGU [10] đảm bảo khi thông tin phản hồi từ bộ giải mã tới bộ giải điều chế là lý tưởng IF nghĩa là sau số vòng lặp đủ lớn hay tại tỷ lệ Tín/Tạp đủ lớn thì điều chế nhị phân *M* -mức tương đương với truyền tin qua $m = \log_2 M$ kênh điều chế nhị phân song song. Nếu tỷ lệ lỗi bít trong từng kênh nhị phân này là độc lập với các kênh nhị phân khác thì hệ thống có thể đạt được tính chất lỗi bít đều UBEP (Uniform Bit Error Property).

Trong điều kiện phản hồi lý tưởng, mỗi bít sau mã hóa được truyền qua một trong m kênh nhị phân đối xứng tương đương (Equivalent Binary Symmetric Channel – EBSC) với năng lượng $E_{ebsc}^i = (d_i^2/4), 1 \le i \le m$. Trong đó E_{ebsc}^* là năng lượng trung bình của tất cả các lần sử dụng kênh EBSC. Với E_s là năng lượng trung bình của chòm sao X có $M = 2^m$ điểm tín hiệu nên khi sử dụng để truyền các bít mã với tỷ lệ mã hóa là R = k/n thì năng lượng để truyền đi một bít tin là $E_b = E_s/(mR)$. Nếu đặt $G = mRE_{ebsc}^*/E_s$ thì ta có $E_{ebsc}^* = GE_b$. Tỷ lệ Tín/Tạp của kênh EBSC là:

$$(E_{ebsc} / N_0) = G(E_b / N_0)$$
(11)

Tương tự, đặt $G_i = mRE_{ebsc}^i / E_s$ ta có :

$$(E_{ebsc}^{i} / N_{0}) = G_{i}(E_{b} / N_{0}) = G_{i}(d_{i}^{2} / 4N_{0})$$
(12)

Chúng ta thấy rằng nếu m = 1 thì $E_{ebsc}^* = E_s$ và kênh EBSC là kênh Gao-xơ sử dụng điều chế BPSK trong trường hợp này G = R. Như vậy chúng ta thấy rằng hệ thống BICM-ID không có độ lợi về tỷ lệ Tín/Tạp. Vì vậy hệ thống BICM-ID chỉ có hiệu quả khi điều chế đa mức, nghĩa là khi m > 1.

Mỗi bít trên đầu ra của máy mã nhị phân chọn truyền đi qua một kênh có cự ly bít bình phương d_i^2 , i = 1, 2, ..., m với xác suất 1/m, vì vậy các bít sau mã hóa được truyền đi qua kênh EBSC có năng lượng bít trung bình bằng [11]:

$$E_{ebsc}^{*} = \frac{1}{m} \sum_{(i=1)}^{m} E_{ebsc}^{i} = \frac{1}{4m} \sum_{(i=1)}^{m} d_{i}^{2} = \frac{d_{avr}^{2}}{4}$$
(13)

Với d_{avr}^2 là trung bình của bình phương cự ly bít:

$$d_{avr}^{2} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} d_{i}^{2}$$
(14)

Như vậy, đối với hệ thống BICM-ID ta có :

$$G = \frac{mRE_{ebsc}^*}{E_s} = \frac{mRd_{avr}^2}{4E_s} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^m G_i = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^m \frac{mRE_{ebsc}^i}{E_s} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^m \frac{mRd_i^2}{4E_s} = \frac{R}{4E_s}\sum_{i=1}^m d_i^2$$
(15)

Từ các phân tích trên, chúng ta thấy khi cố định bộ mã và số điểm tín hiệu trong chòm sao tín hiệu trên mặt phẳng phức thì cách bố trí các điểm trong chòm sao tín hiệu và cách dán nhãn nhị phân cho các điểm tín hiệu nào có giá trị G lớn thì có tăng ích của tỷ lệ Tín/Tạp trên kênh BPSK tương đương sẽ lớn hơn. Do đó, giá trị xác suất lỗi bít nhỏ hơn.

Theo công thức (15) ánh xạ nào có hồ sơ khoảng cách bít $d_i = \{d_1, d_2, ..., d_m\}$ đạt giá trị lớn hơn thì tham số *G* lớn hơn.

Có thể thấy rằng khi nghiên cứu về điều chế (ánh xạ) thì việc lựa chọn ánh xạ theo tiêu chí BGU và tham số G, thì trước tiên lựa chọn các ánh xạ thỏa mãn điều kiện BGU tiếp theo tính tham số G của các ánh xạ đó, rồi chọn ánh xạ có giá trị G lớn nhất. Với ánh xạ thỏa mãn tiêu chí BGU khi hoán đổi vị trí bít trong nhãn nhị sẽ được ánh xạ tương đương. Với các ánh xạ tương đương trong hồ sơ khoảng cách bít có giá trị của các khoảng cách bít là như nhau, nhưng vị trí trong hồ sơ là khác nhau nên tham số G của các bộ ánh xạ tương đương này bằng nhau.

4. Điều chế M-QAM sử dụng trong hệ thống BIBCM-ID

Yêu cầu của hệ thống BICM-ID đòi hỏi độ dư điều chế (có số mức điều chế $M \ge 4$ hay $m = \log M \ge 2$), nên trong nghiên cứu chỉ khảo sát phương pháp điều chế đa mức M-QAM với hồ sơ cự ly bit $d_i = \{d_1, d_2, ..., d_m\}$. Tuân thủ theo điều kiện Nhất dạng hình học (BDP) các bộ tín hiệu được thực hiện ánh xạ theo một trong các nguyên tắc cơ bản như Gray, SP, MSEW... với các đặc điểm sau:

Ánh xạ Gray: chòm sao X được gọi là dán nhãn nhị phân theo kiểu Gray nếu thỏa mãn điều kiện:

$$\|d_{i,k}\| = x_i - x_k = d_{\min}$$
 và $d_H(q_i, q_k) = 1$ với mọi i, k

Ánh xạ SP: Chòm sao tín hiệu X được dán nhãn nhị phân theo nguyên tắc SP nếu thỏa mãn điều kiện $\delta_0 < \delta_1 < ... < \delta_{m-1}$. Với δ_l là khoảng cách O-cơ-lít nội bộ tối thiểu intra-ED (intra-Euclidean Distance) ở mức độ *l*.

Ánh xạ theo quy tắc MSEW (Maximum Squared Euclidean Weight) có bình phương khoảng cách O-cơ-lít SED (Squared Euclidean Distance) đối với tất các cặp tín hiệu có trọng số Hamming (Hamming Weight - HW) bằng 1 là lớn nhất.

Khi thực hiện ánh xạ theo tiêu chuẩn khoảng cách bít đều (BGU), giá trị bình phương trọng số O-cơ-lít SEW được xác định trong công thức

$$SEW = d_1^2 + d_2^2 + \ldots + d_m^2$$
 với $m = \log_2 M$

Việc phân tích xác suất lỗi cần phân biệt trường hợp sử dụng hoán vị tổng thể và trường hợp sử dụng hoán vị từng dòng. Tuy nhiên, do yêu cầu của hệ thống BICM-ID là cần có độ dư điều chế (có số mức điều chế $M \ge 4$ hay $m = \log M \ge 2$), nên ở đây.

Xét chòm sao tín hiệu M-QAM với $M = 2^m, m \ge 2$ điểm tín hiệu được biểu diễn trên mặt phẳng phức như là các số: $s_k = a_k + ib_k, 1 \le k \le M; a_k, b_k = \pm 1, \pm 3, \dots, \pm 2^m - 1, i = \sqrt{-1}$.

Ngoài việc tuân thủ tiêu chí BGU và BDP đòi hỏi xây dựng các bộ ánh xạ với hồ sơ cự ly bit lớn hơn (tham số *G* lớn hơn). Trong phần dưới đây ngoài ánh xạ cơ bản như Gray, SP, MSEW đưa ra đề xuất sử dụng ánh xạ của tín hiệu 4-QAM và 8-QAM được xây dựng dựa trên ánh xạ của tín hiệu 16-QAM bằng việc lựa chọn các điểm tín hiệu trong chòm sao tín hiệu 16-QAM thỏa mãn các tiêu chí được trình bày ở trên.

4.1. Điều chế 4-QAM

Chòm sao tín hiệu 4-QAM vuông (Square 4QAM) với điểm tín hiệu được biểu diễn trên mặt phẳng phức là các số phức $x_i = a_i + jb_i, 1 \le i \le 4; a_i = \pm 1; b_i = \pm 1; j = \sqrt{-1}$. Các ánh xạ cơ bản của chòm sao thể hiện trong Hình 2. Ba ánh xạ đều có tính chất BGU, trong đó ánh xạ SP và SSP là hai ánh xạ tương đương có bình phương khoảng cách bít {4,8} có $G_{4QAM}^{Square} = 1.5R$; tương tự ánh xạ Gray có $G_{4QAM}^{Square} = R$. Như vậy, ánh xạ Gray không có độ lợi về tỷ lệ Tín/Tạp trên kênh EBSC.



Hình 2. Chòm sao tín hiệu 4-QAM

Chòm sao tín hiệu 4-QAM vuông (Square 4-QAM) với điểm tín hiệu được biểu diễn trên mặt phẳng phức được chọn từ chòm sao tín hiệu 16-QAM được thể hiện như trên Hình 2 d. Hồ sơ cự ly bit của tín hiệu 4-QAM được xây dựng từ các điểm trong chòm sao 16-QAM tương ứng là $d_1 = \sqrt{40}, d_2 = 6$, năng lượng tín hiệu $E_s = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^{M} (a_k^2 + b_k^2) = 10$ và $G_{4QAM}^{Square} = 1.89R$. Thấy rằng, hồ sơ cự ly bit của chòm sao tín hiệu 4-QAM xây dựng từ chòm sao 16-QAM được cải thiện tốt hơn

sơ cự ly bit của chòm sao tín hiệu 4-QAM xây dựng từ chòm sao 16-QAM được cải thiện tốt hơn sơ với các kiểu ánh xạ còn lại.
4.2. Điều chế 8-QAM

Chòm sao tín hiệu 8-QAM vuông (Square 8-QAM) trên mặt phẳng phức gồm các điểm tín hiệu $\{\pm 1 \pm j; \pm 2 \pm 2j\}$ được thể hiện trên Hình 3. Trong đó có ánh xạ MSEW thỏa mãn tính chất BGU và có tham số cực đại $G_{80AM}^{Square} = 1.9R$



Hình 3. Chòm sao tín hiệu 8-QAM

Đối với phương pháp điều chế 8-QAM với ánh xạ được tạo ra từ 16-QAM (Hình 3 d) bằng việc lựa chọn các điểm tín hiệu từ chòm sao tín hiệu 16-QAM thỏa mãn điều kiện BDP giúp cải thiện hồ sơ cự ly bit và mang lại độ lợi về tỷ lệ tín/tạp. Các tham số của ánh xạ trên tương ứng là:

$$d_1 = \sqrt{40}; d_2 = 6; d_3 = \sqrt{20}; E_s = 10$$
 và $G_{8QAM}^{Square} = 2.35R$

4.3. Điều chế 16-QAM

Chòm sao tín hiệu 16-QAM trên mặt phẳng phức được thể hiện trên Hình 4. Với bộ tín hiệu 16 mức chúng ta xét chòm sao tín hiệu 16-QAM vuông (Square 16-QAM) với điểm tín hiệu được biểu diễn trên mặt phẳng phức là các số phức $x_i = a_i + jb_i$, $1 \le i \le 16$, a_i , $b_i = \pm 1, \pm 3$, $j = \sqrt{-1}$. Khi các tín hiệu này được sử dụng với cùng tần suất, công suất trung bình của các tín hiệu phát đi bằng:

$$E_s = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} (a_i^2 + b_i^2) = 10$$

Hồ sơ cự ly bit với các khoảng cách bít tương ứng là:

$$d_1 = \sqrt{20}; d_2 = \sqrt{20}; d_3 = \sqrt{32}; d_3 = \sqrt{20}$$

Giá trị tham số G được tính như công thức:



Hình 4. Ánh xạ 16-QAM square

Hình 5. Ánh xạ 32-QAM

4.4. Điều chế 32-QAM

Chòm sao tín hiệu 32-QAM trên mặt phẳng phức được thể hiện trên Hình 5. Đối với tín hiệu 32-QAM các tham số của hồ sơ cự ly bit và năng lượng tín hiệu tương ứng:

$$d_1 = \sqrt{20}, d_2 = \sqrt{8}, d_3 = \sqrt{40}, d_4 = 4, d_5 = \sqrt{20}; E_s = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^{M} (a_k^2 + b_k^2) = 20; G_{32QAM} = 1.3R.$$

5. Kết quả mô phỏng

Kết quả mô phỏng phẩm chất của hệ thống BIBCM-ID sử dụng mã Hamming mở rộng (8,4,4) và điều chế cầu phương đa mức M-QAM, sử dụng bộ hoán vị khối tổng quát BGI (General Block Interleaver) với độ dài N_p = 2880, với các tham số GBI n = 8, m = 4 và sử dụng 10 vòng lặp giải điều chế/giải mã được thể hiện trên Hình 6. Dựa trên yêu cầu về độ trễ xử lý, độ phức tạp của mã hóa/điều chế và giải mã/giải điều chế cũng như yêu cầu bảo đảm chất lượng của hệ thống BIBCM-ID lựa chọn giải pháp sử dụng mã khối với chiều dài từ mã không quá lớn, cụ thể là mã Extended Hamming Code (8,4,4).

Khảo sát, đánh giá và so sánh chất lượng hệ thống BIBCM-ID với 4 trường hợp: 1) Sử dụng điều chế 4-QAM với chòm sao ánh xạ xây dựng từ chòm sao ánh xạ của 16-QAM; 2) Sử dụng điều chế 8-QAM với ánh xạ MSEW; 3) Sử dụng điều chế Square 16-QAM và 4) Sử dụng điều chế 32-QAM. Kết quả mô phỏng nhằm so sánh hiệu quả giữa sử dụng điều chế 4,8,16 và 32-QAM dựa trên kết quả mô phỏng với các kịch bản như trong Bảng 1.

Bảng 1. Các kịch bản mô phỏng

Mã hóa	R	Mức điều chế	Điều kiện mô phỏng
(8,4,4) Extended Hamming	0.5	4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM	<i>iter</i> = 10, <i>GBI</i> : N_p = 2880, <i>n</i> = 8, <i>k</i> = 4



Hình 6. BER của Hệ thống BIBCM-ID sử dụng điều chế 4,8,16,32-QAM và Hoán vị khối tổng quát (Np = 2880)

Kết quả mô phỏng hệ thống BIBCM-ID được thực hiện trên kênh Gauss cho thấy, ở vùng SNR thấp (< 4dB) hệ thống BIBCM-ID cho chất lượng tốt hơn khi sử dụng phương pháp điều chế bậc thấp 4-QAM và 8-QAM. Trong điều kiện BER = 10^{-4} sử dụng điều chế 8-QAM so với 4-QAM, 16-QAM và 32-QAM đạt được tăng ích về tỷ lệ tín tạp tương ứng là 0.7 dB, 0.75 dB và 2.2 dB. Tuy nhiên, ở vùng SNR cao (≥ 4dB), hiệu quả của giải mã lặp được phát huy, sử dụng điều chế 16-QAM cho phép hệ thống BIBCM-ID cải thiện chất lượng cả về phẩm chất BER và mức sàn lỗi. Ở mức BER = 10^{-6} hệ thống BIBCM-ID sử dụng điều chế 16-QAM cho độ lợi về tỷ lệ tín tạp lớn hơn 1dB so với việc sử dụng các phương pháp điều chế 4-QAM, 8-QAM và 32-QAM. Kết quả mô phỏng khẳng định sự chính xác về cơ sở toán học khi nghiên cứu các bộ tín hiệu (điều chế) cho hệ thống BIBCM-ID ở mục 3.

6. Kết luận

Như vậy, thông qua việc mô phỏng và đánh giá phẩm chất hệ thống BIBCM-ID cho thấy, điều chế 8-QAM phù hợp nhất với hệ thống BIBCM-ID ở vùng SNR thấp, cho phép đạt được độ lợi về tỷ lệ SNR so với điều chế 4-QAM, 16-QAM và 32-QAM lớn hơn 0.7dB. Tuy nhiên, ở vùng SNR cao hệ thống BIBCM-ID cho chất lượng tốt hơn khi sử dụng phương pháp điều chế 16-QAM. Sử dụng phương pháp điều chế này cho phép cải thiện phẩm chất của hệ thống BIBCM-ID cả về BER và mức sàn lỗi. Ngoài ra thấy rằng, đối với hệ thống BIBCM-ID điều chế bậc thấp BPSK và 4-QAM và bậc cao 32-QAM không phù hợp. Tuy nhiên, trong khuôn khổ bài báo này, tác giả sử dụng một kiểu ánh xạ (hồ sơ cự ly bit nhất định) đối với mỗi phương pháp điều chế M-QAM, do vậy đối với phương pháp ánh xạ khác ứng với từng phương pháp điều chế được sử dụng kết quả có thể thay đổi.

Tài liệu tham khảo

1. G. Caire, G. Taricco, and E. Biglieri, Bit-interleaved coded modulation, IEEE Transactions on Information Theory, vol. 44, no. 3, pp. 927-946, 1998.

- Nguyễn Văn Giáo (2010), Nghiên cứu cải thiện chất lượng hệ thống BICM-ID trong thông tin vô tuyến, Học viện kỹ thuật quân sự, Hà Nội.
- Nguyễn Thị Hồng Nhung, Phạm Xuân Nghĩa, Vũ Thị Thắng,Lê Tiến Cường (2016), "Giải mã mềm mã Hamming dựa trên các mã đối ngẫu", Tạp chí nghiên cứu KH&CN quân sự. 46, pp. 27-35.
- Quoc Khanh Mai, The Cuong Dinh, Takeshi Hashimoto, "On Construction of Bit-Interleaved Coded Modulation Systems with Iterative Decoding," REV Journal on Electronics and Communications, Vol. 1, no. 1, Jannary-March, 2011
- 5. Vũ Thị Thắng, Phạm Xuân Nghĩa, "Hệ thống điều chế mã có hoán vị bit sử dụng mã khối với giải mã lặp", Tạp chí Khoa học Công nghệ thông tin và truyền thông, Số 01 (CS01) 2023.
- 6. Vũ Thị Thắng, Nguyễn Văn Giáo, Nguyễn Thế Quang "Tối ưu chòm sao tín hiệu Star-16QAM cho hệ thống BICM-ID trên kênh pha đinh Rayleigh", Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số 61, 6-2019.
- Phạm Xuân Nghĩa, Hoàng Văn Dũng, Vũ Thị Thắng, Lựa chọn bộ ánh xạ cho hệ thống BIBCM- ID, REV-ECIT2023. pp. 216-222.
- 8. John M. Wozencraft, Irwin Mark Jacobs, Principles of Communication Engineering, 1965.
- 9. G David Forney (1991), "Geometrically uniform codes", IEEE Transactions on Information Theory. 37(5), pp. 1241-1260.
- Roberto Garello, Guido Montorsi, Sergio Benedetto, Dariush Divsalar, Fabrizio Pollara (2002), "Labelings and encoders with the uniform bit error property with applications to serially concatenated trellis codes", IEEE Transactions on Information Theory. 48(1), pp. 123-136.
- 11. Aik Chindapol, James A Ritcey (2001), "Design, analysis, and performance evaluation for BICM-ID with square QAM constellations in Rayleigh fading channels", IEEE Journal on Selected Areas in communications. 19(5), pp. 944-957.

CHOOSING THE METHOD OF DIGITAL MODULATION FOR BIBCM-ID SYSTEM

Abstract: The article discusses the selection of modulation methods for the BIBCM-ID system, one of the solutions to improve the communication quality for the BIBCM-ID system on Gaussian channels. Evaluating the comparison results of the quality of the BIBCM-ID system when using multi-level Quadrature amplitude modulation (M-QAM) shows a significant improvement in system quality when using 16-QAM modulation compared to 4-QAM, 8-QAM, and 32-QAM modulation methods with a signal-to-noise ratio (SNR) gain of 1dB or higher (BER = 10-6).

Keywords: Bit-Interleaved Block Coded Modulation with Iterative); Bit Error Rates; Bit Distance Profile; Bit Geometrical Uniformity.

Thuật toán tối ưu công suất cho hệ thống truyền thông tế bào nhỏ đường xuống sử dụng nhiều trạm chuyển tiếp trên không

Bùi Anh Đức¹

¹Khoa Vô tuyến điện tử; Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt

Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu một hệ thống tế bào nhỏ (SC: Small Cell) đường xuống mới dựa trên mô hình không phân chia tế bào (CF: Cell-Free) với việc triển khai các phương tiện bay không người lái (UAVs: Unmanned Aerial Vehicles) như là trạm chuyển tiếp trên không (ARSs: Aerial Relay Stations) phục vụ nhiều người dùng đồng thời trong một khu vực cụ thể. Mô hình SC mới này được thể hiện dưới góc độ lấy người dùng làm trung tâm, trong đó mỗi người dùng sẽ chỉ chọn một ARS có điều kiện kênh truyền tốt nhất, và khái niệm "cell" hoặc "ranh giới cell" sẽ không còn tồn tại. Chúng tôi xây dựng biểu thức thông lượng người dùng đường xuống và sau đó đề xuất một thuật toán tối ưu bisection để điều khiển công suất cho truyền dữ liệu đường xuống nhằm cải thiện chất lượng hệ thống và tiết kiệm năng lượng. Chúng tôi đánh giá hệ thống truyền thông SC sử dụng nhiều ARS đường xuống có và không tối ưu công suất ở các khía cạnh khác nhau, như thay đổi số lượng người dùng, số lượng ARS, và khoảng thời gian ước lượng kênh truyền. Kết quả cũng cho thấy rằng chất lượng hệ thống được cải thiện đáng kể khi áp dụng bài toán tối ưu công suất đường xuống.

Từ khóa: Small Cell; trạm gốc trên không; ước lượng kênh truyền; bài toán tối ưu tuyến tính.

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, sự gia tăng về số lượng thiết bị không dây đã dẫn đến sự tăng cường việc tiêu thụ dữ liệu và nhu cầu cải thiện chất lượng dịch vụ. Do đó, việc mở rộng mạng di động đã trở thành một ưu tiên cấp bách. Thế hệ mạng tiếp theo sau 5G (5G: Fifth Generation) và thế hệ thứ sáu (6G: Sixth Generation) cần tập trung vào giải quyết các vấn đề thực tế hơn như tốc độ cao tính bằng gigabit mỗi giây, độ trễ thấp, lưu lượng lớn và hiệu suất phổ cao trong một khu vực hoặc các kịch bản ứng dụng cụ thể. Thực tế có thể thấy rằng, cơ sở hạ tầng viễn thông ngày nay dễ dàng hỗ trợ các kỹ thuật và tình huống tiên tiến. Một trong số các ứng viên tiềm năng bao gồm các hệ thống tế bào nhỏ (SC: Small Cell) với các nút kết nối tốt và liên kết backhaul có dung lượng cao, cũng như truyền thông của phương tiện bay không người lái (UAVs: Unmanned Aerial Vehicles) hoạt động như các trạm truyền dẫn không gian (ARSs: Aerial Relay Stations) với khả năng triển khai linh hoạt [1]. Thách thức của việc tích hợp truyền thông ARS vào hệ thống SC mang nhiều tính đổi mới và được xem như một trong các ứng viên tiềm năng cho sự đổi mới của lĩnh vực truyền thông.

Có thể nhận thấy rằng truyền thông của ARSs là một lĩnh vực đầy tiềm năng đã là đề tài của nhiều nghiên cứu khai thác ở nhiều khía cạnh khác nhau. Do những ưu điểm nổi bật của nó, bao gồm khả năng di chuyển cao, hiệu quả chi phí, khả năng triển khai linh hoạt, điều kiện kênh thuận lợi, truyền thông không dây có sử dụng ARS không chỉ ứng dụng rộng rãi trong các kịch bản dịch vụ hằng ngày mà còn trong các hoạt động quân sự và cứu hộ cứu nạn. Các nhà khoa học cũng đã nghiên cứu nhiều kịch bản ứng dụng khác nhau cho truyền thông của ARS, bao gồm các mạng truyền thông đơn ARS, mạng truyền thông ARS với nhiều bước nhảy, và Internet với ARSs. Ngoài ra, các kịch bản khuếch đại chuyển tiếp (AF: Amplify-and-Forward) hoặc giải mã chuyển tiếp (DF: Decode and-Forward), giao thức truy cập đa truy cập phân chia theo thời gian (TDMA: Time

Division Multiple Access), giao thức đa truy cập phân chia theo tần số (OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access), và bài toán tối ưu hóa dung lượng và quỹ đạo ARS trong mạng truyền thông ARS cũng đã được giới thiệu một cách chi tiết [2].

Ngoài ra, một hệ thống SC được xây dựng dựa trên việc triển khai mật độ dày của các trạm cơ sở (BSs: Base Station), có kích thước nhỏ hơn đáng kể so với một microcell điển hình. Các mô hình SC, về bản chất, là các BS được thiết kế để phục vụ một khu vực phủ sóng hạn chế, có kích thước khoảng một trăm lần nhỏ hơn so với các macro-BS truyền thống. Bằng cách tập trung truyền tải ở công suất thấp và bán kính phủ sóng từ 50-150 mét, các mô hình SC mang lại hiệu quả năng lượng và giảm thiểu suy hao đường truyền thông qua việc giảm khoảng cách giữa người dùng và các BS [3]. Do đó, việc triển khai các mô hình SC đã thu hút sự quan tâm của các nhà khai thác di động đang tìm kiếm cải thiện chất lượng hệ thống trong các kịch bản truyền thông ở các khu vực địa lý khác nhau.

Sự kết hợp các mô hình SC và truyền thông ARS để phục vụ cho nhóm người dùng thông qua kỹ thuật tạo chùm tia và sóng mm cũng đã được nghiên cứu rộng rãi. Kết quả cho thấy chất lượng hệ thống phụ thuộc vào độ cao của ARS, số lượng ARS và kích thước của vùng phủ sóng [4]. Để giảm mức tiêu thụ công suất của hệ thống SC, các nhà nghiên cứu đã phát triển chiến lược tối ưu hóa năng lượng. Mô hình này sử dụng một thuật toán điều khiển mới có thể tự động hủy kích hoạt BS của mô hình SC dự phòng để đáp ứng các yêu cầu về lưu lượng mạng [5]. Bên cạnh đó, các tác giả khẳng định rằng hoàn toàn có thể triển khai thuật toán tối ưu công suất, vị trí hoặc quỹ đạo ARSs vào dựa trên hệ thống SC trong mạng 6G tương lai [6].

1.1 Động lực nghiên cứu

Với những khảo sát cơ bản ở trên về hệ thống truyền thông SC và ARS cũng như thực trạng nhu cầu cao của ngành viễn thông hiện nay và định hướng tương lai. Có một số lý do thể hiện rằng sự kết hợp hệ thống SC và truyền thông ARS được xem một hướng nghiên cứu tiềm năng.

Thứ nhất, các hệ thống SC thông thường mang lại những lợi ích như xử lý tín hiệu đơn giản, tốc độ truyền dẫn cao và triển khai linh hoạt với picocell, femtocell và microcell. Tuy nhiên, bản chất của mô hình SC thông thường vẫn tồn tại khái niệm ô (cell) có phạm vi nhỏ. Trong thực tế, nhiều cell dẫn đến việc xử lý tín hiệu phức tạp hơn, tăng nhiễu giữa các cell và ảnh hưởng đến kết nối vô tuyến. Do đó, cần có một cách tiếp cận mới để nâng cao và phát triển mô hình SC thông thường nhằm đảm bảo loại bỏ khái niệm "Cell".

Thứ hai, khảo sát cho thấy có rất ít nghiên cứu được thực hiện về sự kết hợp các mô hình truyền thông ARS và SC. Đặc biệt, một mô hình SC hoàn toàn mới được phát triển khi xem xét dựa trên hệ thống không phân chia tế bào (CF: Cell Free). Hơn nữa, khi SC được kết hợp với truyền thông ARS thì mô hình kết hợp mang lại các đặc điểm nổi bật như xác suất đường truyền thẳng (LoS: Line of Sight) cao, triển khai linh hoạt và xử lý tín hiệu đơn giản. Mô hình kết hợp này hoàn toàn khả thi đối với các tình huống thực tế như đảm bảo liên lạc cho các nhiệm vụ giải cứu, hoạt động quân sự và kết nối các thiết bị IoT tại các sự kiện dân sự thông thường.

Cuối cùng, một bài toán tối ưu hóa công suất đơn giản luôn được ưu tiên và áp dụng phù hợp với các mô hình của mạng di động nhằm giảm ảnh hưởng của nhiễu và nâng cao chất lượng hệ thống. Đặc biệt, trong bối cảnh xuất hiện truyền thông ARS sẽ tiết kiệm năng lượng và kéo dài tuổi thọ của mạng không dây.

1.2 Động lực nghiên cứu

Dựa trên các động lực nghiên cứu đã trình bày ở trên, chúng tôi đề xuất mô hình truyền thông ARS hỗ trợ cho hệ thống SC đường xuống dựa trên hệ thống CF sử dụng nhiều ARS. Đồng thời, đề xuất thuật toán tối ưu hóa Bisection nhằm giải quyết bài toán kiểm soát công suất truyền dữ liệu để nâng cao chất lượng hệ thống, triển khai hệ thống linh hoạt và tiết kiệm năng lượng. Cấu trúc chi tiết nghiên cứu của chúng tôi được thể hiện ở những đóng góp quan trọng như sau:

- Chúng tôi phát triển mô hình truyền thông SC đường xuống dựa trên hệ thống CF, do đó không có khái niệm về ranh giới cell hoặc cell, trong đó tất cả ARS được triển khai và cùng phục vụ các người dùng trong một khu vực cụ thể [7]. Mô hình SC được thiết kế theo ý tưởng lấy người dùng làm trung tâm, trong đó mỗi người dùng chỉ chọn một ARS có điều kiện kênh tốt nhất để liên lạc.

- Chúng tôi minh họa mô hình kênh theo tiêu chuẩn LTE tiên tiến do tổ chức Liên minh Viễn thông Quốc tế (International Telecommunication Union: ITU) và dự án đối tác thế hệ thứ 3 (The 3rd Generation Partnership Project: 3GPP) cung cấp để hỗ trợ các phương tiện trên không. Giao thức song công phân chia theo thời gian (Time Division Duplex: TDD) được áp dụng cho giao thức truyền thông trên toàn mạng. Ngoài ra, Phương pháp ước lượng Kênh Truyền với Sai Số Trung Bình Bình Phương Tối Thiểu (Minimum Mean Squared Error: MMSE) được áp dụng cho ước lượng kênh đường xuống.

- Chúng tôi thiết lập biểu thức thông lượng đường xuống cho mỗi người dùng. Tiếp theo, chúng tôi triển khai thuật toán Bisection để giải bài toán tuyến tính dưới ràng buộc hệ số điều khiển công suất, từ đó tối ưu hóa công suất cho hệ thống truyền thông đường xuống từ các ARS đến người dùng.

- Chúng tôi đánh giá chất lượng hệ thống bằng cách so sánh thông lượng người dùng khi không/có tối ưu hóa hệ số công suất dữ liệu ở các khía cạnh khác nhau, chẳng hạn như thay đổi số lượng người dùng, số lượng ARS và khoảng thời gian ước tính kênh trong đường xuống.

Các phần tiếp theo của bài báo được cấu trúc như sau: Phần II thảo luận về mô hình hệ thống SC sử dụng nhiều ARS đường xuống. Phần III đề cập đến việc xử lý tín hiệu, bao gồm ước tính kênh đường xuống, truyền dữ liệu đường xuống và tối ưu công suất. Phần IV trình bày một số kết quả và phần V kết luận.

2. Mô hình hệ thống

2.1 Mô hình kênh

Chúng tôi khảo sát một mô hình SC sử dụng nhiều ARS mới được ứng dụng trong các tình huống thực tế khác nhau như được mô tả trong Hình 1.

Đầu tiên, chúng tôi minh họa mô hình truyền thông với *S* ARS phục vụ k người dùng mặt đất [7]. ARS và người dùng đều được cấu hình đơn ăng-ten. Hơn nữa, các ARS và người

dùng được phân bố ngẫu nhiên trong một khu vực cụ thể. Tất cả các ARS đều phục vụ người dùng ở cùng một tài nguyên tần số và thời gian. ARS kết nối với trạm gốc mặt đất (GBS: Ground Base Station) thông qua kênh truyền dẫn hoàn hảo.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi minh họa kênh từ ARS thứ s đến người dùng thứ k như sau:

$$g_{sk} = \sqrt{\beta_{sk}} h_{sk}, \qquad (1)$$

trong đó pha-đinh quy mô nhỏ được biểu thị bằng h_{sk} và được xem xét theo giả định tuân theo phân phối độc lập và đồng đều $\mathcal{CN}(0,1)$ là véc-tơ biến ngẫu nhiên.



Hình 1: Mô hình hệ thống multi-ARS SC

Bên cạnh đó, pha-đinh quy mô lớn được minh họa dưới đây.

$$\beta_{sk} = 10^{\frac{\text{PL}_{sk}}{10}},\tag{2}$$

 PL_{sk} là suy hao đường truyền theo tiêu chuẩn LTE tiên tiến của ITU cung cấp cho phương tiện bay và các kịch bản truyền thông ở đô thị [8, Bảng B-2].

$$PL_{sk} = \begin{cases} PL_{LoS} = max \{ PL', 30.9 + (22.25 - 0.5log_{10}(h_{ARS})) log_{10}(d_{3D}) + 20log_{10}(f_c) \} \\ PL_{NLoS} = max \{ PL_{LoS}, 32.4 + (43.2 - 7.6log_{10}(h_{ARS})) log_{10}(d_{3D}) + 20log_{10}(f_c) \} \end{cases}$$

trong đó PL', PL_{NLoS}, ,và PL_{LoS} thể hiện lần lượt là suy hao đường truyền trong không gian tự do, không có đường nhìn thẳng (NLoS: Non-Line-of-Sight), đường nhìn thẳng (LoS: Line-of-Sight).

2.2 Mô hình SC nhiều ARS

Triển khai mô hình SC mang lại nhiều lợi ích đáng kể và đã trở thành một trong những giải pháp quan trọng cho thế hệ mạng tiếp theo, như đã đề cập trong Phần 1.1. Chúng tôi đề xuất mô hình đường xuống nhiều ARS SC với giả định rằng mỗi người dùng được phục vụ bởi một ARS duy nhất. Điều đó có nghĩa là đối với mỗi người dùng, ARS có đóng góp tín

hiệu tốt nhất sẽ được chọn, từ đó bài toán lựa chọn ARS dựa trên hệ số pha-đinh quy mô lớn tốt nhất được xem xét. Mô hình toán học được xác định như sau:

$$s_{k} \triangleq \underset{s \in \{\in ARSs\}}{\operatorname{arg\,max}} \beta_{sk.}$$
(3)

Khác với mô hình CF, mô hình SC không có ràng buộc về điều kiện kênh cứng (channel hardening). Điều này có nghĩa là trong hệ thống CF, độ lợi kênh gần bằng giá trị trung bình của nó [9]. Tuy nhiên, trong mô hình SC, các kênh là các kênh pha-đinh Rayleigh đơn. Do đó, cả người dùng và ARS đều phải thực hiện ước lượng kênh. Trong nghiên cứu này, giao thức truyền thông áp dụng theo cơ chế TDD [10] và tập trung vào việc xem xét ước lượng kênh đường xuống và truyền dữ liệu đường xuống.

3. Xử lý tín hiệu

3.1 Ước lượng kênh đường xuống

Chúng tôi định nghĩa α_p^d là khoảng thời gian cho huấn luyện kênh đường xuống và $\sqrt{\alpha_p^d}\phi_k \in \mathbb{C}^{\alpha_p^d \times 1}, \|\phi_k\|^2 = 1$ là chuỗi pilot được gửi từ ARS thứ s_k , trong đó ρ_p^d thể hiện công suất phát trên ký hiệu (symbol) pilot.

Tín hiệu pilot nhận được ở người dùng thứ k biểu diễn như sau:

$$\mathbf{y}_{\mathrm{p}} = \sqrt{\alpha_{\mathrm{p}}^{\mathrm{d}} \rho_{\mathrm{p}}^{\mathrm{d}}} \mathbf{g}_{s_{k}k} \boldsymbol{\phi}_{k}^{H} + \boldsymbol{w}_{p}, \qquad (4)$$

trong đó, W_p là tạp âm tại người dùng. Tiếp theo, ánh xạ của y_p lên ϕ_k , ước lượng MMSE cho g_{s_kk} là

$$\mathbf{g}_{s_k k} = \mathbb{E}\left\{\mathbf{g}_{s_k k} \mathbf{\breve{y}}_{p}^{H}\right\} \left(\mathbb{E}\left\{\mathbf{\breve{y}}_{p} \mathbf{\breve{y}}_{p}^{H}\right\}\right)^{-1} \mathbf{\breve{y}}_{p}$$

$$= c_{s_k k} \mathbf{\breve{y}}_{p}$$
(5)

trong đó, $\mathbf{\breve{y}}_{p} \triangleq \mathbf{y}_{p} \boldsymbol{\phi}_{k}$, và $c_{s_{k}k} \triangleq \frac{\sqrt{\alpha_{p}^{d} \rho_{p}^{d}} \beta_{s_{k}k}}{\alpha_{p}^{d} \rho_{p}^{d} \sum_{k'=1}^{K} \beta_{s_{k'}k} |\boldsymbol{\phi}_{k}^{H} \boldsymbol{\phi}_{k'}|^{2} + 1}.$

Theo như [11], ước lượng kênh truyền từ ARS s_k đến người dùng k được biểu diễn như sau:

$$\hat{g}_{s_kk} = g_{s_kk} - \mathcal{E}_{s_kk},\tag{6}$$

trong đó $\mathcal{E}_{s_k k}$ là lỗi ước lượng kênh truyền và độc lập với $\hat{g}_{s_k k}$. Ngoài ra, chúng tôi có $\hat{g}_{s_k k} \sim \mathcal{CN}(0, \mu_{s_k k})$, và $\mathcal{E}_{s_k k} \sim \mathcal{CN}(0, \beta_{s_k k} - \mu_{s_k k})$ [11] với $\mu_{s_k k}$ là trung bình-bình phương véc-tơ ước lượng kênh truyền $\hat{g}_{s_k k}$, có thể được tính như sau:

$$\mu_{s_{k}k} \triangleq \mathbb{E}\left\{ \left| g_{s_{k}k} \right|^{2} \right\} = \sqrt{\alpha_{p}^{d} \rho_{p}^{d}} \beta_{s_{k}k} c_{s_{k}k} = \frac{\alpha_{p}^{d} \rho_{p}^{d} \beta_{s_{k}k}^{2}}{\alpha_{p}^{d} \rho_{p}^{d} \sum_{k'=1}^{K} \beta_{s_{k'}k} \left| \phi_{k}^{H} \phi_{k'} \right|^{2} + 1}$$

3.2 Truyền dữ liệu đường xuống

K người dùng dự trên chuỗi pilot nhận được từ các ARS để lựa chọn ARS tốt nhất cho truyền dữ liệu. Chúng tôi minh họa $\sqrt{\tau_k^d} q_k$, trong đó $\mathbb{E}\left\{\left|q_k\right|^2\right\} = 1$ là symbol được gửi từ ARS s_k đến người dùng *k* với hệ số điều khiển công suất τ_k^d . Tín hiệu tại người dùng *k* được mô tả dưới đây:

$$y_{k} = \sum_{n=1}^{N} \sqrt{\rho^{d}} \sum_{k'=1}^{K} g_{s_{k}k} \sqrt{\tau_{k'}^{d}} q_{k'} + w_{k} = \sum_{n=1}^{N} \sqrt{\rho^{d}} \hat{g}_{s_{k}k} \sqrt{\tau_{k}^{d}} q_{k} + \sum_{n=1}^{N} \sqrt{\rho^{d}} \varepsilon_{s_{k}k} \sqrt{\tau_{k}^{d}} q_{k} + \sum_{n=1}^{N} \sqrt{\rho^{d}} \varepsilon_{s_{k}k} \sqrt{\tau_{k}^{d}} q_{k} + \sum_{n=1}^{N} \sqrt{\rho^{d}} \varepsilon_{s_{k}k} \sqrt{\tau_{k}^{d}} q_{k}$$
(7)

trong đó ρ^{d} thể hiện công suất phát đường xuống chuẩn hóa SNR, và $w_{k} \sim C\mathcal{N}(0,1)$ là tạp âm trắng cộng. Bằng việc xem xét 3 thành phần cuối cùng của Công thức (7) như là thành phần tạp âm, chúng tôi tính toán Công thức (8) tốc độ truyền dữ liệu đường xuống của người dùng k, như thể hiện dưới đây.

$$R_{k}^{d} = \mathbb{E}\left\{ log_{2}\left(1 + \frac{\rho^{d}\tau_{k}^{d} \left|\hat{g}_{s_{k}k}\right|^{2}}{\rho^{d}\tau_{k}^{d} \left(\beta_{s_{k}k} - \mu_{s_{k}k}\right) + N\rho^{d} \sum_{k' \neq k}^{K} \tau_{k'}^{d} \beta_{s_{k'}k} + 1}\right)\right\}.$$
(8)

Có thể quan sát thấy rằng Công thức (8), $|\hat{g}_{s_k k}|^2$ có phân bố theo hàm mũ với giá trị trung bình $\mu_{s_k k}$. Do vậy, biểu thức tốc độ đạt được của người dùng k ở Công thức (8) có thể được biến đổi bằng việc sử dụng hàm tích phân lũy thừa Ei(.) [12, Eq. (8.211.1)] như sau:

$$R_{k}^{d} = -(\log_{2} e)e^{1/\overline{\mu}_{s_{k}k}} \operatorname{Ei}\left(-\frac{1}{\overline{\mu}_{s_{k}k}}\right), \qquad (9)$$

trong đó

$$\overline{\mu}_{s_k k} \triangleq \frac{\rho^{\mathrm{d}} \tau_k^{\mathrm{d}} \mu_{s_k k}}{\rho^{\mathrm{d}} \tau_k^{\mathrm{d}} (\beta_{s_k k} - \mu_{s_k k}) + \rho^{\mathrm{d}} \sum_{k' \neq k}^{K} \tau_{k'}^{\mathrm{d}} \beta_{s_k k} + 1}.$$
(10)

3.3 Tối ưu công suất

Bài toán điều khiển công suất mang lại nhiều lợi ích nhằm nâng cao chất lượng hệ thống, quản lý nhiễu, đảm bảo đồng bộ chất lượng dịch vụ và tiết kiệm năng lượng cho toàn hệ thống. Một số phương pháp tối ưu hóa công suất góp phần nâng cao thông lượng tổng thể

của hệ thống. Tuy nhiên, khi áp dụng các phương pháp này thì cho ra kết quả là một số người dùng có thông lượng rất tốt nhưng cũng có một số người dùng có thông lượng rất kém. Vì vậy, vấn đề này dẫn đến sự bất công, hay nói cách khác là chất lượng dịch vụ không đồng đều cho người sử dụng.

Bài toán tối ưu hóa công suất max-min nhằm đạt được sự công bằng nhất định giữa người dùng. Có thể đạt được sự công bằng bằng cách tăng khả năng truyền dữ liệu của người dùng với thông lượng thấp. Trong mô hình đề xuất của chúng tôi, tối ưu hóa công suất được giải quyết thông qua bài toán max-min bằng thuật toán Bisection, trong đó cả hàm mục tiêu và ràng buộc đều là gần tuyến tính và tuyến tính. Mô hình toán học được mô tả cụ thể như sau:

(P1)
$$\max_{x^{d}} \min_{k=1,\dots,K} R_{k}^{d}$$
(11a)

$$0 \le \tau_{k}^{d} \le 1, \ k = 1, ..., K$$
 (11b)

Bởi vì R_k^d là hàm đơn điệu tăng theo $\overline{\mu}_{s_k k}$. Do đó, bài toán (P1) được viết lại như sau:

(P2)
$$\max_{\tau_k^d} \min_{k=1,\dots,K} \overline{\mu}_{s_k k}$$
(12a)

$$0 \le \tau_k^d \le 1, \ k = 1, ..., K$$
 (12b)

Để giải quyết bài toán tối ưu, hàm mục tiêu và các ràng buộc phải là hàm tuyến tính hay gần tuyến tính. (P2) là bài toán tìm giá trị lớn nhất của $\min_{k=1,...,K} \overline{\mu}_{s_k k}$ theo biến τ_k^d .

Có thể thấy rằng ở P2, (12b) là hàm tuyến tính, trong đó (12b) không đảm bảo tuyến tính. Bằng việc giới thiệu biến Slack ξ , chúng tôi biến đổi biểu thức (12b) với ξ là đường bao trên của $\min_{k=1,\dots,K} \overline{\mu}_{s_k k}$ [13, Chương 5, 6]. Vì vậy, (P2) có thêm một ràng buộc là $\xi \leq \overline{\mu}_{s_k k}$ §.

Cụ thể, (P2) được viết lại như sau:

$$(P3) \max_{\tau_k^d,\xi} \xi$$

$$\xi \le \overline{\mu}_{s_k k}, k = 1,...,K$$

$$0 \le \tau_k^d \le 1, k = 1,...,K.$$

$$(13)$$

Bài toán (P3) là bài toán tuyến tính theo biến ξ có thể giải quyết thông qua phương pháp Bisection, được mô tả cụ thể sau đây:

Thuật toán 1: Thuật toán phân đôi (Bisection)

1: Khởi tạo: Lựa chọn giá trị ban đầu của ξ_{min} và ξ_{max} xác định các giá trị liên quan của hàm mục tiêu trong (P3). Giá trị dung sai là $\epsilon = 10^{-2}$

2: Cài đặt $\xi := \frac{\xi_{min} + \xi_{max}}{2}$. Giải quyết bài toán (P3)

3: Nếu Bài toán (P3) khả thi, thiết lập $\xi_{min} := \xi$, hơn nữa thiết lập $\xi_{max} := \xi$ Kết thúc

4: Dừng nếu $\xi_{max} - \xi_{min} \leq \epsilon$. Nếu không, quay lại bước 2.

4. Một số kết quả thảo luận

Chúng tôi đánh giá hiệu suất hệ thống SC nhiều ARS bằng cách sử dụng hàm phân phối tích lũy (CDF) của thông lượng người dùng cả khi không/có tối ưu công suất truyền dữ liệu đường xuống. Ngoài ra, chúng tôi cũng thử nghiệm chất lượng hệ thống khi thay đổi các tham số như số lượng ARS, thời gian phân bổ cho việc ước lượng kênh đường xuống và số lượng lớn người dùng. Tham số mô phỏng được thể hiện ở Bảng 1.

Tham Số	Giá Trị
Tần số sóng mang	1.9 GHz
Băng thông	20MHz
Băng thông kết hợp	200KHz
Thời gian kết hợp	1ms
Chiều cao ARS	$22.5m \le h_{ARS} \le 300m$
ρ_{p}^{d}, ρ^{d}	100,200 mW
Khoảng thời gian kết hợp	200 sample
Diện tích phân bố	1 km^2

Bảng 1: Các tham số của hệ thống sử dụng cho mô phỏng

Chúng tôi khảo sát thông lượng người dùng, có tính đến khoảng thời gian kênh ước tính. Biểu thức thông lượng được thể hiện như sau:

$$T_k^{\rm d} = B \frac{1 - \alpha_p^{\rm d} / \alpha^{\rm c}}{2} R_k^{\rm d}.$$
⁽¹⁴⁾

Nếu không tối ưu hóa năng lượng dữ liệu, ARS sẽ truyền hết công suất, tức là $\tau_k^d = 1$

Với việc tối ưu hóa công suất dữ liệu, ARS thực hiện truyền tải với các hệ số điều khiển công suất được tối ưu hóa τ_k^d như đã mô tả ở Phần 3.3

4.1 Kết quả và thảo luận



Hình 2: CDF của thông lượng cho mỗi người dùng trong các trường hợp có/không có tối ưu hóa công suất truyền dữ liệu, L=15, K=14,16,18, $\alpha_p^d = 10$.

Hình 2 minh họa hàm phân phối tích lũy (CDF: Cumulative distribution function) của thông lượng người dùng khi số lượng ARS được triển khai thay đổi. Một mặt, có thể thấy rằng khi tối ưu hóa công suất thì thông lượng cải thiện đáng kể. Ví dụ, với tổng số ARS được triển khai (L=13), 90% khả năng thông lượng người dùng đạt được khi không tối ưu hóa công suất chỉ khoảng 0,1 *Mbit/s*, trong khi với tối ưu hóa công suất, con số này là 2 *Mbit/s*. Lý do cho điều này là khi công suất phát được tối ưu, ARS sẽ truyền với công suất vừa đủ để quản lý nhiễu liên người dùng hoặc tạp âm ở máy thu, từ đó cải thiện thông lượng của người dùng.

Mặt khác, khi tổng số ARS được triển khai tăng tuần tự với L=13, 15, 17, thông lượng của người dùng cũng được cải thiện. Khi giá trị L tăng lên, xác suất chọn ARS có điều kiện kênh tốt nhất, tương ứng với mô hình SC, cũng tăng lên. Điều này đảm bảo chất lượng dịch vụ người dùng được cải thiện.



Hình 3: CDF của thông lượng cho mỗi người dùng trong các trường hợp có/không có tối ưu hóa công suất truyền dữ liệu, L=15, K=14,16,18, và $\alpha_{p}^{d}=10$.

Hình 3 biểu diễn CDF của thông lượng người dùng khi số lượng người dùng thay đổi. Trong kết quả mô phỏng này, chúng tôi khảo sát hiệu suất hệ thống trong điều kiện thực tế với số lượng người dùng khác nhau, lớn hơn và nhỏ hơn số lượng ARS được triển khai. Kết quả chỉ ra rằng với số lượng người dùng cao, kết nối của người dùng với ARS đòi hỏi sự cạnh tranh cao hơn, đặc biệt đối với người dùng ở xa, dẫn đến thông lượng người dùng giảm. Tuy nhiên, ngay cả với số lượng người dùng lớn thì bài toán tối ưu hóa năng lượng vẫn mang lại hiệu quả rõ rệt.

Trong Hình 4, chúng tôi thử nghiệm thông lượng người dùng khi độ dài của chuỗi thử nghiệm huấn luyện kênh đường xuống thay đổi, hay nói cách khác, thời gian được phân bổ cho việc huấn luyện kênh đường xuống. Có thể thấy rằng khi thời gian phân bổ cho ước tính kênh tăng $\alpha_n^d = 5,10,15,20$, thông lượng người dùng được cải thiện.

Tuy nhiên, với $\alpha_p^d = 20$, thông lượng người dùng tăng nhẹ và có xu hướng bão hòa. Lý do cho điều này là vì khi giá trị α_p^d tăng lên, cho thấy thời gian phân bổ cho ước lượng kênh truyền tăng lên, chất lượng ước lượng kênh sẽ được cải thiện. Tuy nhiên, nếu giá trị α_p^d tiếp tục tăng thì sẽ ảnh hưởng đến thời gian truyền dữ liệu. Do đó, khi giá trị α_p^d tăng lên, thông lượng người dùng có xu hướng bão hòa và giảm.



Hình 4: CDF của thông lượng cho mỗi người dùng trong các trường hợp có/không có tối ưu hóa công suất truyền dữ liệu, L=15, K=10, $\alpha_{p}^{d} = 5,10,15,20$

5. Kết luận

Nghiên cứu này đã khảo sát hệ thống đường xuống nhiều ARS dựa trên mô hình SC. Bằng cách triển khai các ARS để cùng phục vụ người dùng mặt đất ở một khu vực cụ thể, tương tự như mô hình CF. Sau đó, việc lựa chọn ARS có điều kiện kênh tốt nhất để phục vụ người dùng được gọi là mô hình SC. Ngoài ra, một thuật toán điều khiển công suất được đề xuất để nâng cao chất lượng hệ thống. Chất lượng hệ thống được đánh giá dựa trên nhiều thông số khác nhau như tổng số ARS được triển khai, số lượng người dùng, và độ dài của chuỗi thử nghiệm. Kết quả cũng cho thấy thông lượng người dùng được cải thiện khi áp dụng bài toán điều khiển công suất. Tuy nhiên, hiện tại chúng tôi đang thử nghiệm với giải sử kết nối giữa ARS và GBS như một kênh truyền dẫn lý tưởng. Trong nghiên cứu trong tương lai, chúng tôi sẽ xem xét các ràng buộc của kênh truyền backhaul trong khảo sát của chúng tôi.

Tài liệu tham khảo

- D. C. Nguyen, M. Ding, P. N. Pathirana, A. Seneviratne, J. Li, D. Niyato, O. Dobre, and H. V. Poor, "6G Internet of Things: A comprehensive survey," IEEE Internet. of Things J., vol. 9, no. 1, pp. 359–383, Aug. 2021.
- 2. B. Li, S. Zhao, R. Miao, and R. Zhang, "A survey on unmanned aerial vehicle relaying networks," IET Communications, vol. 15, no. 10, pp. 1262–1272, 2021.
- 3. J. Tanveer, A. Haider, R. Ali, and A. Kim, "An overview of reinforcement learning algorithms for handover management in 5G ultra-dense small cell networks," Applied Sciences, vol. 12, no. 1, p. 426, 2022.
- M. A. Ouamri, D. Singh, M. A. Muthanna, A. Bounceur, and X. Li, "Performance analysis of UAV multiple antenna-assisted small cell network with clustered users," Wireless Networks, vol. 29, no. 4, pp. 1859–1872, 2023.
- 5. Q. Alsafasfeh, O. A. Saraereh, A. Ali, L. Al-Tarawneh, I. Khan, and A. Silva, "Efficient power control framework for small-cell heterogeneous networks," Sensors, vol. 20, no. 5, p. 1467, 2020.
- 6. N. Parvaresh and B. Kantarci, "A continuous actor–critic deep Q-learning-enabled deployment of UAV base stations: Toward 6G small cells in the skies of smart cities," IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 4, pp. 700–712, 2023.
- B. A. Duc, T. M. Hoang, N. T. Phuong, X. N. Tran, and P. T. Hiep, "Optimizing power for data transmissions in uplink cell-free multi-ABSs communication systems," in 2022 Int. Conf. Advanced. Technol. Commun. (ATC). IEEE, Nov. 2022,pp. 23–28.
- 8. 3GPP, "Technical specification group radio access network; study on enhanced LTE support for aerial vehicles," TR 36.777, Dec. 2017.
- 9. S. Elhoushy, M. Ibrahim, and W. Hamouda, "Cell-free massive MIMO: A survey," IEEE Commun. Surveys & Tutorials., vol. 24, no. 1, pp. 492–523, Oct. 2022.
- 10. T. L. Marzetta and H. Yang, Fundamentals of massive MIMO. Cambridge University Press, 2016.
- 11. S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory. Prentice-Hall, Inc., 1993.
- 12. D. Zwillinger and A. Jeffrey, Table of integrals, series, and products. Elsevier, 2007.
- 13. E. K. Chong, W.-S. Lu, and S. H. Zak, ' An introduction to optimization. John Wiley & Sons, 2023.

A power optimization algorithm for downlink small cell communication system using multiple overhead relay stations

Abstract: In this paper, we study a new downlink small cell (SC: Small Cell) system based on the cellfree (CF: Cell-Free) model with the deployment of unmanned aerial vehicles (UAV) as aerial relay stations (ARSs: Aerial Relay Stations) serving multiple users simultaneously in a specific area. This new SC model is presented from a user-centric perspective, where each user will select only one ARS with the best channel conditions, and, therefore, the concept of "cell" or "cell boundary" will not be used. We describle a downlink user throughput expression and then propose a bisection optimization algorithm to control the power for downlink data transmission to improve system quality and save energy. We evaluate the SC communication system using multiple downlink ARS with and without power optimization in different aspects, such as varying the number of users, number of ARS, and transmission channel estimation interval. The results also show that the system quality is significantly improved when the downlink power optimization solution is applied.

Keywords: Small Cell; aerial base station; transmission channel estimation; Linear optimization problem.

Nghiên cứu, đánh giá các giải pháp giảm hiệu ứng tương hỗ giữa các phần tử trong hệ Ăng-ten MIMO

Trần Việt Đức Nguyên^{1*}

¹Hệ quản lý học viên sau đại học; Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu về hiện tượng tương hỗ giữa các phần tử trong mảng ăng-ten vi dải dùng cho truyền thông MIMO. Bài báo tập trung trình bày các tham số đánh giá phẩm chất các mảng ăngten nhiều phần tử và các giải pháp để hạn chế ảnh hưởng của hiệu ứng tương hỗ lên phẩm chất chung của hệ ăng-ten. Các phương pháp giảm tương được đề cập trong nghiên cứu này bao gồm: sử dụng phần tử thụ động, sử dụng đường dây trung tính, sử dụng mặt phẳng đất không hoàn hảo, và sử dụng siêu vật liệu nhân tạo. Một số công trình đã công bố sử dụng các phương pháp nêu trên được liệt kê và so sánh. Việc nghiên cứu và đánh giá các giải pháp giảm tương hỗ này là cơ sở để tác giả lựa chọn và đề xuất giải pháp thiết kế ăng-ten MIMO phù hợp với ứng dụng và yêu cầu kỹ thuật.

Từ khóa: hiện tượng tương hỗ; ăng-ten MIMO; phần tử thụ động; đường dây trung tính; DGS; siêu vật liệu nhân tạo.

1. Giới thiệu chung

Những năm gần đây, các mô hình ăng-ten nhiều đầu vào nhiều đầu ra (MIMO) đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi nhờ tận dụng được những ưu điểm nổi bật của truyền thông MIMO như tăng tốc độ truyền tin, cải thiện chất lượng tín hiệu, mở rộng vùng phủ sóng và cải thiện hiệu suất sử dụng phổ [1]. Trong số các dạng ăng-ten phổ biến hiện nay, ăng-ten vi dải (Microstrip Patch Antennas – MPA) là mô hình phổ biến trong các thiết bị hiện đại nhờ vào kích thước nhỏ gọn và thuận tiện khi tích hợp lên các bề mặt thiết bị. Khi hoạt động, các phần tử trong mảng ăng-ten MIMO vi dải thường được đặt trên một tấm nền điện môi, có chung mặt phẳng đất và được phát xạ đồng thời.

Với xu hướng phát triển của các thiết bị truyền thông vô tuyến hiện đại, thu nhỏ kích thước là một trong những đòi hỏi tiên quyết. Do vậy, ăng-ten được thiết kế cho các loại thiết bị này cũng cần phải được thiết kế ngày càng nhỏ gọn hơn để thỏa mãn các yêu cầu về kích thước khi tích hợp lên thiết bị. Tuy nhiên, đối với ăng-ten MIMO vi dải, việc thu nhỏ kích thước phải đối mặt với trả giá về mặt hiệu suất ăng-ten do ảnh hưởng tương hỗ của các phần tử phát xạ lân cận, hay còn gọi là hiệu ứng tương hỗ. Hiệu ứng tương hỗ là hiện tượng xảy ra trong các hệ ăng-ten khi đặt các phần tử phát xạ cạnh nhau với việc năng lượng phát xạ từ một phần tử ăng-ten cụ thể sẽ bị hấp thụ bởi một phần tử ăng-ten khác [2]. Hiện tượng này khiến các phẩm chất của toàn hệ ăng-ten MIMO bị suy giảm đáng kể khi khoảng cách từ các cổng phát xạ nhỏ hơn một nửa bước sóng (λ /2) tại tần số trung tâm, gây ra bởi sự tương tác do sóng bề mặt trong chất nền điện môi và sóng không gian phát xạ từ các phần tử ăng-ten. Do vậy, một yêu cầu quan trọng đặt ra đối với các hệ ăng-ten MIMO là phải giảm thiểu ảnh hưởng tương hỗ giữa các phần tử ăng-ten, tức là làm tăng độ cách ly của từng phần tử.

Trong nghiên cứu này, tác giả giới thiệu về các tham số được dùng để đánh giá phẩm

^{*} Email: tranvietducnguyen@lqdtu.edu.vn

chất của một hệ ăng-ten MIMO, đồng thời trình bày các giải pháp đã được công bố trong việc giảm tương hỗ và tăng độ cách ly cho mô hình ăng-ten này. Các giải pháp giảm tương hỗ này được phân loại như sau: sử dụng phần tử thụ động, sử dụng đường dây trung tính, sử dụng mặt phẳng đất không hoàn hảo (Defected Ground Structure – DGS), và sử dụng siêu vật liệu nhân tạo. Cuối cùng, tác giả sẽ tiến hành so sánh hiệu quả của từng công trình trong mỗi nhóm và rút ra ưu nhược điểm của từng nhóm phương pháp.

2. Các tham số đánh giá phẩm chất hệ ăng-ten MIMO

Thông thường, phẩm chất các ăng-ten chỉ có một phần tử phát xạ hoặc các mảng ăngten được đánh giá thông qua tham số ma trận tán xạ (S-parameter) và hệ số tăng ích bức xạ. Tuy nhiên, đối với các hệ ăng-ten nhiều đầu vào nhiều đầu ra, chỉ dùng các tham số nêu trên là không đủ. Nguyên nhân đầu tiên là khi tăng số phần tử ăng-ten trong các mảng ăng-ten MIMO sẽ làm tăng số lượng tham số tán xạ cần được phân tích và đánh giá, làm cho quá trình phân tích hệ số phản xạ và hệ số truyền giữa các phần tử phát xạ trở nên quá phức tạp. Lý do thứ hai là xuất phát từ hiện tượng tương hỗ giữa các phần tử ăng-ten được cấp nguồn, điều này ảnh hưởng rất nhiều tới phẩm chất của hệ ăng-ten MIMO. Do vậy, để đánh giá phẩm chất của một hệ ăng-ten MIMO thì cần xem xét và đánh giá ảnh hưởng của hiệu ứng tương hỗ tới các tham số khác của ăng-ten. Phẩm chất của hệ ăng-ten MIMO được đánh giá dựa vào các tham số liệt kê dưới đây.

2.1 Hệ số cách ly

Hệ số cách ly được định nghĩa là mức độ tương hỗ giữa các phần tử phát xạ trong một cấu trúc ăng-ten MIMO. Hệ số cách ly được đo bằng các tham số S của hệ ăng-ten, chính là hệ số truyền đạt (S_{ij}) giữa hai cổng cấp nguồn của hai phần tử phát xạ (phần tử phát xạ thứ *i* và phần tử phát xạ thứ *j*). Hệ số cách ly được cấu thành bởi nhiều yếu tố khác nhau. Các phần tử phát xạ có thể gây ra tương hỗ lẫn nhau thông qua điện/từ trường trong cấu trúc của ăng-ten. Yêu cầu về giá trị hệ số cách ly giữa các phần tử ăng-ten tối thiểu phải đạt được 10 dB.

2.2 Hệ số tương quan

Hệ số tương quan được coi là một tham số quan trọng để đánh giá mức độ cách ly giữa các kênh trong hệ thống MIMO. Tham số này phụ thuộc vào đặc trưng phát xạ của hệ ăng-ten MIMO, thể hiện tính độc lập của tín hiệu. Hệ số tương quan phức ρ_{ij} giữa thành phần ăng-ten *i* và thành phần ăng-ten *j* được xác định dựa trên đồ thị bức xạ như sau:

$$\rho_{c,ij} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} A_{i,j}(\theta, \Phi) \sin \theta d\theta d\Phi}{\sqrt{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} A_{i,i}(\theta, \Phi) \sin \theta d\theta d\Phi} A_{j,j}(\theta, \Phi) \sin \theta d\theta d\Phi}$$
(1)

Với $\mathbf{A}_{i,j}(\theta, \Phi) = \mathbf{X} \cdot \mathbf{E}_{\theta,i}(\theta, \Phi) \mathbf{E}_{\theta,j}^{*}(\theta, \Phi) \mathbf{P}_{\theta}(\theta, \Phi) + \mathbf{E}_{\Phi,i}(\theta, \Phi) \mathbf{E}_{\Phi,j}^{*}(\theta, \Phi) \mathbf{P}_{\Phi}(\theta, \Phi)$, X là tỷ số công suất phân cực chéo, E là đồ thị bức xạ điện trường, Φ là góc ngẳng trong mặt phẳng xOy theo chiều dương của trục x, với $0 < \Phi < 2\pi$, θ là góc cực theo chiều dương của trục z với $0 < \theta < \pi$, và P là hàm mật độ góc của hai mặt phẳng phân cực trực giao.

Trên thực tế, các hệ thống thông tin MIMO thường sử dụng tham số hệ số tương quan

đường bao (Envelope Coefficient Correlation - ECC), được xác định bằng công thức sau:

$$\rho_{\rm e} = \left| \rho_{\rm c} \right|^2 \tag{2}$$

Ngoài cách xác định ECC dựa trên đồ thị bức xạ như trên, ta cũng có thể xác định được ECC giữa ăng-ten i và ăng-ten j của hệ ăng-ten MIMO có kích thước N×N dựa trên các tham số tán xạ theo công thức:

$$\rho_{\mathbf{e}}(\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{N}) = \frac{\left|\sum_{\mathbf{n}=1}^{N} \mathbf{S}_{\mathbf{i}, \mathbf{n}}^{*} \mathbf{S}_{\mathbf{n}, \mathbf{j}}\right|^{2}}{\prod_{\mathbf{k}=(\mathbf{i}, \mathbf{j})} \left[1 - \sum_{\mathbf{n}=1}^{N} \mathbf{S}_{\mathbf{k}, \mathbf{n}}^{*} \mathbf{S}_{\mathbf{n}, \mathbf{k}}\right]}$$
(3)

Trường hợp ăng-ten MIMO gồm 2 phần tử ăng-ten đơn, ECC được tính như sau:

$$\rho_{\mathbf{e}} = \frac{\left|\mathbf{S}_{11}^{*} \mathbf{S}_{12} + \mathbf{S}_{21}^{*} \mathbf{S}_{22}\right|^{2}}{\left(1 - \left|\mathbf{S}_{11}\right|^{2} - \left|\mathbf{S}_{21}\right|^{2}\right)\left(1 - \left|\mathbf{S}_{22}\right|^{2} - \left|\mathbf{S}_{12}\right|^{2}\right)}$$
(4)

ECC có giá trị từ 0 đến 1. Hệ ăng-ten MIMO muốn thỏa mãn các yêu cầu cho truyền thông vô tuyến phải có ECC nhỏ hơn 0,5.

2.3 Hệ số tăng ích phân tập

Hệ số tăng ích phân tập (Diversity Gain – DG) là một tham số quan trọng khi đánh giá phẩm chất của hệ ăng-ten MIMO. Tham số này được dùng để đánh giá ảnh hưởng của phân tập tới phẩm chất của hệ thống truyền thông vô tuyến. Nói cách khác, nó mô tả mức độ tăng tỷ số tín trên tạp SNR khi sử dụng hệ ăng-ten phân tập.

$$DG = \left[\frac{\gamma_{\rm C}}{\Gamma_{\rm C}} (\mathbf{dB}) - \frac{\gamma_{\rm 1}}{\Gamma_{\rm 1}} (\mathbf{dB})\right]$$
(5)

Với γ_c là tỷ số SNR tức thời của hệ phân tập và Γ_c là giá trị SNR trung bình của hệ thống; γ_1 là SNR tức thời của một nhánh đơn có giá trị cực đại và Γ_1 là SNR trung bình tương ứng với nhánh đơn có giá trị cực đại ấy.

Ở đây cần nhấn mạnh rằng hệ số tăng ích phân tập và hệ số tương quan có mối liên hệ mật thiết với nhau. Nếu hệ số tương quan thấp, hệ số tăng ích phân tập sẽ cao.

2.4 Hệ số tăng ích hiệu dụng trung bình

Hệ số tăng ích hiệu dụng trung bình (Mean Effective Gain – MEG) được định nghĩa cho một ăng-ten thu nhiều cổng và được xác định là tỷ số giữa công suất phân phát trung bình tới một cổng cụ thể của ăng-ten thu và công suất nhận được trung bình của một ăng-ten tham chiếu trong điều kiện ăng-ten tham chiếu sử dụng trên cùng kênh truyền và với cùng ăng-ten phát. Ngoài ra, MEG có thể được xác định dựa trên sự cách ly phân cực chéo, hệ số tăng ích và hàm mật độ góc theo hướng theta và phi. MEG là tham số quan trọng để quyết định quỹ đường truyền của hệ thống vô tuyến.

$$MEG = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \left[\frac{X}{1+X} G_{\theta}(\theta,\varphi) P_{\theta}(\theta,\varphi) + \frac{1}{1+X} G_{\varphi}(\theta,\varphi) P_{\varphi}(\theta,\varphi) \right] \sin\theta \mathbf{d}\theta \mathbf{d}\varphi$$
(6)

Trong đó, X là tỷ số công suất phân cực chéo, $G_{\theta}(\theta, \varphi)$ và $G_{\varphi}(\theta, \varphi)$ hệ số tăng ích thành phần của ăng-ten, và $P_{\theta}(\theta, \varphi)$ và $P_{\varphi}(\theta, \varphi)$ mô tả xác suất phân bố của sóng tới trong môi trường truyền với giả thuyết các thành phần này không tương quan.

2.5 Hệ số phản xạ chủ động toàn phần

Hệ số phản xạ chủ động toàn phần (Total Active Reflection Coefficient – TARC) cho biết tầm quan trọng của độ ổn định tần số cộng hưởng kể cả khi độ lệch pha giữa các phần tử ăng-ten được thay đổi. Tham số này được tính bằng cách lấy căn bậc 2 của tỷ số giữa hiệu công suất thực PA và công suất phát xạ PR với công suất thực PA như công thức dưới đây:

$$\Gamma_a^t = \sqrt{\frac{\mathbf{P}_A - \mathbf{P}_R}{\mathbf{P}_A}} \tag{7}$$

Khoảng giá trị của TARC là từ 0 đến 1. Có thể thấy nếu TARC = 0 có nghĩa là toàn bộ công suất đã được truyền đi hoàn toàn. Dải thông hoạt động hiệu dụng của một ăng-ten MIMO sẽ rút ra từ đồ thị TARC. Một giải pháp hữu hiệu là tìm TARC từ các tham số S đo được như công thức dưới đây:

$$\Gamma_{a}^{t} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} |b_{i}|^{2}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} |a_{i}|^{2}}}$$
(8)

Với $\mathbf{b} = \mathbf{S}\mathbf{a}$. Ở đây véc-tơ \mathbf{a} biểu thị cho kích thích đặt vào ăng-ten. Với một mảng ăng-ten có hai phần tử bức xạ, giá trị của TARC có thể tính bằng công thức sau:

$$\Gamma\hbar = \sqrt{\frac{\left(\left(\left|S_{11} + S_{12}e^{j\theta}\right|^{2}\right) + \left(\left|S_{21} + S_{22}e^{j\theta}\right|^{2}\right)\right)}{2}}$$
(9)

Trong đó, θ là pha của nguồn cấp cho ăng-ten.

3. Một số giải pháp giảm tương hỗ đã được công bố

3.1 Sử dụng phần tử thụ động

Một phương pháp khác để giảm thiểu ảnh hưởng tương hỗ là sử dụng phần tử thụ động giữa các phần tử ăng-ten để loại bỏ một phần (hoặc hầu hết) trường cảm ứng khu gần giữa chúng. Phần tử thụ động sẽ tạo ra trường tương hỗ ngược nhau và làm giảm thành phần trường tương hỗ gốc ban đầu, vì vậy sẽ làm giảm tương hỗ tổng thể trên ăng-ten bị ảnh hưởng. Thông thường, các phần tử thụ động không kết nối vật lý với các ăng-ten hoặc được nối với mặt phẳng đất để tạo thành dạng cộng hưởng. Các phần tử thụ động này được thiết kế để điều khiển dải tần cách ly, băng thông và mức độ giảm tương hỗ.

TLTK	Kích thước ăng-ten (λ ₀)	Cách ly tối thiểu (dB)	ECC đỉnh	Kiểu phần tử thụ động	Số phần tử	Kiểu dải thông
[3]	0.42×0.52	24	0.036	Cấu trúc hình ITI	2	Rộng
[4]	0.43 × 0.43	15	0.005	Sử dụng cặp vi dải hình dấu cộng xoay lệch	4	Siêu rộng
[5]	0.48 imes 0.48	17	0.02	Hình phân dạng Minkowski	2	Siêu rộng
[6]	0.23 imes 0.22	15.4	0.14	Hình chữ H	2	Rộng
[7]	0.68×1.67	18	0.0001	Phần tử cộng hưởng dạng ma trận hình chữ C	2	Rộng

Bảng 1: So sánh các ăng-ten MIMO giảm tương hỗ bằng phần tử thụ động

Kết quả một số công bố về ăng-ten MIMO sử dụng phần tử thụ động để giảm tương hỗ được minh họa ở Hình 1, đồng thời phẩm chất của các ăng-ten này được so sánh ở Bảng 1. Các công trình này đều đạt được dải thông rộng. Đồng thời, tham số đánh giá phẩm chất MIMO mà các công trình này sử dụng là Hệ số tương quan đường bao ECC, với các giá trị thu được đều thấp hơn giá trị tối đa cho phép 0.5. Có thể thấy rằng các ăng-ten này đều đạt phẩm chất MIMO tốt. Tuy vậy, hệ số cách ly tối thiểu mà các ăng-ten này mang lại còn thấp, ngoại trừ công trình của Kumar [3] thì các sản phẩm khác đều có hệ số cách ly tối thiểu chỉ lớn hơn 15 dB. Nguyên nhân có thể xuất phát từ việc các tác giả tập trung thiết kế và tối ưu cho ăng-ten hoạt động ở dải tần rộng và siêu rộng, dẫn tới hệ số truyền $|S_{21}|$ ở một vài tần số chưa thể đạt được một giá trị tối ưu hơn.



Hình 1: Một số ăng-ten MIMO giảm tương hỗ sử dụng phần tử thụ động. (a) Kumar 2019 [3],
(b) Singhal 2019 [4], (c) Debnath 2018 [6] và (d) Liu 2018 [7].

3.2 Sử dụng đường dây trung tính

Khi một trong hai phần tử của ăng-ten MIMO được kích thích, nó cảm ứng dòng điện sang phần tử lân cận và làm tăng tương hỗ và tương quan giữa hai phần tử. Đường trung tính là một kỹ thuật để cải thiện cách ly trong đó dòng điện tại phần tử kích thích được trích ra tại một vị trí cụ thể, sau đó pha của nó bị đảo bằng cách chọn chiều dài đường trung tính thích hợp. Khi đó dòng điện đảo pha sẽ đưa đến phần tử ăng-ten lân cận để triệt tiêu với dòng cảm ứng trực tiếp do phần tử được kích thích gây ra cho phần tử lân cận. Nhờ đó dòng điện tương hỗ tổng thể trên phần tử lân cận sẽ bị giảm đi đáng kể.

Việc lựa chọn điểm đặt đường trung tính là quan trọng nhất ở phương pháp này. Thông thường, vị trí đặt đường trung tính trên phần tử bức xạ phải có trở kháng cực tiểu và dòng điện cực đại. Băng thông hiệu dụng của kỹ thuật đường trung tính phụ thuộc vào sự thay đổi của trở kháng tại điểm lựa chọn. Do đó, một điểm có trở kháng thấp trên phần tử bức xạ với trở kháng ổn định suốt dải tần hoạt động được chọn là điểm bắt đầu của đường trung tính.

TLTK	Kích thước ăng-ten (λ₀)	Cách ly tối thiểu (dB)	ECC đỉnh	Kiểu đường dây trung tính	Số phần tử	Kiểu dải thông
[8]	0.31 × 0.36	22	0.1	Sử dụng 2 dải kim loại và một mảnh hình tròn	2	Rộng
[9]	0.41 × 0.83	15	N/A	Đường vi dải kim loại hình gấp khúc	2	Siêu rộng
[10]	0.25×0.40	22	0.005	Sử dụng 2 đường vi dải kim loại và một mảnh hình chữ nhật	2	Siêu rộng
[11]	0.41 × 0.33	20	0.005	Đường vi dải nối với đường cấp nguồn ăng-ten	2	Hẹp

Bảng 2. So sánh các ăng-ten MIMO giảm tương hỗ bằng đường dây trung tính

Hình ảnh một số mảng ăng-ten tương hỗ thấp sử dụng đường dây trung tính được thể hiện ở Hình 2. Bảng so sánh phẩm chất các ăng-ten này được liệt kê ở Bảng 2. Các thiết kế này đều dùng các đường truyền vi dải kết nối 2 phần tử ăng-ten từ một vị trí nhất định, bao gồm cả vị trí trên phần tử phát xạ và trên đường vi dải cấp nguồn cho ăng-ten. Nhìn chung, các thiết kế này đều đạt được độ cách ly lớn hơn 15 dB trong vùng tần số công tác. Thêm vào đó, tham số ECC của các kết quả nêu trên cũng lý tưởng, đều nhỏ hơn rất nhiều so với giá trị yêu cầu.





Hình 2: Một số ăng-ten MIMO giảm tương hỗ sử dụng đường dây trung tính. (a) Alsultan 2018 [8], (b) Zhang 2016 [9], (c) Tiwari 2019 [10] và (d) Ou 2017 [11].

3.3 Sử dụng mặt phẳng đất không hoàn hảo

Mặt phẳng đất ảnh hưởng trực tiếp đến đặc tính của ăng-ten mạch dải khi nó có vai trò như đường dẫn của dòng điện phản hồi và đôi khi trở thành một phần của cấu trúc bức xạ khi ăng-ten hoạt động ở tần số thấp. Do các ăng-ten MIMO dạng mạch in có chung mặt phẳng đất, dòng cảm ứng trên mặt phẳng đế có thể dễ dàng tương hỗ với phần tử ăng-ten lân cận gây nên ảnh hưởng tương hỗ cao, từ đó làm giảm đặc tính cách ly và tương quan của ăng-ten MIMO. Ảnh hưởng tương hỗ giữa các phần tử ăng-ten có thể giảm thiểu bằng cách tạo ra các cấu trúc không hoàn hảo trong mặt phẳng đất. Các vị trí khuyết (bị khoét) sẽ hoạt động như bộ lọc chắn dải và sẽ ngăn cản trường tương hỗ khu gần giữa các phần tử gần nhau khi cấu trúc ăng-ten được thiết kế một cách hợp lý. Nguyên lý giảm thiểu ảnh hưởng tương hỗ này được gọi là cấu trúc mặt phẳng đất không hoàn hảo. Cấu trúc cải thiện cách ly này rất hiệu quả trong trường hợp ảnh hưởng tương hỗ gây nên bởi dòng cảm ứng mạnh ở mặt phẳng đất.

TLTK	Kích thước ăng-ten (λ₀)	Cách ly tối thiểu (dB)	ECC đỉnh	Hình dạng DGS	Số phần tử	Kiểu dải thông
[12]	0.50 imes 0.50	28	0.3	Cấu trúc khe	4	Hẹp
[13]	0.62×0.42	15	0.2	Nhánh gấp khúc và hình chữ T ngược	2	Hẹp
[14]	0.39×0.24	24	0.027	Hình pi	2	Hẹp
[15]	0.14 imes 0.25	21	0.01	Hình phễu	2	Siêu rộng

Bảng 3: So sánh các ăng-ten MIMO giảm tương hỗ bằng DGS

Một số công bố tiêu biểu sử dụng cấu trúc DGS để tăng độ cách ly cho mảng ăng-ten được so sánh ở bảng 3 và minh họa trên Hình 3. Ở đây, cấu trúc DGS này được sử dụng có sự kết hợp với các kỹ thuật khác nhằm nâng cao hiệu quả giảm tương hỗ và đảm bảo các chỉ tiêu kỹ thuật khác của ăng-ten. Như trong [13], ngoài cấu trúc khe hình chữ T ngược được thêm vào mặt phẳng đất, tác giả còn sử dụng một phần tử thụ động gồm các đường gấp khúc được ngắn mạch với mặt phẳng đất. Nhờ vậy, ăng-ten với các phần tử phát xạ là ăng-ten F ngược có thể đạt được hệ số cách ly cao ở cả hai dải tần 2.4 GHz và 5.0 GHz.



Hình 3: Một số ăng-ten MIMO giảm tương hỗ sử dụng DGS. (a) Deng 2017 [13], (b) Gautam 2019 [15]
3.4 Sử dụng siêu vật liệu nhân tạo

Siêu vật liệu nhân tạo là loại vật liệu không tồn tại trong tự nhiên mà được con người tạo ra dựa vào các loại đặc tính tuần hoàn. Các loại siêu vật liệu nhân tạo có nhiều đặc tính nổi bật và đã được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực khác nhau, trong đó có các nghiên cứu về ăng-ten. Một trong số các đặc tính của loại vật liệu này là khả năng đóng vai trò như một bộ lọc chắn dải. Đây là đặc tính được sử dụng để cải thiện độ cách ly và giảm tương hỗ cho các hệ ăng-ten MIMO.

TLTK	Kích thước ăng-ten (λ₀)	Cách ly tối thiểu (dB)	ECC đỉnh	Loại vật liệu nhân tạo	Số phần tử	Kiểu dải thông
[16]	0.35 imes 0.35	17	0.024	Cặp vòng cộng hưởng hở hình vuông (SRR)	4	Hẹp
[17]	0.26 imes 0.26	22	0.3	Vòng gồm 4 bộ cộng hưởng vòng hở (SRR)	4	Đa băng
[18]	0.47 imes 0.47	18	0.0001	Cấu trúc siêu vật liệu 3 chiều	2	Hẹp
[19]	0.69 imes 0.82	20	0.1	Vật liệu nhân tạo SRR	2	Hẹp

Bảng 4: So sánh các ăng-ten MIMO giảm tương hỗ bằng siêu vật liệu nhân tạo

Một số công trình áp dụng vật liệu nhân tạo để giảm tương hỗ được so sánh ở Bảng 4 và minh họa ở Hình 4. Các vật liệu nhân tạo thường sử dụng cấu trúc vòng chia cộng hưởng (Complementary Split Ring Resonator - CSRR) hoặc vòng cộng hưởng hở (SRR). Các vòng cộng hưởng hở này có thể có dạng hình vuông hoặc hình tròn. Nhờ sử dụng các vòng cộng hưởng hở này, hệ số cách ly của các công trình này được cải thiện đáng kể. Như trong [17], ăng-ten có thể đạt độ cách ly luôn lớn hơn 22 dB ở ba băng tần khác nhau, bao gồm 1.95 - 2.5 GHz, 3.15 - 3.85 GHz, và 4.95 - 6.6 GHz, đồng thời duy trì được một kích thước tổng thể khá

nhỏ gọn. Tham số ECC của thiết kế trong [17] còn hơi cao hơn so với các công trình khác, nhưng chỉ số này vẫn thỏa mãn yêu cầu đối với ăng-ten MIMO.



Hình 4: Một số ăng-ten MIMO giảm tương hỗ sử dụng siêu vật liệu nhân tạo. (a) Kumar 2018 [16],
(b) Ramachandran 2016 [17], (c) Al-fayyadh 2017 [18] và (d) Irene 2018 [19].

4. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu trên đây, có thể thấy rằng để tăng đô cách ly hay còn gọi là giảm hiệu ứng tương hỗ giữa các phần tử trong một mảng ăng-ten MIMO là một vấn đề còn nhiều thách thức đối với các nhà nghiên cứu ăng-ten. Với các lĩnh vực đòi hỏi phải thu nhỏ thiết bị vô tuyến, sắp xếp các phần tử phát xa trong một mảng lai gần nhau hơn, với khoảng cách từ cổng cấp nguồn các phần tử nhỏ hơn một nửa bước sóng tại tần số trung tâm, là một yêu cầu bắt buộc. Trả giá của kích thước thiết bị nhỏ chính là những nguy cơ ảnh hưởng tới hiệu suất chung của hệ ăng-ten MIMO. Trong các phương pháp giảm tương hỗ đã được liệt kê trên đây, mỗi phương pháp đều có ưu và nhược điểm riêng. Với giải pháp sử dụng phần tử thụ đông và đường dây trung tính, các mô hình thiết kế ăng-ten thường sẽ có kết cấu đơn giản và dễ thực hiện hơn cho dù sẽ phải trả giá về kích thước chung của toàn bộ mảng. Ngoài ra, việc xác định điểm kết nối cho đường dây trên từng phần tử ăng-ten cũng cần nhiều tính toán phức tạp. Sử dụng siêu vật liệu nhân tạo và DGS có thể góp phần làm giảm kích thước ăng-ten. Tuy vậy, cấu trúc mặt phẳng đất không hoàn hảo thường gây ra bức xạ ngược, làm giảm hiệu suất bức xạ ăng-ten. Đối với siêu vật liệu nhân tạo, độ phức tạp thiết kế của ăng-ten sẽ tăng lên vì cần xác định chính xác thành phần của các tế bào đơn vị trong mảng vật liệu mới, đồng thời dải thông cũng vẫn còn khá hẹp. Việc phân tích được từng ưu nhược điểm như trên là điều kiện để khi nghiên cứu và thiết kế mảng ăng-ten MIMO đề xuất được giải pháp phù hợp với yêu cầu kỹ thuật và phạm vi ứng dụng của ăng-ten đó.

Tài liệu tham khảo

- F. Dicandia, S. Genovesi, and A. Monorchio, "Analysis of the Performance Enhancement of MIMO Systems Employing Circular Polarization," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 65, no. 9, pp. 4824-4835, 9 2017.
- 2. C. A. Balanis, Antenna theory : analysis and design 4th edition. John Wiley, 2016.
- Kumar, A., Ansari, A. Q., Kanaujia, B. K., & Kishor, J. (2019). A novel ITI-shaped isolation structure placed between two-port CPW-fed dual-band MIMO antenna for high isolation. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 104, 35–43. https://doi.org/10.1016/j.aeue.2019.03.009
- Singhal, S. (2019). Four element ultra-wideband fractal multiple-input multiple-output antenna. Microwave and Optical Technology Letters, 61(12), 2811–2818. https://doi.org/10.1002/mop.31980
- Debnath, P., Karmakar, A., Saha, A., & Huda, S. (2018). UWB MIMO Slot antenna with Minkowski fractal shaped isolators for isolation enhancement. Progress in Electromagnetics Research, 75, 69–78. https://doi.org/10.2528/PIERM18090506
- Liu, X., Amin, M., & Liang, J. (2018). Wideband MIMO antenna with enhanced isolation for wireless communication application. IEICE Electronics Express, 15(22), 245–252. https://doi.org/10.1587/elex.15.20180948
- Alsultan, R. G. S., & Ögücü Yetkin, G. (2018). Mutual coupling reduction of E-shaped MIMO antenna with matrix of C-shaped resonators. International Journal of Antennas and Propagation, 2018, 4814176. https://doi.org/10.1155/2018/4814176
- Zhang, S., & Pedersen, G. F. (2016). Mutual coupling reduction for UWB MIMO antennas with a wideband neutralization line. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 15(c), 166– 169. https://doi.org/10.1109/LAWP.2015.2435992
- Yu, Y., Liu, X., Gu, Z., & Yi, L. (2016). A compact printed monopole array with neutralization line for UWB applications. Paper presented at 2016 IEEE antennas and propagation society international symposium, APSURSI 2016—proceedings (pp. 1779–1780). IEEE. https://doi.org/10.1109/APS.2016.7696596
- Tiwari, R. N., Singh, P., Kanaujia, B. K., & Srivastava, K. (2019). Neutralization technique based two and four port high isolation MIMO antennas for UWB communication. AEU -International Journal of Electronics and Communications, 110, 152828. https://doi.org/10.1016/j.aeue.2019.152828
- Ou, Y., Cai, X., & Qian, K. (2017). Two-element compact antennas decoupled with a simple neutralization line. Progress in Electromagnetics Research Letters, 65, 63–68. https://doi.org/10.2528/PIERL16111801
- Ramachandran, A., Mathew, S., Viswanathan, V. P., Pezholil, M., & Kesavath, V. (2016). Diversity-based four-port multiple input multiple output antenna loaded with interdigital

structure for high isolation. IET Microwaves, Antennas and Propagation, 10(15), 1633–1642. https://doi.org/10.1049/iet-map.2015.0828

- Deng, J., Li, J., Zhao, L., & Guo, L. (2017). A dual-band inverted-F MIMO antenna with enhanced isolation for WLAN applications. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 16, 2270–2273. https://doi.org/10.1109/LAWP.2017.2713986
- Wu, L., Lyu, H., & Yu, H. (2019a). A novel compact UWB-MIMO antenna with quintuple notched-band characteristics. Wireless Personal Communications, 108(3), 1827–1840. https://doi.org/10.1007/s11277-019-06498-5
- Gautam, A. K., Saini, A., Agrawal, N., & Rizvi, N. Z. (2019). Design of a compact protrudentshaped ultra-wideband multiple-input-multiple-output/diversity antenna with band-rejection capability. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 29(9), e21829. https://doi.org/10.1002/mmce.21829
- Kumar, A., Ansari, A. Q., Kanaujia, B. K., & Kishor, J. (2018). High isolation compact fourport MIMO antenna loaded with CSRR for multiband applications. Frequenz, 72(9–10), 415– 427. https://doi.org/10.1515/freq-2017-0276
- Ramachandran, A., Mathew, S., Rajan, V., & Kesavath, V. (2017). A compact triband quadelement MIMO antenna using SRR ring for high isolation. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 16, 1409–1412. https://doi.org/10.1109/LAWP.2016.2640305
- Al-Fayyadh, H. Q., Alsabbagh, H. M., & Al-Rizzo, H. (2017). Flexible Compact MIMO T-Shape Antenna With Bridge Square Split Ring Resonator. Journal of Modeling and Simulation of Antennas and Propagation, 1–7.
- Irene, G., & Rajesh, A. (2018). A dual-polarized UWB–MIMO antenna with IEEE 802.11ac band-notched characteristics using split-ring resonator. Journal of Computational Electronics, 17(3), 1090–1098. https://doi.org/10.1007/s10825-018-1213-x

An investigation and analysis of decoupling methods applied in MIMO antennas

Abstract: This paper studies the mutual coupling phenomenon between two adjacent elements in an microstrip patch antenna array applied in MIMO communication. The paper focuses on the diversity parameters and the method to reduce the inter-element coupling effect on the overall performance of the array. The methods that are mentioned in this paper include: parasitic elements, neutralization lines, defected ground structures, and metamaterial. A number of the published studies that occupy the mentioned methods are listed and compared. The investigation and analysis of these methods contribute to the selection and proposal of the appropriate antenna configuration that meets the technical requirements and applications.

Keywords: Mutual coupling, MIMO antennas, parasitic elements, neutralization lines, defected ground structures, metamaterial.

Nghiên cứu bài toán định hướng trong các hệ thống sonar giám sát ngầm thụ động trên cơ sở biểu diễn thưa tín hiệu và thuật toán CMBF-BB-SOMP-LS

Nguyễn Văn Sơn¹, Nguyễn Thanh Chinh¹, Nguyễn Ngọc Đông²

¹Hệ Quản lý Học viên SĐH, Học viện Kỹ thuật Quân sự ²Bộ môn Ra đa, Khoa vô tuyến điện tử, Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt

Bài báo trình bày tổng quan về các phương pháp định hướng trên cơ sở biểu diễn thưa tín hiệu, bao gồm cơ sở toán học và các giải thuật đã được đề xuất. Đồng thời, bài báo cũng xác định mô hình hệ thống, mô hình tín hiệu và giải pháp định hướng dải rộng của phương pháp biểu diễn thưa. Một thuật toán mới được đề xuất, CMBF-BB-SOMP-LS, kết hợp giữa các bộ lọc răng lược thích nghi và biểu diễn thưa tín hiệu để thực hiện định hướng đối với các mục tiêu biển có chân vịt. Kết quả mô phỏng cho thấy, thuật toán CMBF-BB-SOMP-LS có khả năng làm việc tốt nhất trong cả hai tình huống: các nguồn kết hợp và các nguồn không kết hợp so với thuật toán OMP cơ bản và các thuật toán trên cơ sở MUSIC. Thêm vào đó, thuật toán mới này cũng tạo được búp sóng chính hẹp nhất và sai số nhỏ nhất, ổn định nhất trong dải SNR được khảo sát.

Từ khóa: sonar; thụ động; định hướng; thưa; chân vịt; răng lược.

1. Đặt vấn đề

Trong các hê thống giám sát thu đông (sonar, radar, quang điên tử...), bài toán đinh hướng (Directional Finding - DF) hay ước lượng hướng (Direction of Arrival - DOA) là tác vu quan trong, quyết đinh hiệu năng và sức manh của hệ thống. Đối với các hệ thống sử dung mạng chấn tử, các thuật toán định hướng kinh điển như: giữ chậm lấy tổng (conventional beamforming-CB), phương sai không méo cực tiểu (minimum variance distortionless response-MVDR); các thuật toán trên cơ sở không gian con: phân tách đa nguồn (multiple signals classification-MUSIC), ước lương thông số tín hiệu bằng phương pháp quay bất biến (Estimation of Signal Parameters via rotational Invariance technique-ESPRIT) dã được đề xuất và ứng dung [1]. Các thuật toán này đều có chung một đặc điểm là phải duyệt hàm phổ không gian với tất cả các góc khả dĩ để tìm ra góc cho giá trị phổ cực đại. Để thực hiện được quy trình này, thuật toán luôn đòi hỏi phải tính ma trận tư tương quan (thâm chí là là trận nghịch đảo) của các mẫu tín hiệu đo. Điều này sẽ nảy sinh mâu thuẫn, đó là khi ma trận tự tương quan không đủ hạng thì các kết quả không còn đúng nữa, hệ thống sẽ bị hỗn loạn và không hoạt động được theo đúng chức năng nữa. Để giải quyết mâu thuẫn này, có hai giải pháp chính được đề xuất, đó là DOA trên cơ sở biểu diễn thựa tín hiệu (Sparse DOA) [2-4] và DOA trên cơ sở phân bố thời gian tần số (TFD) [5-8]. Trong khi DOA trên cơ sở TFD tập trung vào việc tách dấu hiệu đặc trưng TFD của từng đối tượng và xử lý DOA cho từng đối tượng trên các miền t-f riêng thì Sparse DOA lại tập trung vào việc thiết kế một mạng lưới (hay còn gọi là từ điển) các góc hướng và biểu diễn lai tín hiệu phù hợp với mang lưới các góc hướng đã thiết kế đó. Theo cách biểu diễn này, các góc hướng có tín hiệu đến sẽ được kích hoat và các góc hướng không có tín hiệu đến không được kích hoat. Đồng thời, các hàng

¹ Email: nguyenson91hvktqsk45@gmail.com; Tel: 0971.519.368

của ma trận biểu diễn tín hiệu sẽ nhận giá trị khác 0 tương ứng với các cột biểu diễn nó trong từ điển (các hạt nhân), các hàng còn lại của ma trận nhận giá trị bằng 0. Cách biểu diễn tính hiệu như vậy được gọi là biểu diễn thưa.

Trong những năm gần đây, Sparse DOA trở thành chủ đề nóng trên các tạp chí khoa học và trong giới chuyên môn không chỉ vì khả năng linh hoạt của thuật toán mà còn là nền tảng để xây dựng mạng xử lý DOA trên cơ sở các hệ thống máy tính số với các tùy biến linh hoạt [9] và triển khai các thuật toán học sâu trên cơ sở Sparse DOA [10] đã có những kết quả nổi bật.

Nhìn chung, các công trình nghiên cứu về Sparse DOA đều tập trung vào tìm nghiệm của các bài toán tối ưu, hay chính là biểu diễn lại tín hiệu trên cơ sở biểu diễn thưa mà hầu như rất ít nghiên cứu đề cập đến việc khai thác triệt để các đặc trưng sẵn có của mục tiêu để hỗ trợ cho việc giải bài toán này. Nhất là đối với các hệ thống sonar, tín hiệu tiếng ồn từ các mục tiêu biển là các nguồn tín hiệu có ích cần được xử lý, chúng có các đặc trưng riêng, nhất là các phổ vạch vùng hạ âm của các mục tiêu trang bị chân vịt [11, 12]. Bài báo này trình bày về một thuật toán mới, CMBF-BB-SOMP-LS, là sự kết hợp giữa kỹ thuật lọc thích nghi kiểu răng lược, chọn, giữ lại các thành phần phổ đặc trưng trước và xác định số lượng các mục tiêu sau đó mới thực hiện thuật toán Sparse DOA. Thuật toán mới này có một số ưu điểm chính như sau: thứ nhất, hưởng các lợi thế mặc định của Sparse DOA về khả năng định hướng trong tình huống các nguồn tương quan; thứ hai, tăng cường tỷ số tín/tạp (SNR) bởi kỹ thuật lọc răng lược thích nghi; thứ ba, mở rộng kết quả nghiên cứu của thuật toán đối sánh trực giao đồng thời kết hợp bài toán bình phương bé nhất (Simultaneous Orthogonal Matching Pursuit algorithm and a least squares - SOMP-LS) [13] thực hiện cho tín hiệu dải rộng.

Trên cơ các phân tích đó, phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau: phần 2 mô hình dữ liệu sẽ phân tích về mô hình toán học của dữ liệu thu trên cơ sở hệ thống mạng ăng ten tuyến tính đồng nhất (uniform linear array - ULA) và mô hình tiếng ồn từ các mục tiêu biển có chân vịt; phần 3 sẽ trình bày về cơ sở toán học của thuật toán Sparse DOA và thuật toán đề xuất CMBF-BB-SOMP-LS; phần 4 kết quả mô phỏng và thảo luận; cuối cùng là phần kết luận.

2. Mô hình dữ liệu

2.1 Mô hình dữ liệu mảng

Trong xử lý tín hiệu mảng, mô hình dữ liệu kinh điển viết dưới dạng ma trận được thể hiện như sau:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{A}\mathbf{S} + \mathbf{N}.\tag{1}$$

Trong đó $\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1(t), \dots, y_M(t) \end{bmatrix}^T$ là ma trận tín hiệu thu được trên các chấn tử mạng ăng ten, kích thước $M \times L$, L là số các snapshots được xử lý; $\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_1(t), \dots, s_Q(t) \end{bmatrix}^T$ là ma trận các nguồn tín hiệu, kích thước $Q \times L$, giả thiết có tổng cộng Q nguồn; $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a(\theta_1), a(\theta_2), \dots, a(\theta_Q) \end{bmatrix}$ là ma trận hướng, hay chính là đáp ứng của hệ thống ăng ten đối với hệ thống nguồn tác động, có kích thước $M \times Q$, ngầm hiểu rằng mỗi cột của A tương ứng với một nguồn tín hiệu; $\mathbf{N} = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_M(t)]$ là ma trận nhiễu cộng tính tác động lên hệ thống, kích thước $M \times L$.

Mô hình dữ liệu (1) được sử dụng cho các phương pháp định hướng kinh điển và phân tách không gian con: CB, MVDR, MUSIC, ESPRIT. Đối với các thuật toán này, điều kiện ràng buộc số lượng mục tiêu phải nhỏ hơn số chấn tử cần được tuân thủ. Tuy nhiên, (1) cũng được dùng cho các phương pháp DOA trên cơ sở TFD nhưng không bị ràng buộc về số lượng mục tiêu. Khác với (1), mô hình dữ liệu mạng dùng cho biểu diễn thưa được thể hiện như sau:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{B}\mathbf{Z} + \boldsymbol{\zeta}.$$
 (2)

Trong đó: **Y** là ma trận tín hiệu đo (chính là tín hiệu thu), ζ giống như **N** là ma trận nhiễu tác động lên hệ thống, được định nghĩa giống như trong (1); **B** là ma trận trộn, có kích thước $M \times G$ (M << G), với G là số lượng các thành phần của lưới được thiết kế; **Z** là ma trận tín hiệu biểu diễn thưa, có kích thước $G \times L$.

So với mô hình (1), mô hình dữ liệu biểu diễn thưa (2) có một số khác biệt đáng chú ý như sau:

1. Ma trận trộn **B** có số cột lớn hơn rất nhiều so với số hàng, thường số cột được tính theo độ phân giải góc và vùng quan sát của hệ thống. Các cột tương ứng với hướng mục tiêu thực khác 0, các cột còn lại bằng 0.

2. Tín hiệu được biểu diễn thưa \mathbb{Z} có số hàng bằng số cột của ma trận \mathbb{B} , các hàng tương ứng với nguồn tín hiệu có giá trị khác 0, các hàng còn lại bằng 0 (biểu diễn thưa).

Minh họa về kích thước các ma trận theo các mô hình (1) và (2) trong trường hợp không có tác động của nhiễu như hình 1.



a) Kích thước ma trận của mô hình (1)
 b) Kích thước ma trận của mô hình (2)
 Hình 1. Minh họa kích thước các ma trận của mô hình toán học xử lý mảng theo biểu diễn thông thường và và biểu diễn thưa

2.1 Mô hình tín hiệu tiếng ồn của các mục tiêu biển có chân vịt

Mô hình toán học của tín hiệu tiếng ồn từ mục tiêu biển có trang bị chân vịt trên miền thời gian có dạng:

$$s(t) = s_D(t) + s_C(t) + n(t) = s_D(t) + (1 + a(t))c(t) + n(t),$$
(3)

Trong đó : $s_D(t)$ là thành phần tín hiệu chứa các vạch phổ rời rạc gây ra bởi các cơ cấu cơ khí, máy móc, chân vịt trên mục tiêu; $s_C(t)$ là thành phần tín hiệu liên tục gây ra bởi nhiễu thủy động và các bọt khí vỡ trong quá trình chân vịt quay: c(t) tiếng ồn có tần số cao và a(t) là hàm điều chế biên độ; n(t) tổng các thành phần tạp âm tác động lên hệ thống.

Thành phần tiếng ồn rời rạc $s_D(t)$ có thể biểu diễn dưới dạng:

$$s_D(t) = \sum_{j=1}^J A_j \sin(2\pi f_j t + \phi_j), \qquad (4)$$

Trong đó J là tổng số các vạch phổ; A_j , f_j , ϕ_j lần lượt là biên độ, tần số và pha của vạch phổ thứ *j*.

Các vạch phổ có tần số bé hơn 100 Hz là các vạch phổ tạo ra bởi trục và cánh chân vịt. Năng lượng của các vạch phổ này không phụ thuộc vào vận tốc mà chỉ phụ thuộc vào cấu trúc và đặc điểm của từng loại tàu [11]. Tùy theo đặc điểm cấu trúc và thiết kế của từng loại tàu mà phổ tiếng ồn tổng hợp của mục tiêu có đặc trưng khác nhau. Tuy nhiên, chúng có một số điểm chung như sau: thứ nhất, những thành phần phổ rời rạc vùng hạ âm thường có mức phổ lớn hơn trung bình, nằm trong khoảng từ 10 dB đến 25 dB tùy theo loại mục tiêu và điều kiện vận hành; thứ hai, đối với phổ liên tục ở vùng tần số thấp, mức phổ tăng +6 dB/octave (quãng tám), còn ở vùng tần số cao, mức phổ lại giảm -6 dB/octave. Những đặc tính này giúp ích rất nhiều cho việc phát hiện tín hiệu yếu trên nền nhiễu và phân loại các mục tiêu. Đặc biệt, việc điều chế biên độ tín hiệu tiếng ồn dải rộng gây ra bởi chân vịt tạo ra một số thành phần phổ vạch dải hạ âm. Các vạch phổ tạo ra bởi (4) trong vùng hạ âm được sử dụng để giải một số bài toán quan trọng trong xử lý tín hiệu, đặc biệt là bài toán định hướng.

3. Khái niệm, ứng dụng biểu diễn thưa trong định hướng và thuật toán đề xuất

3.1. Cơ sở áp dụng biểu diễn thưa cho bài toán định hướng và phương pháp giải bài toán ngược

Về mặt bản chất, biểu diễn thựa và bài toán định hướng có một điểm tượng đồng quan trong đó là: bài toán đinh hướng trong không gian là chỉ có một số hướng tồn tại nguồn tín hiệu, các hướng còn lại đều không có. Tương ứng với đó, bài toán biểu diễn thưa là: một ma trân, chỉ có một số hàng có giá tri khác 0 (tương ứng với các hướng có nguồn tín hiệu), các hàng còn lại bằng 0. Chính vì thế, việc áp dụng biểu diễn thưa cho bài toán định hướng là phù hợp và đủ cơ sở. Các thuật toán trên cơ sở biểu diễn thựa thực chất là các thuật toán giải bài toán ngược của phương trình (2): biết Y và A, phải tìm Z. Bài toán này được gọi là bài toán ngược dữ liệu nghèo vì có thể hoặc không có nghiệm, hoặc nghiệm không duy nhất, hoặc sự phụ thuộc không liên tục của nghiệm vào mẫu dữ liệu quan sát, hoặc là sự kết hợp của nhiều yếu tố đồng thời. Một số phương pháp giải bài toán ngược này đã được trình bày chi tiết trong [3]. Trên cơ sở đó, các thuật toán $\ell_1 - SVD$ và theo đuổi đối sánh (matching pursuit – MP) được biết đến là các phương pháp lõi giải bài toán Sparse DOA. Do có những khó khăn nhất định khi triển khai $\ell_1 - SVD$ trong các bài toán DOA dải rộng, nên các thuật toán trên cơ sở MP được phát triển nhiều hơn [14]. Theo đó, các thuật toán Sparse DOA trên cơ sở MP: theo đuổi đối sánh trực giao (orthogoral matching pursuit – OMP) [15], theo đuổi đối sánh trực giao đồng thời (simultaneous orthogoral matching pursuit - SOMP), SOMP kết hợp tối ưu bình phương bé nhất SOMP-LS [13] đã được phát triển. Trong [13], hiệu năng của các thuật toán đã được đánh giá bằng sự phu thuộc sai số (root mean square error - RMSE) vào tỷ số tín/tạp (signal to noise - SNR) với các mẫu dữ liệu có độ dài 50 và 200 tương ứng. Tuy nhiên, dữ liệu mô phỏng vẫn là các tín hiệu dải hẹp và khoảng cách giữa các chấn tử được tính bằng nửa bước sóng, mô hình này còn rất xa với một mô hình thuật toán có thể ứng dụng trong sonar để xử lý các tín hiệu thực tế. Bởi vì, với một hệ thống sonar đã được triển khai thì khoảng cách giữa các chấn tử là một đại lượng cố định và không thể tùy biến theo bước sóng của các nguồn tín hiệu (các mục tiêu). Xem xét (2) trường trường hợp không có nhiễu và một snapshot. Sử dụng định nghĩa giả đảo Moore-Penrose, \mathbf{B}^{\dagger} . Nếu thực hiện phân tích trị riêng (Singular value decomposition - SVD) của **B** thì:

$$\mathbf{B} = \mathbf{U}\boldsymbol{\Sigma}\mathbf{V}' = \sum_{i=1}^{\min(M,G)} u_i \boldsymbol{\sigma}_i v_i'$$
(5)

Nếu đặt $K = rank(\mathbf{B})$. Thì giả đảo được định nghĩa là:

$$\mathbf{B}^{\dagger} = \sum_{i=1}^{K} u_i \sigma_i^{-1} v_i$$
 (6)

Bằng cách áp dụng giả đảo, chúng ta có thể tìm thấy nghiệm bình phương nhỏ nhất chuẩn cực tiểu. Khi đó có thể viết lại (2):

$$\mathbf{Z} = \mathbf{B}^{\dagger} \mathbf{Y} = \left(\sum_{j=1}^{K} v_j \sigma_j^{-1} u_i^{\dagger} \right) \mathbf{Y} = \sum_{j=1}^{K} v_j \sigma_j^{-1} u_i^{\dagger} \sum_{i=1}^{\min(M,G)} u_i \sigma_i v_i^{\dagger} \mathbf{Z}$$
$$= \sum_{j=1}^{K} \sum_{i=1}^{\min(M,G)} \frac{\sigma_i}{\sigma_j} v_i u_i^{\dagger} u_i v_i^{\dagger} \mathbf{Z} = \sum_{i=1}^{K} v_i v_i^{\dagger} \mathbf{Z} = \left(\mathbf{I}_G - \sum_{i=K+1}^{G} v_i v_i^{\dagger} \right) \mathbf{Z},$$
(7)

Trong đó, \mathbf{I}_{G} là ma trận đơn vị GxG. Khi K < G, thì có thể tìm được đại lượng ước lượng tiệm cận với giá trị thực của \mathbf{Z} . Các thành phần của \mathbf{Z} nằm trên phần rỗng của \mathbf{B} được đặt về 0.

Như vậy, từ ma trận đo và từ điển \mathbf{B} biết trước, có thể ước lượng được biểu diễn thưa của tín hiệu.

3.2. Một số thuật toán tham lam

Các giải thuật tham lam (Greedy) cố gắng tìm kiếm lời giải tối ưu bằng cách lặp lại với mong muốn rằng có thể tìm được tối ưu toàn cục mà không cần quan tâm tác động của quyết định hiện tại đến các bước sau này. Thuật toán tham lam thường có cấu trúc lặp và chia bài toán thành các bước nhỏ hơn. Tại mỗi bước, thuật toán đưa ra một quyết định tại thời điểm hiện tại dựa trên một tiêu chí cụ thể. Tiêu chí này có thể là tối đa hóa hoặc tối thiểu hóa một hàm mục tiêu, đảm bảo tính chất tối ưu tại mỗi bước. Như vậy một cột của từ điển được chọn bằng cách tối ưu hóa một tiêu chí tối ưu cục bộ sau mỗi lần lặp. Khi một cột đã được chọn rồi, nó sẽ được lưu lại và bị loại bỏ khỏi từ điển trong vòng lặp tiếp theo. Thuật toán MP đơn giản và trực quan để tìm ra một nghiệm thưa của một hệ phương trình tuyến tính chưa được xác định. Thuật toán MP áp dụng cho đơn mẫu dữ liệu được xem xét như sau.

Thuật toán MP

Đầu vào: Vector **y**, ma trận **B**, sai số ε_0

Đầu ra: Nghiệm của bài toán biểu diễn thưa.

Các bước thực hiện:

1. Khởi tạo: k = 0

Thiết lập:

- Khởi tạo nghiệm $\mathbf{z}^0 = 0$
- Khởi tạo số dư $\mathbf{r}^0 = \mathbf{y} \mathbf{B}z^0 = \mathbf{y}$
- Khởi tạo nghiệm hỗ trợ $\mathbf{S}^0 = supp \left\{ \mathbf{z}^0 \right\} = \emptyset$

2. Lặp chính: Tăng k lên 1 và thực hiện các bước:

Tính sai số $\varepsilon(j) = \min_{h_j} ||a_j h_j - r^{k-1}||_2^2$ với tất cả j sử dụng lựa chọn tối ưu theo $h_j^* = \frac{a_j^T r^{k-1}}{||a_j||_2^2}$

- Cập nhật supp: Tìm giá trị nhỏ nhất j_0 của $\varepsilon(j)$: $\forall 1 \le j \le m, \varepsilon(j_0) \le \varepsilon(j)$ và cập nhật $\mathbf{S}^k = \mathbf{S}^k \cup \{j_0\}$

- Cập nhật nghiệm tạm thời: Đặt $\mathbf{z}^{k} = \mathbf{z}^{k-1}$ và cập nhật $\mathbf{z}^{k} (j_{0}) = \mathbf{z}^{k} (j_{0}) + h_{j}^{*}$
- Cập nhật số dư: Tính $\mathbf{r}^k = \mathbf{y} \mathbf{B}\mathbf{z}^k = \mathbf{r}^{k-1} h_{j_0}^* a_{j_0}$
 - 3. Dừng: Nếu $\|\mathbf{r}^{k}\|_{2} < \varepsilon_{0}$. Nếu điều kiện chưa thỏa mãn, quay lại bước 2

Kết quả: Nghiệm có được là \mathbf{z}^k sau khi thực hiện k lần lặp.

Tuy nhiên, thuật toán MP hội tụ chậm bởi vì nó đòi hỏi một số lượng lớn không giới hạn phép lặp để tìm một nghiệm. Vì vậy trong thực tế, thuật toán MP không được áp dụng nhiều do độ phức tạp của thuật toán tăng lên tương ứng với số lần lặp để đạt được kết quả cuối cùng. Để khắc phục được hạn chế của MP, cần có bước cải tiến đó là hạn chế số lần lặp bằng cách thêm vào một bước trực giao hóa. Do đó, thuật toán OMP được đề xuất và kế thừa nhiều bước của thuật toán MP.

Sự khác biệt chính giữa thuật toán OMP so với MP là tại mỗi bước lặp xấp xỉ của **y** được tính bằng cách chiếu trực giao **y** lên tập các vector cột được chọn cách giải bài toán bình phương tối thiểu để đạt một xấp xỉ tốt nhất có thể của **y** dựa trên các cột đã chọn. Cụ thể, tại mục cập nhật nghiệm tạm thời của bước 2. Lặp chính thuật toán OMP yêu cầu đặt \mathbf{z}^k là giá trị nhỏ nhất của $||\mathbf{B}\mathbf{z}-\mathbf{y}||_2^2$ phụ thuộc vào $supp\{\mathbf{z}\} = \mathbf{S}^k$. Tại bước *k* thuật toán OMP giữ các chỉ số của các cột đã chọn trong một tập được gọi là tập hỗ trợ \mathbf{S}^k và các cột được chọn gọi là các cột hỗ trợ.

Điều quan trọng là, tại mỗi bước lặp, thuật toán OMP luôn đảm bảo vector dư \mathbf{r} trực giao với tất cả các cột hỗ trợ. Do đó, trong OMP không có cột được chọn hai lần và rõ ràng độ phức tạp của tính toán giảm đi nhiều so với thuật toán MP. Thực tế, bài toán Sparse DOA thường là bài toán có nhiều mẫu dữ liệu, vì thế, thuật toán SOMP được đề xuất để tính đến trường hợp này. Về cơ bản, SOMP bản giống với thuật toán OMP đã được mô tả ở trên. Tuy nhiên có một số thay đổi như sau: Giả sử có *L* mẫu tín hiệu (từ là *L* snapshots với mạng)

 $\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, ..., \mathbf{y}_L$, tại bước thứ 2, lặp chính của thuật toán OMP được sửa đổi để tìm tổng tương quan cao nhất từ *L* mẫu tín hiệu cho việc lựa chọn điều kiện giải bài toán tối ưu:

$$max h^* = \sum_{l=1}^{L} \frac{a_j^T \mathbf{r}_l^{k-1}}{\|a_j\|_2^2}$$
(8)

Trong đó \mathbf{r}_{l}^{k-1} là phần dư thứ k - l của mẫu tín hiệu thứ l

Như vậy, nếu như chỉ có 01 mẫu tín hiệu thì thuật toán SOMP chính là thuật toán OMP. Ý tưởng của việc tối đa hóa tổng tương quan là việc tìm ra cột đóng góp năng lượng lớn nhất cho nhiều mẫu tín hiệu đầu vào.

Để khắc phục hạn chế của các thuật toán Sparse trên lưới, đó là trường hợp nguồn chưa chắc đã nằm chính xác trên lưới đặt sẵn, thuật toán SOMP-LS đã được đề xuất [13]. Bản chất của SOMP-LS chính là đặt một lưới góc chính xác hơn vào khu vực có tiềm năng cao và tìm hướng của nguồn theo lưới chính xác này.

3.3. Thuật toán đề xuất

Sơ đồ chức năng thiết bị sonar ứng dụng thuật toán CMBF-SPARSE-DOA được thể hiện trên Hình 2. Trên đó có 03 khâu chính: LOF&CMBAR, QE&LFE và BB-SOMP-AL. Chức năng và làm việc của mỗi khâu như sau:

Bộ phân tích, ghi kết hợp lọc răng lược thích nghi (Low Frequency Analysis, Recording and Adaptive Comb Filter - LOF&CMBAR) đấu nối với đầu ra của chấn tử ăng ten. Một trong những kỹ thuật phổ biến để tách được các thành phần đơn tần, tần số thấp này là LOFAR (Low Frequency Analysis and Recording). Với thuật toán này, các bộ lọc răng lược thích nghi được thêm vào LOFAR, nằm sau bộ lọc thông thấp FIR và nằm trước FFT, với mục đích chọn lọc các tần số cơ bản xác định đặc trưng của chân vịt. Các bộ lọc răng lược được xây dựng trên cơ sở các bộ cộng hưởng kỹ thuật số, ghép song song, mỗi khâu cộng hưởng tại một tần số tương ứng trong (4). Hàm truyền của một khâu:

$$H_{CMBF}(z) = \frac{1 - r^{U} z^{-U}}{1 - 2r \cos(2\pi f_{j} / f_{s}) z^{-1} + r^{2} . z^{-2}}$$
(9)

Trong đó, U là số điểm 0 của mắt lọc và z là một số phức.

Bộ ước lượng số lượng mục tiêu và các tần số cơ bản của chân vịt (Source Number and Lines Frequency Estimation - QE&LFE), được sử dụng để ước lượng các tần số f_j của chân vịt theo (4). Đồng thời, bộ này cũng sử dụng thuật toán tích lũy không tương can [16] để xác định số lượng mục tiêu trong vùng quan sát của sonar và phản hồi ngược các tần số cơ bản ước lượng được đến khâu CMBF để điều chỉnh tần số của các khâu cộng hưởng (thích nghi).

Bộ ước lượng hướng dải rộng sử dụng thuật toán SOMP-LS (BB-SOMP-LS) để xác định góc hướng của các mục tiêu có tín hiệu dải rộng. Bộ này là sự mở rộng của thuật toán SOMP-LS cho tín hiệu dải rộng.



Hình 2. Sơ đồ khối chức năng thiết bị triển khai thuật toán - CMBF-BB-SOMP-LS

4. Kết quả mô phỏng và thảo luận

Đầu vào: Tín hiệu sau LOF&CMBAR (các phổ vạch) của 02 nguồn tương quan với các thông số như sau:

Nguồn	Hướng	Số hài	Tần số	SNR	Hệ số tương quan	Type of signal
No. 1	-10 ⁰	8	12 Hz	5 dB	0.85	Set of sine
No. 2	$+30^{0}$	8	12 Hz	5 dB		Set of sine

Thông số hệ thống ăng ten:

Μ	Loại	D	Đặc tính định hướng
32	ULA	10 m	Vô hướng

Thông số dữ liệu và thuật toán:

Độ dài 01 khung dữ liệu: 512; Số khung dữ liệu: 256; Số chấn tử trong mạng con của SMUSIC: 26 ; Độ phân giải góc: 0.2⁰ ; Độ dài đoạn dữ liệu xử lý của SOMP-LS: 64

Các tác vụ mô phỏng được thực hiện trong các tình huống như sau.

Bài mô phỏng 1: So sánh hiệu năng hoạt động giữa thuật toán BB-SOMP-LS với thuật toán BB-OMP và thuật toán MUSIC, kết quả thể hiện như Hình 3.



Hình 3. Hàm phổ không gian của các thuật toán trong trường hợp các nguồn tương quan

Nhận xét: Mục đích của bài mô phỏng là so sánh khả năng định hướng của 04 thuật toán, trong đó hai thuật toán dạng MUSIC là SMUSIC và MMUSIC đã được xem xét và đề cập trong [16] và 02 thuật toán Sparse DOA (OMP và SOMP-AL base). Kết quả cho thấy: Cả 04 thuật toán đều cho ra kết quả chính xác thông số hướng của 02 nguồn tương quan. Tuy nhiên, các thuật toán dạng MUSIC bị suy giảm phổ ở nguồn thứ nhất, mức phổ chuẩn hóa chỉ đạt 25% so với mức phổ cực đại. Hai thuật toán BB-OMP và BB-SOMP-LS không bị suy giảm quá nhiều mức đỉnh phổ giữa hai nguồn, thuật toán BB-SOMP-LS cho búp sóng hẹp, ít bị nhiễu hơn thuật toán BB-OMP.

Bài mô phỏng 2: Đánh giá hoạt động của hai thuật BB-OMP và BB-SOMP-LS khi có và không có kết hợp CMBF. Kết quả thể hiện trên Hình 4.



Hình 3. Thuật toán OMP và SOMP-LS dải rộng khi có và không áp dụng CMBF.

Nhận xét: Trong cả hai trường hợp, có và không kết hợp CMBF, các thuật toán đều cho kết quả đúng với dữ liệu đưa vào. Tuy nhiên, khi kết hợp CMBF, nhiễu đã giảm đáng kể và mất hẳn các thành phần thăng giáng ở nền của hàm phổ. Đặc biệt là đối với thuật toán CMBF- BB-SOMP-LS, các búp sóng hẹp, nhọn và không bị suy hao, đồng thời cắt được hoàn toàn các búp phụ ở vùng lân cận.



Hình 4. Sai số các thuật toán khi kết hợp lọc răng lược thích nghi

Bài mô phỏng 3: Đánh giá sai số chuẩn RMSE theo SNR. Kết quả thể hiện trên Hình 5.

Theo đó, các thuật toán đều làm việc tốt và ổn định trong vùng SNR cao ($\geq 5dB$). Khi nhiễu mạnh lên, sai số các thuật toán sẽ tăng mạnh. Tuy nhiên, thuật toán CMBF-BB-SOMP-LS vẫn bảo đảm làm việc ổn định và có sai số bé nhất, thể hiện làm việc tốt nhất trong các thuật toán được khảo sát.

5. Kết luận

Bài báo này đề xuất một thuật toán ước lượng DOA mới trên cơ sở biểu diễn thưa tín hiệu kết hợp lọc răng lược thích nghi. Bài báo đã phân tích sự tương đồng của mô hình tín hiệu giữa phương pháp biểu diễn thưa và phương pháp phân tách không gian con. Bài báo cũng đã đề xuất giải pháp kết hợp bộ lọc răng lược với mạch LOFAR truyền thống để tạo thành LOF&CMBAR có nhiều ưu điểm dùng cho xử lý các tín hiệu tiếng ồn từ các mục tiêu biển có chân vịt. 03 bài mô phỏng được thực hiện để khảo sát khả năng làm việc của thuật toán mới so với các thuật toán kiểu MUSIC và thuật toán OMP kinh điển trong tình huống các nguồn kết hợp. Kết quả cho thấy, CMBF-BB-SOMP-LS có búp sóng nhỏ, nén nhiễu tốt hơn và làm việc ổn định, cho sai số nhỏ nhất so với các thuật toán cùng và khác cơ sở được khảo sát. Với kết quả đó, có thể phát triển thuật toán CMBF-BB-SOMP-LS cho các sonar thụ động giám sát ngầm.

Tài liệu tham khảo

- 1. Jeffrey Foutz, A.S., and Mahesh K. Banavar, Narrowband Direction of Arrival Estimation for Antenna Arrays. 2008, M&C.
- 2. Aboumahmoud, I., et al., A review of sparse sensor arrays for two-dimensional direction-ofarrival estimation. 2021. 9: p. 92999-93017.
- 3. Malioutov, D., M. Cetin, and A.S.J.I.t.o.s.p. Willsky, A sparse signal reconstruction perspective for source localization with sensor arrays. 2005. 53(8): p. 3010-3022.
- 4. Zhang, Z., et al., A survey of sparse representation: algorithms and applications. 2015. 3: p. 490-530.
- 5. Ali Khan, N., et al., Direction of arrival estimation using adaptive directional time-frequency distributions. 2018. 29(2): p. 503-521.
- 6. Amin, M.G. and Y.J.D.S.P. Zhang, Direction finding based on spatial time-frequency distribution matrices. 2000. 10(4): p. 325-339.
- 7. Eranti, P.K. and B.D.J.E. Barkana, An overview of direction-of-arrival estimation methods using adaptive directional time-frequency distributions. 2022. 11(9): p. 1321.
- 8. Han, X., et al., A passive DOA estimation algorithm of underwater multipath signals via spatial time-frequency distributions. 2021. 70(4): p. 3439-3455.
- 9. Gao, S., et al., A Gridless DOA Estimation Method for Sparse SensorArray. 2023. 15(22): p. 5281.
- 10. Huang, Y., et al., Off-grid DOA estimation via a deep learning framework. 2023. 66(12): p. 222305.
- 11. Urick, R.J.M.-H.g.s., Principles of underwater sound. 1983. 2: p. 2760-2766.
- 12. Нгуен, Д.Н., Пассивная гидролокация движущихся морских объектов на основе когерентного накопления спектральных составляющих сигнала. 2018.
- 13. Gretsistas, A. and M.D. Plumbley. An alternating descent algorithm for the off-grid DOA estimation problem with sparsity constraints. in 2012 Proceedings of the 20th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). 2012. IEEE.
- 14. Helin, P., Wideband Direction of Arrival estimation and sparse modeling for underwater surveillance. 2013.
- 15. Cai, T.T. and L.J.I.T.o.I.t. Wang, Orthogonal matching pursuit for sparse signal recovery with noise. 2011. 57(7): p. 4680-4688.
- 16. Chinh N.T, Dong N.N and Hoan P.K, Direction of Arrival Estimation Algorithm based on Spatial Time Frequency Distribution Applying for Maritime Propeller-Equipped Targets, *in The 12th International Conference on Green and Human Information Technology*, Hanoi.

A Novel Directional Finding Algorithm Applying to Underwater Passive Sonar System Based on Sparse Representation Combined Adaptive Comb Filter and CMBF-BB-SOMP-LS algorithm

Abstract: This paper provides an overview of sparse signal representation-based direction finding methods, encompassing mathematical foundations and proposed algorithms. Additionally, the paper defines the system model, signal model, and wideband direction finding solution of sparse representation methods. A novel algorithm, CMBF-BB-SOMP-LS, is introduced, combining adaptive comb filter and sparse signal representation to perform direction finding for maritime propeller-equipped targets. Simulation results demonstrate that the CMBF-BB-SOMP-LS algorithm performs best in correlated sources scenario, compared to the basic OMP algorithm and algorithms based on MUSIC. Furthermore, this new algorithm achieves the narrowest mainlobe and the smallest error, showing stability across the investigated Signal-to-Noise Ratio (SNR) range.

Keywords: Sonar, Passive DOA, Sparse, propeller, comb filter.

Ăng-ten vi dải gấp khúc hoạt động ở hai băng tần dùng cho các thiết bị đeo trên người

Nguyễn Thanh Tâm^{1*}

¹Hệ quản lý học viên sau đại học; Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Trong bài báo này, một ăng-ten đơn cực có đường gấp khúc hoạt động ở hai băng tần dành cho các thiết bị đeo trên người được trình bày. Ăng-ten đề xuất bao gồm hai đường vi dải có độ dài khác nhau tương ứng với hai băng thông tần số hoạt động (2,4-2,5) GHz và (5,725-5,875) GHz. Tổng kích thước của anten đề xuất là 20mmx15mmx0,87mm và thể hiện các đặc tính tốt như hệ số phản xạ, mô hình bức xạ nhỏ hơn.

Từ khóa: Ăng-ten meanderline; băng tần kép; thiết bị đeo trên người.

1. Giới thiệu chung

Các thiết bị đeo trên người yêu cầu có kích thước nhỏ, trọng lượng nhẹ được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như: y tế, thể thao, cứu hộ; giải trí... Ăng-ten là thành phần quan trọng trong thiết bị đeo trên người do đó nó phải có kích thước nhỏ, cấu hình thấp và có chi phí chế tạo thấp. Kỹ thuật gấp là một trong nhiều kỹ thuật dựa trên cấu trúc liên kết bao gồm ăng-ten gấp khúc, ăng-ten fractal, ăng-ten được tải phản ứng, mặt phẳng mặt đất được thiết kế, được sử dụng để giảm kích thước của ăng-ten. Có nhiều cách để gấp khúc ăng-ten và các ứng dụng của nó. Một ăng-ten đường gấp khúc với phần tử ký sinh được ghép nối cảm ứng và nguồn cấp dữ liệu vòng chữ T được nghiên cứu trong [1]; một điện trở 500hm được tải đã được thêm vào một đường vi dải có đầu mở gấp khúc để tạo ra sự phân bố điện trường khá mạnh và đồng đều trong vùng trường gần [2]. Một thành phần cộng hưởng đường gấp khúc ghép nối đơn giản đã được sử dụng để triệt tiêu sự ghép nối lẫn nhau cho ăng ten và vi dải trong [3]. Để đạt được tính năng có thể cấu hình lại tần số trong các dải kép được xác định trước, hai lớp metasurface dựa trên đường gấp khúc giống hệt nhau đã được sử dụng [4]. Một kỹ thuật uốn dọc mới để giảm kích thước bên của ăng-ten in phẳng được triển khai trong [5].

Trong bài báo này, một ăng-ten đơn cực mới có hai dải kim loại có độ dài khác nhau được gấp khúc có khả năng hoạt động tại hai băng tần được đề xuất. Hai dải hoạt động tập trung ở 2,45GHz và 5,8 GHz có được bằng cách thay đổi độ dài của hai dải kim loại.

2. Cấu trúc Ăng-ten

Sơ đồ hình học mặt trên của ăng-ten đề xuất được hiển thị trong Hình 1.a. Mặt sau là mặt đất bằng kim loại. Kích thước chi tiết của anten đề xuất được trình bày trong Bảng 1. Chất nền điện môi là FR4 có hằng số điện môi 4,3 và tiếp tuyến suy hao 0,025 với độ dày 0,8 mm. Cổng ống dẫn sóng đã được sử dụng làm cổng kích thích.

^{*} Email: tamnt@lqdtu.edu.vn



Hình 1. Sơ đồ anten nhỏ gọn băng tần kép

Đường cấp nguồn vi dải được điều chỉnh để đạt được sự phối hợp trở kháng mong muốn cho hai tần số cộng hưởng.

Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value
Ws	15	Lp1	5.5	Lp6	3.3
Wg	15	Lp2	3.6	Lp7	Lp5*2+Wa
Wf	3	Lp3	0.5	Lg	7.5
Wa	1	Lp4	4	Lf	8
Wsl	1	Lp5	4.1	Lsl	0.5

Bảng 1. Giá trị tham số chi tiết của Ăng-ten (Đơn vị: mm)

3. Kết quả và phân tích

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng phần mềm CST để mô phỏng anten đề xuất thông qua phương pháp Moments. Hai tần số cộng hưởng đã thu được ở 2,63GHz và 5,87GHz như trong Hình 2. Ngoài ra, sơ đồ phân bố dòng điện ở các tần số cộng hưởng đã được minh họa trong Hình 3. Hình 3(a) mô tả rằng dải dài hơn (phía bên phải của cấu trúc) chịu trách nhiệm về tần số cộng hưởng đầu tiên ở mức 2,63GHz vì mật độ dòng điện lớn hơn các tần số còn lại. Dải ngắn hơn ở phía bên trái chủ yếu tạo ra cộng hưởng thứ hai như thể hiện rõ trong Hình 3(b). Do đó, mật độ dòng điện quan sát được trong dải dài hơn với tập hợp ba đoạn phân bố dòng điện giải thích lý do tại sao băng thông trở kháng ở tần số cộng hưởng cao hơn lại rộng hơn ở tần số cộng hưởng thấp hơn.





Hình 2. Kết quả tham số S11 của Ăng-ten đề xuất

Hình 3. Phân bố dòng điện bề mặt của Ăngten (a) tại 2.63GHz (b) tại 5.87 GHz

Để ăng-ten đề xuất hoạt động ở tần số mong muốn, chúng tôi tham số độ dài của dải. Hình 4. thể hiện hệ số phản xạ (S11) của ăng ten đề xuất theo Lp4. Có thể thấy rõ giá trị Lp4 tăng từ 3,9mm lên 4,7mm, tần số cộng hưởng thấp hơn giảm từ 2,63GHz xuống 2,457GHz theo đúng lý thuyết. Chúng ta thu được kết quả tương tự khi tham số Lp2 được hiển thị trong hình 5. Tần số cộng hưởng thấp hơn ở 2,45GHz hầu như không thay đổi trong khi tần số cộng hưởng cao hơn thay đổi từ 5,9GHz đến 5,72GHz khi Lp2 thay đổi từ 3,6mm đến 4,2mm. Sau khi tối ưu hóa, kích thước cuối cùng và suy hao phản hồi của ăng ten đề xuất được trình bày trong Bảng 2 và Hình 6.

Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value
Ws	15	Lp1	5.5	Lp6	3.3
Wg	15	Lp2	4	Lp7	Lp5*2+Wa
Wf	3	Lp3	0.5	Lg	7.5
Wa	1	Lp4	4	Lf	8
Wsl	1	Lp5	4.7	Lsl	0.5

	/	•	,		
\mathbf{D}^{\prime} \mathbf{A} \mathbf{C}^{\prime}	A ?	4 .			• \
Dana I I ha twi than	an nun	Ino ton can	401 4041	(LIONA 1	17 . 100100
	SO CHU /	no-ipn sini	1111 1111	1	
	b c c n a 1		$i \cup i \cup i \cup i$	$\mu u u u$, ,, ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
		0		1	• /



Hình 4: Kết quả tham số S11 biến đổi theo lp5 Hình 5. Kết quả tham số S11 biến đổi theo Lp2



Hình 6. Kết quả tham số S11 của Ăng-ten đề xuất sau tối ưu



Hình 7. Đồ thị bức xạ của ăng-ten tại 2.45GHz và 5.8GHz

Đồ thị bức xạ của ăng-ten được biểu diễn ở Hình 7, cả mặt phẳng E và mặt phẳng H đều phân cực. Ăng-ten đề xuất có kích thước tương đối nhỏ hơn và có khả năng hoạt động ở đa băng tần so với các anten được đề xuất ở [1], [2], [6], [7].

4. Kết luận

Một ăng-ten nhỏ gọn băng tần kép đã được trình bày trong bài báo này. Nguồn cấp vi dải đơn cực đã được sử dụng để kích thích hai dải đường gấp khúc khác nhau, do độ dài không bằng nhau của chúng, cộng hưởng ở hai tần số với băng thông bao trùm băng tần ISM (2,45GHz và 5,8GHz).

Tài liệu tham khảo

- S. Bhaskar and A. K. Singh, "Meander line tag antenna with inductively coupled parasitic element and T-loop feed," in 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Phuket: IEEE, Oct. 2017, pp. 1–2. doi: 10.1109/ISANP.2017.8229071.
- S. Zhang, J. Ouyang, Y. Yan, L. Zhuang, and J. Guo, "A Novel Meander Line RFID Reader Antenna for UHF Near-Field Applications," in 2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Boston, MA: IEEE, Jul. 2018, pp. 1297–1298. doi: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2018.8608744.
- J. Guo, F. Liu, and L. Zhao, "Decoupling Design Based on Coupled Meander-Line Resonators for Microstrip Patch Antennas," in 2020 Cross Strait Radio Science & Wireless Technology Conference (CSRSWTC), Fuzhou, China: IEEE, Dec. 2020, pp. 1–3. doi: 10.1109/CSRSWTC50769.2020.9372686.
- 4. "Dual band frequency reconfigurable antenna with meandered line based metasurfaces.pdf."
- L. Deng, S.-F. Li, K.-L. Lau, and Q. Xue, "Vertical Meandering Approach for Antenna Size Reduction," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2012, pp. 1–5, 2012, doi: 10.1155/2012/980252.

888

- 6. "Design and simulation of meader line antenna for wireless applications.pdf."
- N. H. Sulaiman, M. I. Abbasi, N. A. Samsuri, M. K. A. Rahim, and F. C. Seman, "A Low-Profile Compact Meander Line Telemetry Antenna with Low SAR for Medical Applications," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2022, pp. 1–10, Aug. 2022, doi: 10.1155/2022/7761150.

Dual-band folded microstrip antenna for wearable devices

Abstract: In this paper, a kinked monopole antenna operating in two bands for wearable devices is presented. The proposed antenna consists of two microstrip lines of different lengths corresponding to two operating frequency bandwidths (2.4 - 2.5)GHz and (5.725 - 5.875) GHz. The total size of the proposed antenna is 20mm×15mm×0.87mm and exhibits good properties such as reflection coefficient, smaller radiation pattern.

Keywords: Meanderline antenna; dual band; wearable devices.

Tối đa dung lượng tính toán mật cho hệ thống điện toán biên di động, chuyển tiếp dựa trên thiết bị bay không người lái

Nguyễn Thành Trung¹

¹*Khoa Vô tuyến điện tử, Học viện Kỹ thuật quân sự.*

Tóm tắt

Bài báo này khảo sát dung lượng tính toán mật (SCC) của một hệ thống điện toán biên di động (MEC) chuyển tiếp dựa trên thiết bị bay không người lái (UAV). Cụ thể, UAV thực hiện đồng thời hai nhiệm vụ là tính toán và chuyển tiếp dữ liệu giảm tải giữa các người dùng ở biên tế bào và máy chủ MEC ở trạm gốc (BS-MEC) trong sự hiện diện của các máy thu lén không biết chính xác vị trí. Thêm vào đó để tăng hiệu quả tính toán mật của hệ thống MEC dựa trên UAV (UAV-MEC), BS-MEC hoạt động ở chế độ song công, đồng thời thu dữ liệu giảm tải và phát tín hiệu gây nhiễu thân thiện nhằm cản trở việc thu chặn dữ liệu của các máy thu lén. SCC tối thiểu của mỗi người dùng được tối đa trên cơ sở kết hợp tối ưu vị trí của UAV, công suất phát của các node, thời gian giảm tải nhiệm vụ và tần số bộ xử lý trung tâm của UAV. Kết quả mô phỏng đã chứng minh SCC của hệ thống đã đề xuất vượt trội hơn so với hệ thống UAV-MEC trong đó UAV vừa giảm tải tính toán vừa phát tín hiệu gây nhiễu và các sơ đồ điểm chuẩn khác.

Từ khóa: Thiết bị bay không người lái; Điện toán biên di động; Dung lượng tính toán mật; song công.

1. Giới thiệu

Trước sự gia tăng không ngừng của các thiết bị đầu cuối vô tuyến và các ứng dụng vô tuyến, các hệ thống thiết bị-đám mây truyền thống đã tiệm cận đến giới hạn tắc nghẽn và vượt quá khả năng phục vụ. Ước tính hiện nay có khoảng hơn 20 tỷ thiết bị biên kết nối với mạng Internet, hơn 507.9ZB dữ liệu được tạo ra, đã đạt đến giới hạn của các đám mây trung tâm cũng như băng thông mạng [1]. Hơn thể nữa các ứng dụng trong hiện tại và tương lai như Augmented Reality, Virtual Reality, video streaming và Tactile Internet cũng dần tiếp cận tới giới hạn của các công nghệ hiện tại và đặt ra các yêu ngày càng khắt khe về khả năng tính toán, khả năng lưu trữ, đô trễ xử lý, dung lương truyền cũng như về tăng cường trải nghiêm người dùng [2]. Các nhiêm vu tính toán đòi hỏi các người dùng phải có bô xử lý trung tâm lớn, tốc đô cao, bô nhớ lớn, đô trễ tính toán thấp, năng lương nguồn lớn và đa phần đã vươt quá khả năng nôi tai của các thiết bị đầu cuối đó. Mặt khác, điện toán đám mây thường được triển khai ở các trung tâm mạng, do đó yêu cầu đặt ra là phải giảm tải các nhiệm vụ tính toán của các người dùng cạnh tế bào gặp nhiều khó khăn. Để đáp ứng nhu cầu giảm tải của các người dùng cạnh tế bào, các máy chủ biên được triển khai và đã giải quyết được đáng kể các nhiệm vụ tính tính toán giảm tải. Xu hướng dịch chuyển chức năng của đám mây tới các biên mạng được gọi là điện toán biên di động (MEC) [3].

Tuy nhiên, các hệ thống MEC truyền thống thường triển khai cố định trên mặt đất và khó có khả năng đáp ứng được ở những khu vực có địa hình phức tạp hoặc nơi có nhiều vật cản do tín hiệu truyền bị suy giảm nghiêm trọng bởi fading. Thêm vào đó, các máy chủ MEC thường có vị trí gần với trạm gốc tế bào và chúng đều cách xa các người dùng ở biên tế bào. Kết quả là các người dùng ở biên tế bào có thể kết nối kém với các máy chủ MEC và do đó làm giảm hiệu quả giảm tải dữ liệu [4]. Thiết bị bay không người lái (UAV) có các ưu thế nổi

bật như khả năng triển khai nhanh chóng, khả năng cơ động cao, giá thành rẻ và có xác suất thiết lập đường truyền trực tiếp lớn, được coi là một giải pháp hiệu quả để trong việc trợ giúp các hệ thống vô tuyến mặt đất [5], [6]. Hệ thống MEC dựa trên UAV (UAV-MEC) được gọi là một giải pháp mới, đầy hứa hẹn cho việc tăng cường khả năng giảm tải tính toán và mở rộng khu vực phục vụ của mạng. Trong các hệ thống UAV-MEC, UAV thường có các vai trò linh hoạt như là người dùng cần giảm tải dữ liệu tính toán của các người dùng mặt đất, là trạm chuyển tiếp dữ liệu giữa người dùng và máy chủ MEC, là trạm chuyển tiếp dữ liệu và máy chủ MEC đổng thời [2], [3]. Trong nghiên cứu về hệ thống MEC, các UAV thường đảm nhận một trong những vai trò trên, tất cả đều khẳng định rằng hệ thống UAV-MEC hoạt động tốt hơn các hệ thống MEC mặt đất truyền thống.

Bên cạnh những ưu điểm vượt trội thì hệ thống UAV-MEC cũng có các thách thức cố hữu như nguồn pin của UAV bị giới hạn, khả năng tính toán của máy chủ MEC dựa trên UAV hạn chế và dễ bị lộ lọt thông tin hợp pháp do truyền quảng bá trong không gian mở. Các nhược điểm của hệ thống UAV-MEC làm giảm thời gian hoạt động, tăng trễ xử lý thông tin hợp pháp và làm giảm an toàn hệ thống. Do đó các nghiên cứu về hệ thống MEC đều tập trung giải quyết các vấn đề kể trên. Cụ thể, đối với giảm tải nhiệm vụ tính toán đường xuống, các nghiên cứu trong [7], [8] đã xem xét UAV với vai trò là người dùng trên không cần giảm tải dữ liệu tới các máy chủ MEC mặt đất. Sử dụng node gây nhiễu tại mặt đất để cản trở việc thu chặn dữ liệu của các kẻ nghe lén kết hợp với sơ đồ giảm tải một phần nhiệm vụ tính toán mà hiệu quả năng lượng mật được tối đa trong [7] hay dung lượng bảo mật trung bình tối thiểu được tối đa trong [8].

Mặt khác, đối với nhiệm vụ giảm tải tính toán đường lên từ các người dùng mặt đất tới máy chủ MEC dựa trên UAV, các nghiên cứu trong [9], [10] đã triển khai nhiều máy chủ MEC dựa trên UAV để giúp giảm tải một phần hoặc toàn bộ nhiệm vụ tính toán của nhiều người dùng mặt đất. Bằng cách kết hợp tối ưu quỹ đạo của UAV, công suất phát của các node, tần số CPU mà tổng năng lượng tiêu thụ của UAV và người dùng được tối thiểu [9] hay tổng thời gian hoàn thành nhiệm vụ giảm tải được tối thiểu [10]. Để tăng thêm hiệu quả hoạt động của hệ thống MEC, đặc biệt là trong các hệ thống IoT, bên cạnh vai trờ giảm tải nhiệm vụ tính toán, máy chủ MEC dựa trên UAV còn thực hiện truyền năng lượng cho các thiết bị IoT [11], [12]. Các tác giả trong [13], [14] xem xét các máy chủ MEC dựa trên UAV kết hợp với bộ nhớ đệm nhằm tăng hiệu quả giảm tải tính toán khi một số kết quả tính toán đã lưu trữ sẵn trong bộ nhớ đệm. Do đó hệ thống MEC có thể truy cập trực tiếp kết quả trong bộ nhớ đệm và giảm thiểu được thời gian tính toán.

Ngoài vai trò là người dùng cần giảm tải dữ liệu tính toán đường xuống tới các máy chủ MEC mặt đất hoặc là máy chủ MEC trên không trợ giúp tính toán dữ liệu giảm tải đường lên từ các người dùng cạnh tế bào, các UAV trong hệ thống MEC còn đóng vai trò chuyển tiếp dữ liệu. Như chúng ta đã biết, máy chủ MEC dựa trên UAV có nhiều hạn chế trong việc lưu trữ năng lượng pin cũng như khả năng tính toán. Do đó một số nhiệm vụ giảm tải tính toán lớn, có yêu cầu về giới hạn thời gian trễ, các máy chủ MEC dựa trên UAV không có khả năng đáp ứng được một cách hiệu quả, chúng sẽ tiếp tục giảm tải dữ liệu tính toán đến máy chủ MEC trung tâm ở trên mặt đất. Dựa vào lập luận trên, các tác giả trong [15] đã sử dụng UAV chỉ với vai trò là trạm chuyển tiếp để trợ giúp giảm tải dữ liệu tính toán giữa các người dùng mặt đất và máy chủ MEC mặt đất thông qua giao thức truyền NOMA. Hơn thế nữa, các tác giả trong [16], [17], [18] đã thực hiện kết hợp cả hai chức năng là máy chủ MEC và chuyển tiếp dữ liệu lên UAV. Tổng năng lượng tiêu thụ bao gồm cả năng lượng dùng tính toán và năng lượng dùng cho liên lạc tại UAV được tối thiểu hoá bằng cách kết hợp tối ưu quỹ đạo UAV, công suất của các node, thời gian tính toán và tần số CPU. Thêm vào đó, hiệu quả tính toán của hệ thống UAV-MEC, được định nghĩa bằng tỷ số của các nguồn tính toán trên tổng năng lượng tiêu thụ, được tối đa trong môi trường đô thị [19]. Các nghiên cứu kể trên đều chứng minh được rằng hệ thống đã đề xuất có hiệu năng vượt trội hơn so với các sơ đồ chuẩn.

Một hướng được nghiên cứu phổ biến khác trong hệ thống UAV-MEC đường lên là hiệu quả tính toán mật. Đây cũng là xu hướng phổ biến do tính chất quảng bá của các hệ thống vô tuyến, đặc biệt là trong các hệ thống vô tuyến dựa trên UAV với các kênh vô tuyến có xác suất thiết lập đường truyền LoS cao, thông tin hợp pháp dễ bi thu chăn bởi các kẻ nghe lén. Các tác giả trong [20], [21] lần lượt thực hiện tối đa hiệu quả tính toán mật và dung lượng bảo mật tối thiểu của các người dùng trong hệ thống UAV-MEC đường lên. Để tăng hiệu quả giảm tải dữ liêu mật, máy chủ MEC dựa trên UAV thực hiện phát tín hiệu gây nhiễu thân thiện nhằm cản trở thu chặn tín hiệu của các kẻ nghe lén ở mặt đất hoặc trên không. Điều đáng chú ý là máy chủ MEC dựa trên UAV phải thực hiện đồng thời hai nhiệm vụ là trợ giúp tính toán nhiệm vụ được giảm tải và thực hiện gây nhiễu thân thiện trong khi nguồn pin của UAV là hạn chế. Liệu rằng việc sử dụng một phần công suất dành cho gây nhiễu thân thiện có làm giảm hiệu năng tính toán mật của hệ thống? Thêm vào đó, các tác giả trong [22] cũng nghiên cứu hê thống UAV-MEC đường lên nhưng sử dụng riêng một node gây nhiễu thân thiện nhằm cản trở việc thu chặn dữ liệu giảm tải đường lên. Tuy nhiên, điều đáng chú ý là các tác giả kể trên chưa đưa ra các so sánh cu thể về hiệu năng tính toán mật khi sử dụng hại cách thức gây nhiễu trên. Câu hỏi đặt ra là liệu rằng phương pháp gây nhiễu thân thiện nào sẽ cho hiệu quả giảm tải tính toán mật tốt hơn?

Hệ thống MEC chuyển tiếp dựa trên UAV (UAV-R-MEC) trong đó UAV vừa đóng vai trò là máy chủ MEC và chuyển tiếp để giảm tải dữ liệu tính toán cho các người dùng mặt đất, được nghiên cứu trong [23]. Hơn thế nữa, để tăng dung lượng mật cho hệ thống UAV-R-MEC, các tác giả lại sử dụng UAV hoạt động ở chế độ song công để thực hiện ba nhiệm vụ là tính toán giảm tải, chuyển tiếp thông tin và gây nhiễu thân thiện. Một điểm đáng chú ý là trong hệ thống UAV-R-MEC, ràng buộc liên quan đến các dữ liệu giảm tải đường lên và dữ liệu chuyển tiếp đường xuống không được các tác giả trong [23] đưa vào trong bài toán tối ưu hệ thống.

Từ các nghiên cứu kể trên chúng tôi nhận thấy rằng nghiên cứu về bảo mật lớp vật lý trong hệ thống UAV-MEC vẫn còn chưa hoàn thiện. Đặc biệt là dung lượng tính toán mật trong hệ thống UAV-MEC trong đó UAV thực hiện đồng thời vai trò tính toán giảm tải và chuyển tiếp thông tin. Thêm vào đó, để đảm bảo hiệu quả dung lượng tính toán mật của hệ thống, máy chủ MEC mặt đất hoạt động ở chế độ song công để đồng thời thực hiện nhiệm vụ giảm tải tính toán mật và phát tín hiệu gây nhiễu nhằm cản trở việc thu chặn dữ liệu của các kẻ nghe lén có thể là một giải pháp hợp lý để tăng cường hiệu quả tính toán mật. Liệu rằng sử dụng máy chủ MEC tại trạm gốc (BS-MEC) gây nhiễu có tốt hơn so với sử dụng UAV-MEC gây nhiễu hay không? Mặt khác, trong hệ thống MEC chuyển tiếp, các ràng buộc liên quan đến tổng dữ liệu giảm tải mật giữa đường lên và đường xuống là ràng buộc cần thiết phải xem xét. Từ những phân tích trên chúng tôi đề xuất một hệ thống UAV-R-MEC mới trong đó máy chủ MEC mặt đất hoạt động ở chế độ song công để phát tín hiệu gây nhiễu thân thiện nhằm tăng hiệu quả tính toán mật của hệ thống.

Đóng góp cụ thể của bài báo được trình bày như sau.

Một hệ thống UAV-R-MEC được thiết lập để giảm tải tính toán cho các người dùng ở cạnh tế bào trong sự hiện diện của các kẻ nghe lén mặt đất cái mà không biết chính xác vị trí. Thêm vào đó, dữ liệu giảm tải bị thu chặn trong cả đường lên và đường xuống. Để tăng hiệu quả giảm tải tính toán và tránh quá tải cho UAV-R-MEC, hệ thống sử dụng một BS-MEC mặt đất, hoạt động ở chế độ song công, vừa thực hiện thu dữ liệu giảm tải vừa thực hiện phát tín hiệu gây nhiễu tới các kẻ nghe lén.

Dung lượng tính toán mật tối thiểu của các người dùng được tối đa bằng cách kết hợp tối ưu vị trí của UAV, công suất phát của các node, thời gian thực hiện nhiệm vụ cũng như tần số CPU của UAV. Các ràng buộc về thông tin nhân quả mật, dữ liệu giảm tải đường xuống, vị trí không chính xác của các kẻ nghe lén và ảnh hưởng của tín hiệu gây nhiễu thân thiện tại các node trong hệ thống cũng được xem xét toàn diện.

Bài toán tối đa dung lượng tính toán mật tối thiểu được thiết lập và được giải thành công bằng phương pháp giảm dần toạ độ khối (BCD) và xấp xỉ tối ưu lồi liên tiếp (SCA). Thông qua kết quả mô phỏng, thuật toán tối ưu được đề xuất đã hội tụ nhanh chóng sau vài lần lặp đã chứng minh được tính hiệu quả của bài toán tối ưu.

Trên cơ sở mô hình hệ thống UAV-MEC trong đó UAV vừa thực hiện giảm tải tính toán vừa thực hiện gây nhiễu thân thiện [23], chúng tôi đã tiến hành mô phỏng để so sánh và chứng minh được rằng, thực hiện gây nhiễu thân thiện từ BS-MEC có dung lượng tính toán mật tốt hơn so với gây nhiễu thân thiện từ UAV. Thêm vào đó, hệ thống UAV-R-MEC đã đề xuất cũng cho dung lượng tính toán mật vượt trội hơn so với hệ thống MEC không sử dụng gây nhiễu cũng như các hệ thống chỉ tối ưu vị trí của UAV hoặc chỉ tối ưu công suất phát của các node.

2. Mô hình hệ thống

Mô hình hệ thống được miêu tả như Hình 1.



Hình 1: Mô hình hệ thống UAV-R-MEC

Hệ thống gồm K người dùng ở cạnh tế bào (CEU), một UAV-R-MEC, một BS-MEC hoạt động ở chế độ song công và M máy nghe lén không xác định chính xác vị trí. Hệ thống UAV-R-MEC hoạt động ở chế độ đa truy cập phân chia theo tần số trực giao (OFDMA) cho cả đường lên và đường xuống. UAV-R-MEC hoạt động ở chế độ song công phân chia theo thời gian (TDD). Đường liên lạc trực tiếp từ CEU tới BS-MEC bị chặn hoàn toàn do cự ly xa, vật che chắn nhiều. CEU giảm tải nhiệm vụ tính toán tới UAV-R-MEC trong pha thời gian thứ hai UAV-R-MEC thực hiện tính toán giảm tải một phần, phần còn lại chuyển tiếp tới BS-MEC để tính toán.

2.1. Mô hình liên lạc

Toạ độ 3 chiều của các node CEUk, UAV-R-MEC, BS-MEC và Em lần lượt là $\mathbf{w}k = (xk,yk)$, $\mathbf{w} = (x, y)$, $\mathbf{S} = (xs, ys)$, và $\mathbf{E}m = (xm, ym)$. Do vị trí của các máy nghe lén không được biết chính xác, chúng ta xem xét trong mô hình lỗi vị trí đường bao $\mathbf{E}_m \in \Phi = \left\{ \| \hat{\mathbf{E}}_m - \mathbf{E}_m \| \le r \right\}$, trong đó r là lỗi ước lượng tối đa [24]. Các kênh không đối đất (A2G) và đất đối không (G2A) được giả sử rằng là kênh tổn hao trong môi trường tự do khi UAV bay ở độ cao hợp lý [25]. Các kênh mặt đất trải qua fading Rayleigh độc lập với độ tăng ích kênh là phân bố mũ với trung bình bằng không và phương sai bằng một.

Đặt Bk là băng thông của người dùng CEUk, dung lượng truyền từ CEUk đến UAV-R-MEC và máy nghe lén Em trong pha thời gian đầu tiên lần lượt là

$$R_{ku} = B_k \log_2 \left(1 + \frac{P_k \left| h_{ku} \right|^2}{\alpha P_s + B_k N_0} \right), \tag{1}$$

$$R_{ke}^{m} = B_{k} \log_{2} \left(1 + \frac{P_{k} \left| h_{ke}^{m} \right|^{2}}{P_{s} \left| h_{se}^{m} \right|^{2} + B_{k} N_{0}} \right),$$
(2)

trong đó *Ps* là công suất gây nhiễu của BS-MEC, *Pk* công suất phát của CEU*k*, $|h_{ku}|^2$, $|h_{ke}^m|^2$, $|h_{se}^m|^2$ là các độ tăng ích kênh và *NO* là mật độ phổ công suất tạp âm tại UAV-R-MEC.

Trong pha thời gian thứ hai, UAV-R-MEC sau khi thu được các dữ liệu giảm tải sẽ thực hiện tính toán một phần và chuyển tiếp phần còn lại tới BS-MEC. Dung lượng truyền từ UAV-R-MEC đến BS-MEC và Em là:

$$R_{ks} = B_k \log_2 \left(1 + \frac{P_k^u |h_{ks}|^2}{P_s \xi + B_k N_0} \right),$$
(3)

$$R_{kue}^{m} = B_{k} \log_{2} \left(1 + \frac{P_{k}^{u} \left| h_{kue}^{m} \right|^{2}}{P_{s} \left| h_{se}^{m} \right|^{2} + B_{k} N_{0}} \right), \tag{4}$$

Trong đó P_k^u là công suất phát của UAV-R-MEC dành cho chuyển tiếp dữ liệu của người dùng CEUk. $|h_{ks}|^2$, $|h_{kue}^m|^2$ là độ tăng ích kênh.

2.2. Mô hình tính toán

Trong pha thời gian thứ nhất, ký hiệu là TkI số bits dữ liệu giảm tải từ CEUk tới UAV-R-MEC và số bits dữ liệu bị thu chặn tại Em là:

$$l_{ku}^{off} = T_{k1}R_{ku},\tag{5}$$

$$l_{ke}^{int} = T_{k1}R_{ke}^m.$$
 (6)

Trong pha thời gian thứ hai, ký hiệu là Tk2, số bits tính toán tại UAV-R-MEC, số bits giảm tải từ UAV-R-MEC tới BS-MEC và số bits bị thu chặn tại Em lần lượt là

$$l_k^{comp} = T_{k2} f_k^u / c_k, \tag{7}$$

$$l_{ks}^{off} = T_{k2}R_{ks},\tag{8}$$

$$l_{kue}^{int} = T_{k2} R_{kue}^m.$$
⁽⁹⁾

Công suất tiêu thụ tại CPU dành cho việc tính toán là

$$P_{k,comp}^{u} = \varepsilon \left(f_{k}^{u} \right)^{3}, \tag{10}$$

trong đó \mathcal{E} là hệ số tiêu thụ công suất, f_k^u là tần số CPU phân bổ cho việc tính toán giảm tải dữ liệu của người dùng CEUk, thoả mãn điều kiện sau:

$$\sum_{k=1}^{K} f_{k}^{u} \le F_{\max^{u}}, \quad f_{k}^{u} \ge 0,$$
(11)

Thời gian giảm tải tính toán và thời gian tính toán thỏa mãn điều kiện sau:

$$T_{k1} + T_{k2} \le T, \ T_{k1} \ge 0, \ T_{k2} \ge 0.$$
 (12)

3. Đề xuất bài toán tối ưu

Trong phần này chúng tôi muốn tối ưu dung lượng tính toán mật tối thiểu đường xuống của hệ thống UAV-R-MEC. Dung lượng tính toán mật được định nghĩa là tổng số bits mật đường xuống bao gồm số bits được tính toán tại UAV-R-MEC và số bits chuyển tiếp mật. Trong hệ thống UAV-R-MEC, dung lượng tính toán mật tính như sau:

$$C_k^{sec} = l_k^{comp} + l_{ks}^{off} - l_{kue}^{int}.$$
(13)

Bài toán tối ưu được thiết lập như sau:

$$(\mathbf{P}): \max_{\mathbf{w},\mathbf{P},\mathbf{T},f_k^u} \min_{k \in K} C_k^{sec}$$
(14)

s.t.
$$l_{ku}^{off} - l_{ke}^{int} \ge l_{ks}^{off} + l_{k}^{comp} - l_{kue}^{int}, k \in K$$
 (15)

$$l_{ks}^{off} - l_{kue}^{int} \ge L_{min}, \qquad k \in K$$
(16)

$$\sum_{k=1}^{K} P_k^u + P_{k,comp}^u \le P_{\max^u}, \qquad k \in K$$
(17)

$$0 \le P_k \le P_k^{\max},\tag{18}$$

$$\sum_{k=1}^{K} f_{k}^{u} \le F_{\max^{u}}, \quad f_{k}^{u} \ge 0,$$
(19)

$$T_{k1} + T_{k2} \le T, \ T_{k1} \ge 0, \ T_{k2} \ge 0.$$
(20)

Trong bài toán tối ưu (P), (14) là hàm mục tiêu, ràng buộc (15) liên quan đến các bits mật đường lên và đường xuống. Trong hệ thống chuyển tiếp thì ràng buộc (15) đảm bảo rằng hệ thống chỉ chuyển tiếp các bits mật được thu từ CEU. Ràng buộc (16) đảm bảo rằng số bits giảm tải tới BS-MEC luôn lớn hơn một ngưỡng tối thiểu nhằm tránh quá tải cho UAV-R-MEC. Ràng buộc (17) liên quan đến tổng công suất phát của UAV-R-MEC dành cho chuyển tiếp dữ liệu và tính toán giảm tải. Rằng buộc (18-20) liên quan đến công suất phát của các CEU, tần số CPU của UAV-R-MEC và thời gian thực hiện nhiệm vụ trong hai pha thời gian.

Lưu ý rằng bài toán (P) là không lồi do sự kết hợp chặt chẽ của các biến tối ưu, xuất hiện cả ở tử số và mẫu số. Để giải quyết bài toán (P) đầu tiên chúng ta sử dụng phương pháp BCD để phân tách bài toán tổng thành các bài toán con theo các khối biến **w**, **P**, **T**, f_k^u tương ứng. Mỗi bài toán con được giải nhờ phương pháp SCA thông qua việc xem xét các biến

ứng. Mỗi bài toán con được giải nhờ phương pháp SCA thông qua việc xem xét các biến tương ứng và coi các biến khác là cố định. Việc giải các bài toán phụ sẽ không được trình bày trong bài báo này.

4. Kết quả mô phỏng

4.1. Thiết lập các tham số ban đầu

Các CEU được lựa chọn với K = 5, có vị trí ngẫu nhiên trong phạm vi 100 x -100, đơn vị đo là m, ở xa BS-MEC. Vị trí ban đầu của UAV-R-MEC và các máy nghe lén có vị trí ngẫu nhiên, ở giữa CEU và BS-MEC. Vị trí của BS-MEC là (0, 600). Ck = 1000 vòng/bit, Fu_max = 10^7 , Ps = 30dBm, Pk_max = 16dBm, Pu_max = 20dBm, $\varepsilon = 10^{-27}$; $\alpha = \xi = -120$ dBm, $\beta_0 = 30$ dBm, $N_0 = -140$ dBm.

4.2. Kết quả mô phỏng





Hình 3. Dung lượng tính toán mật trong các TH

Hệ thống UAV-R-MEC đã đề xuất được ký hiệu (PS&GJ). Các hệ thống được sử dụng để so sánh gồm hệ thống UAV-R-MEC sử dụng UAV để gây nhiễu (CS&AJ) được nghiên cứu trong [23]. Hệ thống UAV-R-MEC đã đề xuất nhưng không tối ưu vị trí của UAV (PS&NOPOS) và hệ thống đã đề xuất nhưng không tối ưu công suất phát của các node (PS&NOPOW).

Từ Hình 2 chúng ta thấy rằng khi thời gian UAV-R-MEC thực hiện nhiệm vụ càng lâu thì số bits dung lượng tính toán mật đạt được càng lớn. Hơn thế nữa khi lỗi ước lượng vị trí của các máy nghe lén càng lớn thì dung lượng tính toán mật càng giảm. Hình 3 thể hiện việc

so sánh dung lượng tính toán mật trong các trường hợp. Từ Hình 3 cũng chứng minh được rằng dung lượng tính toán mật trong mô hình chúng tôi đề xuất tốt hơn so với mô hình trong [23].



Hình 4. Tần số CPU của UAV cho mỗi CEU











Hình 7. Dung lượng tính toán mật với lần lặp

Hình 6 thể hiện khả năng triệt nhiễu tại UAV-R-MEC. Khi khả năng triệt nhiễu giảm thì dung lượng tính toán mật giảm. Cuối cùng, Hình 7 thể hiện tính đúng đắn của bài toán mà chúng tôi đã đề xuất khi bài toán tối ưu đạt hội tụ sau khoảng 3 lần lặp.

5. Kết luận

Bài báo nghiên cứu về dung lượng tính toán mật trong hệ thống UAV-R-MEC với nhiều máy nghe lén có vị trí không xác định. Hệ thống UAV-R-MEC đã đề xuất đạt được dung lượng tính toán mật tốt hơn so với hệ thống được sử dụng trong [23] và các sơ đồ chuẩn khác. Thuật toán đề xuất hiệu quả và hội tụ nhanh chóng sau vài lần lặp. Hệ thống được áp dụng để giảm tải tính toán cho các hệ thống di động cần tính toán nhiều như các hệ thống nhận diện khuôn mặt hoặc trong các hệ thống IoT.

Tài liệu tham khảo

- 1. Lin, Fuhong and Yang, Lei and Zhou, Xianwei, "Security issues in emerging edge computing," *China Commun.*, vol. 17, pp. 10, iii-iv, 2020, DOI: 10.23919/JCC.2020.9248512.
- Michailidis, Emmanouel T. and Maliatsos, Konstantinos and Skoutas, Dimitrios N. and Vouyioukas, Demosthenes and Skianis, Charalabos, "Secure UAV-Aided Mobile Edge Computing for IoT: A Review," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 86353-86383, 2022, DOI:

10.1109/ACCESS.2022.3199408.

- 3. Mao, Yuyi and You, Changsheng and Zhang, Jun and Huang, Kaibin and Letaief, Khaled B, "A survey on mobile edge computing: The communication perspective," *IEEE communications surveys and tutorials*, vol. 19, pp. 2322-2358, 2017, DOI: 10.1109/COMST.2017.2745201.
- Wang, Shuo and Zhang, Xing and Zhang, Yan and Wang, Lin and Yang, Juwo and Wang, Wenbo, "A Survey on Mobile Edge Networks: Convergence of Computing, Caching and Communications," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 6757-6779, 2107, DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2685434.
- Nguyen, Thanh Trung and Hoang, Van Toan and Tran, Manh Hoang and Le, T Thanh Huyen and Tran, Xuan Nam, "Secrecy performance analysis of UAV-based full-duplex two-way relay NOMA system," *Performance Evaluation*, vol. 161, p. 102352, 2023.
- Nguyen, Thanh Trung and Hoang, Van Toan and Tran, Manh Hoang and Le, Thi Thanh Huyen and Tran, Xuan Nam, "Joint resource and trajectory optimization for secure UAV-based relay NOMA system," *Vehicular Communications*, vol. 43, p. 100650, 2023.
- Bai, Tong and Wang, Jingjing and Ren, Yong and Hanzo, Lajos, "Energy-Efficient Computation Offloading for Secure UAV-Edge-Computing Systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, pp. 6074-6087, 2019, DOI: 10.1109/TVT.2019.2912227.
- Chen, Peipei and Luo, Xueshan and Guo, Deke and Sun, Yuchen and Xie, Junjie and Zhao, Yawei and Zhou, Rui, "Secure Task Offloading for MEC-Aided-UAV System," *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, vol. 8, pp. 3444-3457, 2023, DOI: 10.1109/TIV.2022.3227367.
- Qin, Xintong and Song, Zhengyu and Hao, Yuanyuan and Sun, Xin, "Joint resource allocation and trajectory optimization for multi-UAV-assisted multi-access mobile edge computing," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 10, pp. 1400--1404, 2021.
- Sun, Sujunjie and Zhang, Guopeng and Mei, Haibo and Wang, Kezhi and Yang, Kun, "Optimizing Multi-UAV Deployment in 3-D Space to Minimize Task Completion Time in UAV-Enabled Mobile Edge Computing Systems," *IEEE Communications Letters*, vol. 25, pp. 579 - 583, 2021, DOI: 10.1109/LCOMM.2020.3029144.
- 11. Liu, Yuan and Xiong, Ke and Ni, Qiang and Fan, Pingyi and Letaief, Khaled Ben, "UAV-Assisted Wireless Powered Cooperative Mobile Edge Computing: Joint Offloading, CPU Control, and Trajectory Optimization," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, pp. 2777 - 2790, 2020, DOI: 10.1109/JIOT.2019.2958975.
- Zhou, Fuhui and Wu, Yongpeng and Hu, Rose Qingyang and Qian, Yi, "Computation Rate Maximization in UAV-Enabled Wireless-Powered Mobile-Edge Computing Systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 36, pp. 1927 - 1941, 2018, DOI: 10.1109/JSAC.2018.2864426.
- Mei, Haibo and Wang, Kezhi and Zhou, Dongdai and Yang, Kun, "Joint Trajectory-Task-Cache Optimization in UAV-Enabled Mobile Edge Networks for Cyber-Physical System," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 156476-156488, 2019, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2949032.

- 14. Mei, Haibo and Yang, Kun and Shen, Jun and Liu, Qiang, "Joint Trajectory-Task-Cache Optimization With Phase-Shift Design of RIS-Assisted UAV for MEC," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 7, pp. 1586 - 1590, 2021, DOI: 10.1109/LWC.2021.3074990.
- 15. Guo, Fengxian and Zhang, Heli and Ji, Hong and Li, Xi and Leung, Victor C.M., "Joint Trajectory and Computation Offloading Optimization for UAV-assisted MEC with NOMA," in *IEEE Conference on Computer Communications Workshops*, 2019, DOI: 10.1109/INFOCOMWKSHPS47286.2019.9093764.
- Hu, Xiaoyan and Wong, Kai-Kit and Yang, Kun and Zheng, Zhongbin, "UAV-Assisted Relaying and Edge Computing: Scheduling and Trajectory Optimization," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 18, pp. 4738 - 4752, 2019, DOI: 10.1109/TWC.2019.2928539.
- Zhang, Tiankui and Xu, Yu and Loo, Jonathan and Yang, Dingcheng and Xiao, Lin, "Joint Computation and Communication Design for UAV-Assisted Mobile Edge Computing in IoT," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 16, pp. 5505 - 5516, 2020, DOI: 10.1109/TII.2019.2948406.
- Wang, Tianshun and Li, Yang and Wu, Yuan, "Energy-Efficient UAV Assisted Secure Relay Transmission via Cooperative Computation Offloading," *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, vol. 5, pp. 1669 - 1683, 2021, DOI: 10.1109/TGCN.2021.3099523.
- Wang, Longjie and Zhou, Qiang and Shen, Yan, "Computation Efficiency Maximization for UAV-Assisted Relaying and MEC Networks in Urban Environment," *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, vol. 7, pp. 565 - 578, 2023, DOI: 10.1109/TGCN.2022.3222398.
- Peprah Amos and Pei Li and Wei Wu and Baoyun Wang, "Computation efficiency maximization for secure UAV-enabled mobile edge computing networks," *Physical Communication*, vol. 46, p. 101284, 2021, DOI: 10.1016/j.phycom.2021.101284.
- 21. Zhou, Yi and Pan, Cunhua and Yeoh, Phee Lep and Wang, Kezhi and Elkashlan, Maged and Vucetic, Branka and Li, Yonghui, "Secure Communications for UAV-Enabled Mobile Edge Computing Systems," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 68, pp. 376 388, 2020, DOI: 10.1109/TCOMM.2019.2947921.
- 22. Lu, Weidang and Ding, Yu and Gao, Yuan and Hu, Su and Wu, Yuan and Zhao, Nan and Gong, Yi, "Resource and Trajectory Optimization for Secure Communications in Dual Unmanned Aerial Vehicle Mobile Edge Computing Systems," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 18, pp. 2704 2713, 2022, DOI: 10.1109/TII.2021.3087726.
- 23. Han, Dongsheng and Shi, Tianhao, "Secrecy capacity maximization for a UAV-assisted MEC system," *China Communications*, vol. 17, pp. 64 81, 2020.
- 24. Zhang, Junyu and Wu, Fahui and Zhu, Yutao and Xiao, Lin and Yang, Dingcheng, "Joint trajectory and power optimization for mobile jammer-aided secure UAV relay network," *Vehicular Communications*, vol. 30, p. 100357, 2021.
- 25. Sophia Antipolis, France, "Enhanced LTE Support for Aerial Vehicles," 3GPP, p. TR 36.777, 2017.

Maximize confidential compute capacity for a drone-based relay, mobile edge computing system

Abstract: This paper investigates the confidential computing capacity (SCC) of a relay mobile edge computing (MEC) system based on unmanned aerial vehicles (UAVs). Specifically, the UAV simultaneously performs two tasks: calculating and forwarding offload data between users at the cell edge and the MEC server at the base station (BS-MEC) in the presence of hidden receivers which specificlocation are unknown. Additionally, to increase the secret computing efficiency of the UAV-based MEC system (UAV-MEC), BS-MEC operates in full-duplex mode, simultaneously collecting offload data and emitting friendly jamming signals to obstructing data reception by secret receivers. The minimum SCC of each user is maximized based on the optimal combination of the UAV's location, the transmitting power of the nodes, the mission offload time, and the UAV's central processor frequency. Simulation results demonstrate that the SCC of the proposed system is superior to the UAV-MEC system in which the UAV both reduces the computational load and generates jamming signals and other benchmark schemes.

Keywords: Unmanned aerial vehicle; Mobile edge computing; Confidential computing capacity; duplex.

Đề xuất mô hình thu thập dữ liệu bảo mật cho AES-128 ứng dụng kỹ thuật trải phổ trên SoC RISC-V

Lưu Văn Tuấn¹, Nguyễn Viết Dương² ¹Lớp NCS42, H2, Học viện kỹ thuật quân sự ²Lớp KTDT34, H2, Học viện kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ vi điện tử và vi mạch tích hợp, các hệ thống mã hóa tích hợp trên chip đang trở nên ngày càng phổ biến. Một trong những vấn đề bảo mật đáng quan tâm với các hệ thống này đó là rò rỉ thông tin nhạy cảm của hệ thống thông qua phân tích kênh bên (SCA – Side Channel Analysis). Đây là lỗ hổng bảo mật quan trọng mà các nhà nghiên cứu đang rất quan tâm để tìm ra các giải pháp hiệu quả trong việc chống lại hoặc khai thác hiệu quả lỗ hổng bằng các cuộc tấn công phân tích kênh bên này. Nghiên cứu đề xuất mô hình thu thập dữ liệu bảo mật cho AES-128 ứng dụng kỹ thuật trải phổ trên SoC RISC-V. Đóng góp của nghiên cứu là đã xây dựng hệ thống SoC và cung cấp được tập dữ liệu đầu vào (dataset) giúp cho việc nghiên cứu về vấn đề bảo mật với lõi AES-128 có xung nhịp ngẫu nhiên bằng kỹ thuật trải phổ.

Từ khóa: Bảo mật phần cứng; RISC-V SoC; AES; SSCG; Dataset.

1. Giới thiệu

Hiện nay, cuộc cách mạng chuyển đổi số và IoT (Internet of Thing) đang tác động rất mạnh tới hệ sinh thái các hệ thống điện điện tử. Cùng với đó là sự tiến bộ vượt bậc của các kỹ thuật và công nghệ bán dẫn, mức độ tích hợp ngày càng cao cho phép tạo ra các hệ thống điện tử nhỏ gọn nhưng khá phức tạp. Điển hình trong đó là các hệ thống nhúng với xu hướng tích hợp hầu hết các thành phần của một hệ thống máy tính truyền thống vào một chíp SoC duy nhất. Các thành phần này thường bao gồm một số nhân xử lý, bộ nhớ, các mạch ngoại vi hoặc có thêm các bộ tăng tốc phần cứng. Các nhân xử lý có thể là một bộ điều khiển, vi xử lý hoặc bộ xử lý chuyên dụng cho ứng dụng cụ thể. Những kiểu kiến trúc này cho phép người dùng tận dụng được tính linh hoạt của phần mềm cùng với khai thác được hiệu năng tính toán của phần cứng.

Vi xử lý RISC-V đã trở thành một lựa chọn phổ biến cho thiết kế SoC, vì nó loại bỏ giới hạn của công cụ thiết kế độc quyền và cho phép thiết kế đa dạng. Các nhà thiết kế có thể tạo SoC RISC-V riêng của họ để đáp ứng yêu cầu đặc biệt. Các SoC RISC-V đã trở nên phổ biến và được sử dụng trong nhiều ứng dụng khác nhau, bao gồm xử lý tensor, tính toán mật mã và thu thập dữ liệu. Tuy nhiên, bảo mật trở thành mối quan tâm khi sử dụng SoC mã hóa, các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng các cuộc tấn công kênh bên có thể dễ dàng phá vỡ bảo mật của các triển khai mã hóa khác nhau [1, 2].

Cùng với sự phát triển của công nghệ, các nhà nghiên cứu đã nỗ lực trong nghiên cứu đề xuất ra nhiều giải pháp trong chống lại tấn công kênh bên cho các hệ thống mật mã, các giải pháp chính được đưa ra được chia làm hai nhóm chính là masking và hiding. Trong đó phương pháp được nghiên cứu nhiều là hiding, có không cần tác động tới thuật toán gốc, và có thể áp dụng cho nhiều hệ thống mã hóa khác nhau. Ở nhóm giải pháp này, các nghiên cứu chủ yếu làm ngẫu nhiên hóa các vệt công suất theo cả hai chiều là chiều biên độ (Vertical) và chiều thời gian (Horizontal), gây khó khăn cho việc tích lũy tín hiệu và giảm mối liên hệ giữa thông tin nhạy cảm của hệ thống và năng lượng tiêu thụ từ đó giúp hệ thống kháng tốt với các cuộc tấn công như SPA, DPA hay CPA [3].

Ngày nay, các kỹ thuật học máy, học sâu với các thuật toán, mô hình mạng phức tạp ngày càng được mở rộng và được sử dụng trong lĩnh vực bảo mật phần cứng nói chung cũng như bảo

¹ tuanluu.nd@gmail.com

mật AES nói riêng ở cả khía cạnh từ phía kẻ tấn công và bên chống tấn công. Tuy nhiên các tập dữ liệu được triển khai trong các kỹ thuật trên thường dùng các bộ dữ liệu mô phỏng không sát với thực tế dẫn đến kết quả đánh giá chưa đủ thuyết phục. Vì vậy, nghiên cứu này nhằm mục đích xây dựng hệ thống thu thập dữ liệu phục vụ cho các nghiên cứu về bảo mật phần cứng. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã tiến hành xây dựng hệ thống SoC RISC-V, khảo sát nghiên cứu, ứng dụng kỹ thuật trải phổ (SSCG: Spread-Spectrum Xung nhịp Generation) để thay đổi xung nhịp ngẫu nhiên cho khối mã hóa AES, tích hợp vào hệ thống SoC RISC-V vừa xây dựng. Sau đó thu thập đo đạc lấy kết quả làm tập data phục vụ cho nghiên cứu sau này. Đây là một trong những phương pháp cụ thể của nhóm giải pháp hiding, gây ngẫu nhiên hóa vết công suất theo chiều thời gian (Horizontal), chống lại các phương pháp tích lũy, tương quan tín hiệu một cách hiệu quả.

Phần tiếp theo của bài báo này được tổ chức như sau. Phần II trình bày tổng quan thống SoC RISC-V. Phần III nghiên cứu, ứng dụng kỹ thuật trải phổ cho khối mã hóa AES, tích hợp vào hệ thống SoC, đo đạc lấy dữ liệu. Cuối cùng, Phần IV là kết luận và nhấn mạnh các kết quả mà nhóm tác giả đã đề xuất trong bài báo này.

2. Tổng quan hệ thống

2.1 Khảo sát kỹ thuật trải phổ [4]

Spread-Spectrum Clock Generation (SSCG) là một kỹ thuật quan trọng trong thiết kế hệ thống số thường nhằm giảm nhiễu EMC (Electromagnetic Compatibility) và EMI (Electromagnetic Interference) do tín hiệu xung nhịp gây ra. Kỹ thuật này hoạt động bằng cách biến đổi tần số của tín hiệu xung nhịp theo một mô hình cố định, thay vì duy trì một tần số cố định như các nguyên tắc truyền thống. Dưới đây là một số khái niệm quan trọng về SSCG.

Cơ chế hoạt động: SSCG làm việc bằng cách thay đổi tần số của tín hiệu xung nhịp liên tục theo thời gian. Thay vì duy trì một tần số cố định, nó tạo ra một tín hiệu xung nhịp có tần số dao động trong một khoảng nhất định. Điều này giúp giảm tập trung của các tần số cơ bản và bội số, làm giảm nhiễu EMC và EMI.

Mức độ biến đổi (Spread): Mức độ biến đổi xác định mức độ dao động của tần số xung nhịp. Nó thường được đo bằng phần trăm và thể hiện mức độ biến đổi so với tần số cố định. Ví dụ, một mức độ biến đổi 1% có nghĩa rằng tần số dao động trong khoảng 1% xung quanh tần số cố định.



Hình 1. Chế độ trải phổ tần số trung tâm

Tốc độ biến đổi (Spread Rate): Tốc độ biến đổi quy định tần số mà SSCG sẽ thay đổi qua mỗi chu kỳ. Nó được đo bằng Hz/giây hoặc ppm/giây (parts per million per second). Tốc độ này quyết định tần số tối đa và tối thiểu mà SSCG sẽ dao động qua mỗi chu kỳ.

Chế độ trải phổ (Spread Modes): SSCG thường cung cấp các chế độ trải phổ khác nhau, ví dụ: CENTER_HIGH, CENTER_LOW, DOWN_HIGH và DOWN_LOW. "HIGH" và "LOW"

chỉ ra mức độ trải phổ. "CENTER" trải đều cả phía trên và dưới tần số cố định, trong khi "DOWN" chỉ trải đến các tần số thấp hơn. Các chế độ này kiểm soát hướng và mức độ trải rộng tần số để giảm thiểu EMI, tùy thuộc vào yêu cầu thiết kế cụ thể.



Hình 2. Chế độ trải phổ với tần số biên dưới

Lựa chọn chế độ SSCG thích hợp phụ thuộc vào nhu cầu thiết kế và mức độ biến đổi tần số mong muốn, đồng thời phải xem xét tối ưu hóa khả năng giảm nhiễu EMC và EMI.

2.2 Xây dựng hệ thống

Hệ thống nhóm nghiên cứu xây dựng được kế thừa và phát triển từ mã nguồn mở vi xử lý RISC-V trong công trình nghiên cứu của tác giả Hoàng Trọng Thức và cộng sự [5]. Hệ thống bao gồm lõi vi xử lý RISC-V SoC 32-bit có một số bộ tăng tốc phần cứng thuật toán mã hóa để tăng tốc quá trình khởi động của Môi trường Keystone Trust Exclusive (TEE). SoC mục tiêu được tạo ra bằng cách sử dụng khung làm việc Chipyard [6]. Khung Chipyard cung cấp nhiều công cụ và trình tạo phần cứng dựa trên Chisel cho các nhà thiết kế sử dụng và phát triển SoC RISC-V tùy chỉnh. Kiến trúc của SoC mục tiêu được mô tả trong Hình 1. SoC bao gồm một nhân RISC-V Rocket 32-bit với bộ lệnh RV32IMAC, bộ đệm lệnh và dữ liệu, và các bus hệ thống. Bộ điều khiển bộ nhớ DDR, BootROM, CLINT, PLIC và đơn vị Debug cũng được tích hợp trong SoC.



Hình 1: Cấu trúc hệ thống SoC RISC-V được tích hợp lõi AES-128

SoC này sử dụng quá trình khởi động tương tự Freedom U540-C000 và có hai chế độ hoạt động: bare-metal và hệ điều hành Linux. Trong cả hai chế độ, mô-đun tăng tốc mã hóa AES128/256 và các mô-đun khác được tích hợp. Mô-đun tăng tốc AES128/256 là một thiết kế RTL mã nguồn mở và có thể hoạt động với tần số xung tối đa khoảng 100MHz nếu triển khai trên FPGA. Việc SoC hoạt động trong chế độ hệ điều hành làm cho cuộc tấn công phân tích công suất khó thực hiện hơn so với chế độ bare-metal, do có nhiều hoạt động khác cùng xảy ra.

Nhóm tác giả đã điều chỉnh RISC-V SoC nhằm triển khai phương pháp chống tấn công đề xuất. Hình 1 mô tả kiến trúc RISC-V SoC đã được sửa đổi. Tín hiệu xung nhịp được sử dụng cho toàn bộ hệ thống là 50MHz được tạo ra từ khối MMCM#1 với đầu vào là xung nhịp 200MHz từ thạch anh bên ngoài. Dùng tín hiệu xung nhịp hệ thống 50MHz này làm đầu vào cho khối tạo xung nhịp MMCM#2. MMCM#2 được thiết lập ở chế độ trải phổ với chế độ center high, tạo ra tần số xung nhịp 100 MHz với độ rộng điều chế 250 KHz. Tần số xung nhịp tạo ra được sử dụng để cấp cho khối mã hóa AES.

3. Kết quả và đánh giá

Nhóm nghiên cứu đã thiết kế và tổng hợp thành công hệ thống SoC RISC-V có tích hợp lõi AES-128 hoạt động dựa trên xung nhịp ngẫu nhiên bằng kỹ thuật trải phổ và được triển khai trên chíp FPGA Kintex 7 của bo mạch Sakura-X.



Hình 2: Kết quả thực hiện mã hóa của hệ thống

Nhóm tác giả tiến hành một hệ thống thử nghiệm được thiết lập để tự động thu thập các vết công suất. Hình 3 mô tả hệ thống thử nghiệm của nhóm nghiên cứu, hệ thống bao gồm một máy tính giám sát, một máy hiện sóng Keysight Infini Vision 2000 X-Series và bo mạch FPGA Sakura-X. Bo mạch FPGA Sakura-X có 02 chip FPGA riêng biệt, một chíp Kintex-7 XC7K160T và một chíp Spartan-6 XC6SLX45. Hệ thống được tích hợp sẵn một điện trở shunt và các điểm nối đầu đo trên đường nguồn cấp VDD lõi của FPGA Kintex-7. Do đó, nhóm tác giả triển khai toàn bộ SoC RISC-V vào trong FPGA Kintex-7 và đo sự thăng giáng điện áp trên nguồn cấp VDD khi hệ thống hoạt động, đây là dữ liệu về các vết công suất sẽ được sử dụng để đánh giá mức độ rò rỉ bảo mật của hệ thống. Nhóm tác giả sử dụng một máy trạng thái hữu hạn (finite-state machine FSM) để tạo ra tín hiệu Trigger dùng làm tín hiệu đồng bộ cho máy hiện sóng, điều này giúp thu thập được các vết công suất của hệ thống đúng trong khoảng thời gian thực hiện mã hóa/giải mã của khối AES.

Máy hiện sóng Keysight Infini Vision 2000 X-Series được sử dụng để đo các vết công suất khi SoC RISC-V mục tiêu xử lý mã hóa AES-128. Tốc độ lấy mẫu tối đa là 2,5 GSa/s, số

mẫu dữ liệu số hóa của một vết công được thiết lập là 1000 mẫu. Hai bộ đầu dây đo được sử dụng kết nối bo mạch Sakura-X với máy hiện sóng dùng cho đo lường. Một đầu đo được sử dụng để lấy tín hiệu đồng bộ cho máy hiện sóng được tạo ra từ hệ thống trên thiết bị mục tiêu. Đầu đo khác sử dụng để nối tín hiệu tương tự tại chân nguồn VDD của FPGA Kintex-7.

Máy tính với chương trình giám sát và điều khiển viết bằng mã python, điều khiển và lấy dữ liệu trên máy hiện sóng thông qua kết nối ethernet, giám sát và điều khiển thiết bị mục tiêu thông qua chuẩn giao tiếp UART-USB.

Máy tính với chương trình điều khiển sẽ vận hành toàn bộ hệ thống một cách tự động. Với mỗi chu trình lấy dữ liệu, chương trình sẽ thực hiện giám sát và bắt đầu chu trình khi thiết bị mục đã sẵn sàng cho lần thực hiện mã hóa mới, tiếp đó chương trình sẽ khởi tạo tham số và chế hoạt động của máy hiện sóng, sẵn sàng nhận dữ liệu. Tiếp theo, chương trình gửi bản rõ ngẫu nhiên đến SoC mục tiêu và thiết bị mục tiêu sẽ thực hiện mã hóa với khóa bí mật của nó. Tín hiệu đồng bộ sẽ giúp máy hiện sóng thu thập được vùng dữ liệu cần thiết ở thời điểm lõi mã hóa AES hoạt động. Khi quá trình mã hóa kết thúc, máy tính sẽ điều khiển nhận dữ liệu về vết công suất đã thu thập được từ máy hiện sóng, và lưu trữ lại tạo ra cơ sở dữ liệu dùng cho phân tích rò rỉ sau này. Trong quá trình đó, một chương trình mã hóa mềm cũng được tiến hành trước đó, làm cơ sở để so sánh dữ liệu sau mã hóa từ hai nguồn này là giống nhau. Điều này giúp đảm bảo các vết công suất nhận được là phản ánh đúng đặc trưng của lõi mã hóa cứng mà nhóm tác giả đang nghiên cứu.



Hình 3: Mô hình hệ thống thu thập dữ liệu

Mô tả cấu trúc dữ liệu:

Dữ liệu được thu thập bằng hệ thống đo như mô tả ở trên. Mỗi vết công suất thu thập được bao gồm có 875 mẫu dữ liệu theo trục thời gian.

Tổng số vết công suất mà nhóm đã thu thập được là 80.000 mẫu được lưu dưới định dạng dữ liệu chuẩn *.npy của thư viện numpy trong ngôn ngữ lập trình python thuận tiện cho các công việc xử lý, nghiên cứu sau này.



Hình 4: Vết công suất thu thập được trên Oscillose

4. Kết luận và hướng nghiên cứu tiếp theo

Nghiên cứu này đã xây dựng thành công hệ thống SoC dựa trên vi xử lý mã nguồn mở RISC-V được tích hợp lõi mã mật AES-128 hoạt động dựa trên xung nhịp ngẫu nhiên bằng phương pháp trải phổ. Thiết kế đã được thực thi và thử nghiệm thành công trên bo mạch FPGA Sakura X.

Trên cơ sở nền tảng trên, nhóm tác giả đã xây dựng được hệ thống giúp thu thập dữ liệu vết công suất một cách tự động, cung cấp dữ liệu đầu vào cho các nghiên cứu về vấn đề bảo mật cho mã hóa AES 128 trên nền tảng RICSV.

Hướng nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả sẽ tiến hành nghiên cứu các tiêu chuẩn đánh giá mức độ rò rỉ bảo mật, ngoài ra có thể áp dụng các phương pháp như DPA, CPA, ... và các phương pháp mới sử dụng kỹ thuật học máy, học sâu để thử nghiệm tấn công lõi AES-128 trên tập dữ liệu đã được xây dựng.

Một vấn đề mà nhóm nghiên cứu cũng nhận thấy về mặt giải pháp kỹ thuật đó là cần xem xét kỹ hơn về sự tác động tới tham số timing của khối AES khi chạy với xung nhịp bị hỗn loạn, chu kỳ không ổn định gây ra bởi kỹ thuật trải phổ xung nhịp. Vấn đề này sẽ được xem như công việc trong tương lai mà nhóm nghiên cứu cần xem xét kỹ để xây dựng hệ thống ổn định hơn.

Tài liệu tham khảo

- 1. P. Kocher, J. Jaffe, and B. Jun, "Differential power analysis," *proceedings of CRYPTO "99, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1666, Springer, pp. 388–397, 1999.
- 2. Mark Randolph and William Diehl, "Power Side-Channel Attack Analysis: A Review of 20 Years of Study for the Layman", *Cryptography* 2020, 4(2), 15; <u>https://doi.org/10.3390/cryptography4020015</u>
- Ng, J.S.; Chen, J.; Chong, K.S.; Chang, J.S.; Gwee, B.H. A highly secure FPGA-based dual-hiding asynchronous-logic AES accelerator against side-channel attacks. IEEE Trans. Very Large Scale Integr. (VLSI) Syst. 2022, 30, 1144–1157

- 4. Xilinx. (Jul. 2018). 7 Series FPGAs Clocking Resources User Guide UG472 (V1.14). https://www.xilinx.com/support/documentation/user_guides/ug472_7Series_Clocking.pdf.
- 5. T.-T. Hoang, C. Duran, D.-T. Nguyen-Hoang, D.-H. Le, A. Tsukamoto, K. Suzaki, and C.-K. Pham, "Quick boot of trusted execution environment with hardware accelerators," *IEEE Access, vol.* 8, pp. 74015–74023, 2020.
- University of California at Berkeley. (2020). Chipyard: An Agile RISC-V SoC Design Framework With in-Order Cores, Out-of-Order Cores, Accelerators, and More. [Online]. Available: <u>https://github.com/ucbbar/chipyard</u>.

Proposal for a secure data collection model for aes-128 utilizing spread spectrum techniques on risc-v soc

Abstract: With the rapid development of electronic and integrated circuit technologies, chip-integrated encryption systems are becoming increasingly prevalent. One of the significant security concerns with these systems is the leakage of sensitive information through Side Channel Analysis (SCA). This vulnerability is crucial, prompting researchers to actively seek effective solutions to mitigate or exploit it through efficient attacks utilizing side-channel analysis. This research proposes a model for secure data collection for AES-128 utilizing spread spectrum techniques on RISC-V SoC. The main contribution of this research is the development of the SoC system and the provision of input datasets, aiding the investigation of security issues related to AES-128 cores that utilize random spread spectrum techniques. Keywords: Hardware Security; RISC-V SoC; AES; SSCG; Dataset.

Đặc tính cơ học của bê tông siêu tính năng UHPC

Nguyễn Cảnh Đức¹, Trần Văn Lợi²

¹Viện Kỹ thuật CTĐB - Học viện Kỹ thuật Quân sự; ²Trường sỹ quan Công binh Email: nguyencanhduc119@gmail.com

Tóm tắt

Bê tông siêu tính năng (UHPC) được coi là loại bê tông tiên tiến nhất hiện nay. So với các loại bê tông truyền thống, UHPC cho thấy nhiều ưu điểm vượt trội về mặt cường độ cũng như độ bền, khiến nó ngày càng trở nên phổ biến với nhiều dạng ứng dụng kết cấu khác nhau. Các tính chất cơ học của UHPC được khái quát trong nghiên cứu này, nhấn mạnh vào các đặc tính cơ học quan trọng của nó, bao gồm cường độ chịu nén, chịu kéo và mô đun đàn hồi. Các đặc tính cơ học này tạo cơ sở dữ liệu cho việc ứng dụng vào mô phỏng số, từ đó có thể giúp các kỹ sư và các chuyên gia có thể phân tích và đánh giá khả năng chịu lực của các kết cấu sử dụng UHPC. Trong hoàn cảnh Việt Nam chưa có bộ tiêu chuẩn liên quan đến việc tính toán và thiết kế các kết cấu sử dụng bê tông UHPC và việc thực hiện các thí nghiệm để xác định cường độ của UHPC còn nhiều khó khăn, những kiến thức tổng quan trong nghiên cứu này góp phần tăng cường việc ứng dụng loại vật liệu này vào lĩnh vực xây dựng ở Việt Nam.

Từ khóa:Bê tông tính năng siêu cao (UHPC); tính chất cơ học; cường độ chịu nén; cường độ chịu kéo; mô đun Young.

1. Đặt vấn đề

1.1. Mục đích, yêu cầu

Lĩnh vực công nghệ bê tông đã đạt được bước tiến vượt bậc nhờ phát minh ra bê tông siêu tính năng (UHPC), một loại vật liệu xây dựng tiên tiến có đặc tính cơ học vượt trội[1 - 4]. UHPC khác biệt với bê tông thông thường ở cường độ chịu nén cao, cường độ chịu kéo, uốn tốtvà độ bền được tăng cường đáng kể dưới các điều kiện môi trường khắc nghiệt như ăn mòn hoặc xâm thực[5 - 7]. UHPC khắc phục những nhược điểm mà các loại bê tông thông thường hay gặp phải trong việc đáp ứng các tiêu chuẩn của các dự án cơ sở hạ tầng hiện đại, khiến nhu cầu về sử dụng UHPC không ngừng tăng lên trong những năm gần đây [8 - 10]. Mặc dù UHPC được phát triển và sử dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới, nhưng việc ứng dụng UHPC ở Việt Nam vẫn còn nhiều hạn chế do chưa có các nghiên cứu chi tiết, đầy đủ về các đặc tính cơ học của bê tông siêu tính năng ững như rào cản về công nghệ sản xuất và giá thành của loại bê tông này.

Với các yêu cầu thực tiễn như trên, nội dung của báo cáo sẽ tổng hợp những nghiên cứu trong và ngoài nước về các tính chất cơ học của vật liệu UHPC như cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi nhằm tăng cường hiểu biếtvề ứng xử của loại vật liệu này. Ngoài ra độ bền của UHPC cũng được đề cập trong báo cáo này. Báo cáo tổng hợp các nghiên cứu, phương tình cùng các công th ức thực nghiệm của các kỹ sư, chuyên gia và các tiêu chuẩn về xây dựng hàng đầu nhằm mục đích cung cấp thêm những kiến thức về loại vật liệu vẫn còn tương đối mới mẻ này ở Việt Nam.

1.2. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu báo cáo là tổng hợp các nghiên cứu, đánh giá các tính chất cơ học của Bê tông siêu tính năng (UHPC), tập trung vào cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo và mô đun đàn

hồi của UHPC. Các kết quả trong nghiên cứu sẽ hỗ trợ quá trình mô phỏng và thiết kế kết cấu sử dụng UHPC.

1.3. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết được thực hiện trong nghiên cứu này. Trong đó các nghiên cứu và kết quả thực nghiệm về bê tông siêu tính năng được tổng hợp và kế thừa từ các nguồn tài liệu được công bố trong và ngoài nước.

2. Cơ sở lý thuyết

Mô hình phá hủy dẻo của bê tông (CDP model) kết hợp giữa lý thuyết dẻo và lý thuyết cơ học phá hủy được ứng dụng khá rộng rãi đ ể xây dựng các mô hình mô phỏng số nhằm phân tích các kết cấu sử dụng UHPC như cấu kiện chịu uốn, kéo và nén. Cơ sở để thực hiện các nghiên cứu mô phỏng số sử dụng mô hình CDP là dựa vào các tính chất cơ học của vật liệu bao gồm đường cong ứng suất biến dạng chịu kéo, nén và mô đun đàn hồi của vật liệu.

3. Lịch sử phát triển của UHPC

Nghiên cứu đầu những năm 1970 của Odler, Brunauer và Yudenfreund đ d ẫn đến sự phát triển của UHPC [11 - 13]. Họ đã nghiên cứu các hỗn hợp cường độ cao có tỷ lệ nước - xi măng thấp (w/c = 0.2 đến 0.3), đặc điểm chính của hỗn hợp này là tỉ lệ độ rỗng thấp dẫn đến cường đô nén cao lên tới 180 MPa. Cải thiên cường đô bằng phương pháp bảo dưỡng trong hơi nước có nhiệt độ cao lần đầu tiên được Roy áp dụng. Những phát hiện của nghiên cứu đã dẫn đến việc tao ra các loại vữa xi măng có cường đô nén đặc biệt cao lên tới hơn 200 Mpa [14]. Hai loại vật liệu được phát triển vào những năm 1980 là kết quả của sự phát triển các chất siêu dẻo và phu gia pozzolan như silica fume. Birchall và công sư tao ra vật liêu hỗn hợp gồm xi măng và polyme đặc biệt được gọi hệ bê tông không chứa khuyết tật lớn (MDF). Sử dụng polime để loại bỏ các lỗ rỗng, tạo thành một khối đặc chắc. Tuy nhiên, những loại bê tông này có độ từ biến cao và nhạy cảm với nước. Bê tông dạng nén sử dụng các hạt mịn (DSP) được Bache phát minh kết hợp với phụ gia siêu dẻo và silica fume để giảm lỗ rỗng trong vật liệu nhằm tăng độ bền của nó. De Larrard và Sedran [15]đã đưa ra giả thuyết nghiên cứu và phát triển tính tương thích của vật liệu bê tông kết hợp các loại vật liệu này. Tuy nhiên, những loại vữa có cường độ cao này có nhược điểm là tính giòn lớn. Do vậy, việc bổ sung các loại sợi trong hỗn hợp là rất cần thiết để cải thiện độ dẻo. Những điều đề cập ở trên đã đặt nền móng cho sự phát triển của UHPC.

4. Thành phần vật liệu của UHPC

Xi măng, chất độn (Silicafume, silica floor..), cốt liệu mịn (cát hạt nhỏ), nước, phụ gia siêu dẻo và sợi tạo thành hỗn hợp vật liệu UHPC. Lượng chất kết dính, kích thước hạt cốt liệu và hàm lượng sợi là những khác biệt chính giữa hỗn hợp UHPC so với hỗn hợp bê tông thông thường. Một đặc điểm khác của UHPC là sử dụng nhiều phụ gia siêu dẻo để đạt được độ lưu động cần thiết. Bảng 1 minh họa một số cấp phối điển hình của UHPC.

	Loại cấp phối					
Vật liệu	M1Q [16] kg/m ³	B1Q [16] kg/m ³	Ductal [17] kg/m ³			
Xi măng Portland	733	580	712			
Cát hạt mịn	1008	354	1020			
Basalt	-	711	-			
Silica fume	230	177	231			
Silica floor	183	325	211			
Bột thạch anh	-	131	211			
Phụ gia siêu dẻo	28,6	-	30,7			
Phụ gia siêu dẻo	-	30,4	30,0			
Sợi thép	192	194	156			
Nước	161	148	109			

Bảng 1. Một số cấp phối điển hình của UHPC

5. Tính chất cơ lý của UHPC

5.1 Tính chất cơ học của UHPC

5.1.1. Cường độ chịu nén



Hình 1. Đường cong ứng suất - biến dạng của UHPC.

Bê tông siêu tính năng UHPC, đúng như tên gọi của nó thể cường độ nén cao hơn đáng kể so với bê tông thông thường. UHPC thường có cường độ nén từ 120 đến 220MPa. Mặc dù việc sử dụng cốt liệu sợi thường ít ảnh hưởng đến giá trị cường độ nén nhưng nó sẽ có tác động đáng kể đến đường cong quan hệ ứng suất - biến dạng. Giá trị ứng suất đàn hồi lên của UHPC có thể tới 70 - 80% giá trị cường độ nén tối đa của nó, như được thể hiện trong Hình 1 [18]. Dưới ứng suất nén, UHPC có và không có cốt sợi hoạt động rất khác nhau. Hình 2 mô tả rằng UHPC có cốt liệu sợi thể hiện ứng xử dẻo (ductile behavior) trong khi UHPC không có cốt liệu sợi cho thấy sự phá hoại bất thường và giòn. Điều này xảy ra do khả năng hấp thụ và ngăn cản phá hoại của cốt liệu sợi trong hỗn hợp bê tông [19].



Hình 2. Đường cong ứng suất - biến dạng của UHPC với hàm lượng sợi khác nhau.

Zhao - Hui Lu và đồng nghiệp (2010) [20]đã sử dụng phương trình (1) đến phương trình (4) để mô phỏng các đặc tính nén của UHPC. Mô hình này có mối quan hệ ứng suất - biến dạng được xác định dựa trên các công thức thực nghiệm và có thể biểu thị trạng thái sau đỉnh của UHPC khi nén.

$$f_{c} = f_{c}^{I} \left[\frac{(E_{it} / E_{0})(\varepsilon / \varepsilon_{0}) - (\varepsilon / \varepsilon_{0})^{2}}{1 + (E_{it} / E_{0} - 2)(\varepsilon / \varepsilon_{0})} \right]$$
(1)
$$\varepsilon_{L} = \varepsilon_{0} \left[\frac{1}{10} \frac{E_{it}}{E_{0}} + \frac{4}{5} \right] + \sqrt{\left(\frac{1}{10} \frac{E_{it}}{E_{0}} + \frac{4}{5}\right)^{2} - \frac{4}{5}}$$
(2)

Mô hình của L. Taerwe và Van Gysel (1996) [21]đưa ra hệ số hiệu chỉnh cho $\varepsilon > \varepsilon_L$ để giảm độ dốc của của đường cong ứng suất ở nhánh sau khi đạt đỉnh (softening behavior), như sau:

$$f_c = \frac{f_c^I}{1 + \lambda [(\varepsilon / \varepsilon_0) - 1 / (\varepsilon_L / \varepsilon_0) - 1]^{2(1-\lambda)}}$$
(3)

Vì toàn bộ đường cong ứng suất - biến dạng là liên tục, f_c trong biểu thức (3), với giá trị được xác định trước $\varepsilon = \varepsilon_L$, sẽ bằng 0,8. Do đó, giá trị của λ có thể được tính là $\lambda = 1/4$.

Trong đó, ở các công thức trên:

 $f_{\rm c}^{-1}$ là cường độ chịu nén một trục của bê tông;

E_{it} làmô đun đàn hồi tiếp tuyến ban đầu;

 E_0 xác định mô đun đàn hồi dưới ứng suất cực đại ($E_0 = f_c^{-1}/\epsilon_0$);

ε biểu thị biến dạng tại điểm bất kỳ dọc theo đường cong ứng suất - biến dạng;

 ε_0 là biến dạng lớn nhất ở cường độ f_c^{I} của bê tông;

 ε_L là biến dạng ở giá trị ứng suấtlà $0, 8f_c$;

 λ là hệ số hiệu chỉnh.

Một ví dụ về mối quan hệ ứng suất - biến dạng về đặc tính nén của UHPC được trình bày trong Bảng 2 [22]. Trong tính toán này, $E_0 = 44600$ MPa, $E_{it} = 37000$ MPa và $\lambda = 1/4$.

£0	f _c ^I (MPa)	£2	<i>f</i> ₂ (MPa)	83	<i>f</i> ₃ (MPa)	E 4	<i>f</i> ₄ (MPa)
0,00418	135	0,00474	108	0,006	55,1	0,01	14,56

Bảng 2. Mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng khi chịu néncủa UHPC [22]

Bảng 2 và Hình 3 thể hiện mối quan hệ ứng suất - biến dạng khi nén của UHPC được xác định theo các phương trình 1đến3.



Hình 3. Minh họa mối quan hệ ứng suất - biến dạng khi nén của UHPC dùng trong mô phỏng số.

5.1.2. Cường độ chịu kéo

Hình 4 cho thấy mối quan hệ ứng suất kéo - biến dạng của UHPC [19]. Giai đoạn đàn hồi được quyết định bởi khả năng chịu lực của nền ma trận vật liệu gốc xi măng. Giai đoạn tiếp theo, khi bắt đầu xuất hiện các vết nứt trong kết cấu, khả năng chịu lực của vật liệu bị chi phối chủ yếu bởi vai trò của cốt sợi thép. Nếu không có sợi, hư hỏng UHPC trở thành dạng hư hỏng giòn và nhánhđư ờng cong sau khi đạt đỉnh (softening behavior) sẽ bị co lại đáng kể, như minh họa trong Hình 4. Cường độ kéo của UHPC có thể tăng lên rất nhiều phụ thuộc vào số lượng, loại và hướng của sợi trong hỗn hợp vật liệu. Giá trị cường độ kéo của UHPC trong khoảng từ 8 đến 15 MPa. Ngoài ra, sợi có tác dụng tăng cường tính dẻo của vật liệu. Cần lưu ý rằng tùy thuộc vào hướng, số lượng và loại sợi, độ dốc của nhánh đi xuống của đường cong quan hệ ứng suất - biến dạng có thể khác nhau rất nhiều.



Hình 4. Mối quan hệ ứng suất kéo - biến dạng điển hình của UHPC.

Úng xử khi kéo được dự đoán bằng cách sử dụng các Khuyến nghị AFGC về UHPC (2013) [23], dựa trên những kết quả đạt được về thực nghiệm. Đường cong này được đề xuất trong tính toán thiết kế kết cấu sử dụng UHPC, như minh họa trên Hình 5 và các ph ương trình 4 8:



Hình 5. Ứng suất kéo - biến dạng của UHPC[23].

$$\varepsilon_{U,el} = \frac{f_{ctk,el}}{\gamma_{cf} \times E_{cm,uhpc}} (4)$$

$$\varepsilon_{U,peak} = \frac{W_{peak}}{l_c} + \frac{f_{ctk,el}}{\gamma_{cf} \times E_{c,eff}} (5)$$

$$\varepsilon_{U,1\%} = \frac{W_{1\%}}{l_c} + \frac{f_{ctk,el}}{\gamma_{cf} \times E_{c,eff}} (6)$$

$$\varepsilon_{U,\lim} = \varepsilon_{\lim} = \frac{l_f}{4l_c} (7)$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm,uhpc}}{1+\varphi} (8)$$

trong đó, $E_{cm,uhpc}$ xác định mô đun đàn hồi trung bình của UHPC;

 $E_{c,e,ff}$ biểu thị mô đun đàn hồi hữu hiệu;

 $\varphi = 0,2$ là hệ số từ biến;

 $f_{\text{tk,el}}$ là giới hạn đàn hồi điển hình trong quá trình thử nghiệm;

 f_{tfk} là giá trị ứng suất cực đại sau nứt;

 $f_{tf,1\%k}$ là ứng suất sau nứt điển hình **t**rong đương với chiều rộng vết nứt 0,01H. $f_{tf,1\%k}$ được đưa ra khi một liên kết hoàn hảo được hình thành giữa các sợi và ma trận :

$$f_{tf,1\%\,k} = \mu.\eta_0.\eta_L.\eta_B.2.\tau_u.(\frac{l_f}{d_f}).V_f$$
(9)

 $\gamma_{cf} = 1,3$ là thông số của kết cấu bê tông ứng suất trước;

 $l_c = 2/3h$ là đặc tính độ dài, $l_c = 66,7mm$ với mẫu lăng trụ $10 \times 10 \times 40mm$;

 $l_f = 16$ mmlà chiều dài sợi thép;

 $w_{1\%}$ là bề rộng vết nứt tương ứng với 1% vết nứt;

w_{peak}tương đương với điểm cực đại hoặc 0,3 mm nếu không có điểm cực đại;

 μ là giá trị được xác định bằng cách kiểm tra ngược kết quả của thí nghiệm, được coi là 0,75 trong nghiên cứu này;

 η_0 là hệ số định hướng sợi được lấy bằng 0,405 trong nghiên cứu này;

 η_L là biến số hiệu chỉnh chiều dài, được tính bằng 1,0 đối với sợi thép thẳng;

 η_B là tỷ số hiệu quả liên kết được xét đến đối với hình dạng sợi, được coi là bằng 1 đối với sợi thép thẳng;

 τ_u là độ bền liên kết giữa sợi/ma trận đối với UHPC được giả định là dành cho mô hình liên kết đồng nhất; τ_u có thể được biểu thị bằng phương trình:

$$\tau_u = 0.6\sqrt{f_{cm}} \tag{10}$$

Khi đó giá trị $\tau_u = 7$ Mpa ; l_f / d_f là tỷ lệ chiều dài trên đường kính của sợi, trong phân tích này nó được giả định là giá trị 100;

 V_f là phần thể tích sợi được coi là 1,5% trong nghiên cứu này;

Bảng 3 và Hình 6 thể hiện mối quan hệ ứng suất - biến dạng dưới ứng suất kéo của UHPC được xác định bởi các phương trình 4 đến 10.

Bảng 3. Mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng dưới ứng suất kéo UHPC

EU,eL	f _{tfk} (MPa)	EU,peak	f _{tfk} (MPa)	EU,1%	f _{tf,1%k} (MPa)	E _{U,lim}
0,00065	18	0,0049	18	0,0152	6:35	0,03



dùng trong mô phỏng.

5.1.3. Mô đun đàn hồi

Mô đun đàn hồi đã được thử nghiệm bằng mẫu hình trụ 150/300mm theo hướng dẫn của ASTM C469 [24]. Để đo biến dạng nén dọc trục, máy đo biến dạng điện tử của bê tông được sử dụng. A.Graybeal (2007) [25]đã phân tích mối tương quan giữa mô đun đàn hồi và cường độ nén. Sự đa dạng về cường độ nén từ 20MPa đến xấp xỉ 200MPa được thực hiện với kết quả của 97 mẫu. Kết quả của cả mẫu với quy trình bảo dưỡng được xử lý bằng hơi nước và không được xử lý ở mọi thời điểm đều được đưa vào đánh giá này. Phân tích này tạo ra phương trình 11, đại diện cho mô đun đàn hồi của UHPC.

$$E = 3840\sqrt{f_c} \tag{11}$$

trong đó, f_c (MPa) là cường độ chịu nén của mẫu trụ UHPC.

Mô đun đàn hồi đing có thể được ước tính bằng cách sử dụng các công thức thực nghiệm khác lần lượt là: ACI 318, CEB - FIP - 90, ACI - 363, FHWA.

$$E_c = 4700\sqrt{f_c}$$
'
 $E_c = 9500\sqrt[3]{(f_c'+8)}$
 $E_c = 3837\sqrt{f_c'}$ $f_c = 28 - 193$ MPa

Bảng 4 so sánh các giá trị mô đun đàn hồi của UHPC, bê tông thường (NC) và bê tông cường độ cao (HSC) từ các phương pháp khác nhau [26][27]. Rõ ràng, mô đun đàn lồi của UHPC gần gấp đôi so với bê tông thông thường. Hơn nữa, kết quả của công thức FHWA gần giống với thử nghiệm nhất, trong khi công thức ACI 318 và CEB - 90 thường tạo ra giá trị cao hơn.

Nghiên cứu điển hình	Kết quả kiểm tra		Công thức thực nghiệm		
Phương pháp	ASTM C469		ACI 318	CEB - FIP - 90	FHWA
Thông số	Cường độ nén (MPa)		Mô đun đàn hồi (MPa)		
NC	38,4	-	29100	33700	23800
HSC	69,7	-	39200	40000	32000
UHPC	151.1	47700	57800	50600	47200

Bảng 4. Mô đun đàn hồi của bê tông thường và UHPC theo các phương pháp khác[27]

5.2. Độ bền của vật liệu UHPC



Hình 7. Độ bền của UHPC so với các loại bê tông truyền thống.

Hình 7 so sánh độ bền của bê tông UHPC so với các loại bê tông truyền thống. Có thể thấy, tất cả các chỉ tiêu so sánh đều cho thấy độ bền của UHPC so với bê tông thường gấp từ vài lần đến vài chục lần. Ví dụ, khả năng chống ăn mòn Cloride của UHPC cao hơn bê tông thường 25 lần; Khả năng ngăn chặn oxy thẩm thấu của UHPC cao hơn 40 lần so với bê tông thường; Khả năng chống thẩm thấu của UHPC so với bê tông thường cao hơn 30 lần. Vì ưu điểm vượt trội về độ bền, UHPC được coi là giải pháp rất khả thi cho kết cấu trong các điều kiện môi trường khắc nghiệt.

6. Kết luận

Bài nghiên cứu này đã xem xét các tính chất cơ học của Bê tông siêu tính năng (UHPC), tập trung vào cường độ nén, cường độ kéo, mô đun đàn hồi và độ bền của UHPC. Tổng quan về một loạt các nghiên cứu và kết quả thực nghiệm đã nêu bật những đặc điểm khiến UHPC khác biệt so với bê tông thông thường. Kết quả khẳng định các tính chất cơ lý và độ bền vượt trội của UHPC so với bê tông thông thường. Nghiên cứu cũng tổng hợp các phương pháp xây dựng đường cong thực nghiệm thể hiện mối quan hệ ứng suất, biến dạng khi kéo và nén. Ảnh hưởng của tỷ lệ sợi trên đường cong này ũng đã đư ợc xem xét, từ ứng xử làm cứng (hardening behavior) đến khi bị mềm hóa (softening behavior), các đặc tính của UHPC cho thấy sự phù hợp với nhu cầu của cơ sở hạ tầng hiện đại và trong các điều kiện môi trường khắc nghiệt. Ngoài ra, các công thức thực nghiệm đề xuất cho mô đun đàn hồi của UHPC cho thấy trường hợp FHWA cho kết quả gần nhất so với thực nghiệm. Tổng quan từ bài báo hiện tại có thể là tài liệu được sử dụng trong lĩnh vực mô phỏng, từ đó giúp nâng cao việc nghiên cứu và ứng dụng UHPC trong lĩnh vực xây dựng ở Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Lê Hoàng Long, Mai Viết Chinh, Nguyễn Xuân Đại và Nguyễn Cảnh Đức, (2023),
 "Bê tông siêu tính năng và ứng dụng trong kết cấu dầm nhịp lớn", *Tạp chí xây dựng*.
- [2]. Lê Hoàng An và Bùi Thanh Bảo, (2020), "Nghiên cứu đánh giá tổng quan các đặc tính cơ học của bê tông chất lượng siêu cao UHPC kinh nghiệm từ Cộng hòa Liên bang Đức", *Tạp chí Khoa học Công nghệ*.
- [3]. Trần Bá Việt và Lương Tiến Hùng, (2021), "Nghiên cứu công nghệ bê tông siêu tính năng UHPC, để áp dụng thực tế sản xuất tại Việt Nam", *Tạp chí Nghiên cứu Khoa học*.
- [4]. Trần Bá Việt và Bùi Xuân Chiến, (2021), "Nghiên cứu khả năng chống ăn mòn biển của bê tông siêu tính năng UHPC, ứng dụng cho xây dựng công trình biển đảo", *Tạp* chí vật liệu và xây dựng.
- [5]. Rebentrost. M, Wight. G and Fehling, (2008), "Experience and Applications of Ultra high Performance Concrete", p. 19 30.
- [6]. Ma J., Orgass M., Dehn F., Schmidt D. and Tue N. V., (2004), "Comparative Investigations on Ultra - High Performance Concrete with or without Coarse Aggregates", 205 - 12.
- [7]. Chen Ying, Liu Peng, Sha Fei, Yu Zhiwu, He Sasa, Xu Wen and Lv Maofeng, (2022), "Effects of Type and Content of Fibers, Water - to - Cement Ratio, and Cementitious Materials on the Shrinkage and Creep of Ultra - High Performance Concrete", Polymers, (Basel). 14
- [8]. Azmee Norzaireen Mohd, Shafig Nasir, (2018), "Ultra high Performance Concrete: From Fundamental to Applications", *Case Studies in Construction Materials*, p. 9.
- [9]. Akhnoukh Amin. K and Buckhalter Chelsea, "Ultra high performance concrete: Constituents, mechanical properties, applications and current challenges".*Case Studies in Construction Materials*, 15 e00559.
- [10]. Ullar Rahat, Yuan Qiang, Jawad Ahmad, Vatin Nikolai Ivanovich and El -Shorbagy Mohammed. A, (2022), "Ultra - High - Performance Concrete (UHPC): A State - of - the - Art Review Materials", (Basel). 15 1 - 27.
- [11]. Odler Ivan, Hagymassy Jr. Julius, Bodor E. Edward, Yudenfreund Marvin and Brunauer Stephen, (1972), "Hardened portland cement pastes of low porosity IV. Surface area and pore structure", *Cement and Concrete Research*, Vol. 2, I.5, p. 577 - 589.
- [12]. Brunauer Stephen, Skalny Jan, Odler Ivan and Yudenfreund Marvin, (1973), "Hardened portland cement pastes of low porosity: VII. Further remarks about early hydration. Composition and surface area of tobermorite gel. Summary", *Cement and Concrete Research*, Vol. 3, I. 3, p. 279 - 293.
- [13]. Yudenfreund Marvin, Skalny Jan, Mikhail Raouf Sh. and Brunauer Stephen, (1972), "Hardened portland cement pastes of low porosity II. Exploratory studies. Dimensional changes", *Cement and Concrete Research*, Vol. 2, I. 3, p. 331 - 348.
- [14]. Roy D. M., Gouda G. R. and Bobrowsky A., (1972), "Very high strength cement pastes prepared by hot pressing and other high pressure techniques", *Cement and Concrete Research*, Vol. 2, I. 3, p. 349 - 366.
- [15]. De Larrard F. and Sedran T., (1994), "Optimization of ultra high performance concrete by the use of a packing model", *Cement and Concrete Research*, Vol. 24, I. 6, p. 997 1009.

- [16]. Fehling Ekkehard, Schmidt Michael, Walraven Joost, Leutbecher Torsten and Frohlich Susanne, (2014), "Ultra - High Performance Concrete UHPC: Fundamentals, Design, Examples", (Ernst & Sohn).
- [17]. Casanova P., Dugat J. and Orange G., (2000), "A new generation of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete High Performance Concrete Symposium", Hong Kong.
- [18]. Fehling E., (2006), "Design relevant properties of hardened Ultra High Performance Concrete Summary".
- [19]. Graybeal B., (2005), "Characterization of the behavior of ultra high performance concrete".
- [20]. Lu Zhao Hui andZhao Yan Gang, (2010), "Empirical Stress Strain Model for Unconfined High - Strength Concrete under Uniaxial Compression", *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 22.
- [21]. Taerwe L. and Van Gysel A., (1996), "Influence of Steel Fibers on Design Stress -Strain Curve for High - Strength Concrete", *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 122.
- [22]. Lu Zhao Hui and Zhao Yan Gang, (2010), "Empirical stress strain model for unconfined high - strength concrete under uniaxial compression", *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 22, p. 1181 - 1186.
- [23]. Resplendino Jacques, (2011), "Ultra High Performance Concrete: New AFGC Recommendations", *Designing and Building with UHPFRC*, p. 713 722.
- [24]. Anon, (2014), "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression", *ASTM International*, West Conshohocken, PA.
- [25]. Graybeal Benjamin A., (2007), "Compressive Behavior of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete", Vol. 104, p. 146 152.
- [26]. Aziz Omar Qarani and Ahmed Ghafur H., (2012), "Mechanical Properties of Ultra High Performance Concrete (UHPC)", Vol. SP 289.
- [27]. Aziz Omar Qarani and Ahmed Ghafur H., (2012), "Mechanical Properties of Ultra High Performance Concrete (UHPC)", *American Concrete Institute*, *ACI Special*

Mechanical Properties of Ultra High Performance Concrete: A Review

Abstract:

Ultra - High - Performance Concrete (UHPC) is considered as the most advanced form of the concrete material. In comparison to conventional concrete, UHPC exhibits numerous exceptional advantages in terms of strength and durability, rendering it increasingly popular for diverse structural applications. This study provides a review of the mechanical properties of UHPC, with a focus on its key mechanical characteristics, including compressive strength, tensile strength, and elastic modulus. These mechanical properties establish a foundation for application in numerical simulations, offering assistance to engineers and experts in the analysis and evaluation of the loading capacity of structures utilizing UHPC. In the context of Vietnam lacking a standard for the calculation and design of structures employing UHPC, and the challenges associated with conducting experiments to determine UHPC strength, the broad insights from this study contribute to advancing the application of this material in the construction sector in Vietnam.

Keywords: Ultra high performance concrete (UHPC); mechanical properties; compressive strength; tensile strength; Young's modulus

Nghiên cứu tác dụng phá hoại cục bộ của bom đạn trong môi trường đất đá

Ngô Thế Đức¹, Trịnh Ngọc Hùng²

¹Học viện Kỹ thuật quân sự ²Trường Sĩ quan Lục quân II Email: <u>ducnt1988@lqdtu.edu.vn</u>; Tel: 0948 743 611

Tóm tắt:

Tác dụng cục bộ của bom đạn trong môi trường đất đá bao gồm tác dụng xuyên và nổ. Việc nghiên cứu tác dụng liên tục từ khi xuyên đến tác dụng nổ trong môi trường cần có nghiên cứu lý thuyết kết hợp với thực nghiệm. Để tiến hành các bài thí nghiệm xuyên và nổ trong môi trường đất đá là tương đối phức tạp. Tuy nhiên, với sự phát triển của khoa học, đặc biệt là lĩnh vực công nghệ thông tin, một số phần mềm chuyên ngành như Ansys, LS - Dyna, Abaqus... sẽ giúp mô phỏng quá trình tác dụng cục bộ của bom đạn trong môi trường đất đá bằng phần mềm Abaqus. Kết quả nghiên cứu tác dụng cục bộ của bom đạn trong môi trường đất đá bằng phần mềm Abaqus. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp các số liệu cần thiết có thể thay thế cho thực nghiệm, đồng thời cũng làm sáng tỏ thêm các công thức thực nghiệm khi tính toán chiều sâu xuyên và bán kính phá hoại của bom đạn trong môi trường đất đá

Từ khóa: Phá hoại cục bộ, đạn xuyên nổ, mô phỏng nổ, Abaqus

1. Đ t v n

Tính toán tác dụng phá hoại cục bộ của bom đạn là một trong những nội dung quan trọng trong tính toán thiết kế các công trình quân sự. Tác dụng phá hoại cục bộ của bom đạn thông thường bao gồm tác dụng xuyên và tác dụng nổ. Trong các lý thuyết truyền thống khi tính toán tác dụng phá hoại cục bộ thường tách riêng tác dụng xuyên và tác dụng nổ của bom đạn thành 2 bài toán riêng biệt. Mặc dù có xem xét đến ảnh hưởng của chiều sâu xuyên. Tuy nhiên, khi tính toán tác dụng nổ thường chưa xem xét đến trạng thái phá hủy của của môi trường khi chịu tác dụng xuyên, đồng thời chưa xem xét đến trạng thái phá hủy của của môi trường khi chịu tác dụng xuyên, đồng thời chưa xem xét ảnh hưởng của vếtđạn khi vụ nổ xảy ra. Do đó, việc nghiên cứu tác dụng phá hoại cục bộ của bom đạt trong một bài toán liên tục là một vấn đề cấp thiết và còn tương đối mới mẻ. Hiện nay, có nhiều công cụ để có thể giải quyết bài toán xuyên - nổ của bom đạn trong môi trường đất, Phần Mềm ABAQUS là một công cụ mạnh mẽ có thể giúp giải quyết bài toán một cách toàn diện, do vậy nhóm tác giả đã sử dụng phần mềm ABAQUS để mô phỏng và tính toán tác dụng phá hoại cục bộ của bom đạn.

2. Mô hình bài toán nghiên c u

Sử dụng đạn pháo 130mm xuyên vào môi trường đất, sau khi xuyên hết chiều sâu mới nổ (Hình 1)

Kích thước đạn và khối lượng thuốc nổ được cho trong Bảng 1[1].

Môi trường đất á cát có hệ số xuyên $K_x = 50.10^{-7}$ [1]. Khi mô phỏng số, vật liệu đất được mô hình hóa theo mô hình của Morh - coulomb có các tham số được cho trong Bảng 2

Đường kính đạn (d)	130mm
Trọng lượng (P)	33,4kg
Khối lượng thuốc (C)	3,64kg

Bảng 1: Thông số đạn pháo 130[1]
Chiều dài (l) =	670mm
Phần thon (l _t)	383,5mm
Vận tốc đạn khi va chạm (v_0)	200m/s
Tầm bắn	27,49km
Góc va chạm của quả đạn (α)	00

Bång 2: Thông số vật liệu đất theo mô hình Morh - Coulomb

Mô đun biến dạng (MPa)	50
Hệ số Poisson	0.3
Góc ma sát trong (⁰)	24
Úng suất dẻo cố kết(MPa)	0.1
Trọng lượng thể tích (kg/m ³)	2200



Hình 1: Mô hình bài toán đạn xuyên hết chiều sâu mới nổ

3. Tính toán tác d ng c c b c a bom n theo lý thuy t truy n th ng *a*) *Tính toán tác dụng xuyên của bom đạn*

Theo công thức Bezegan

$$h_x = \lambda_1 \lambda_2 K_x \frac{P}{d^2} v_0 \cos\left(\frac{n+1}{2}\right) \alpha \tag{1}$$

trong đó:

h_x: chiều sâu xuyên của đạn (m);

 $\lambda_l :$ hệ số phụ thuộc hình dạng đầu thon của đạn,

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{l_t}{1,5d}} = \sqrt{\frac{383,5}{1,5.130}} = 1,4$$

 λ_2 : hệ số phụ thuộc kích thước quả đạn

$$\lambda_2 = 2,8\sqrt[3]{d} - 1,3\sqrt{d} = 2,8\sqrt[3]{0,13} - 1,3\sqrt{d} = 0,95$$

d: đường kính quả đạn (m);

v₀: vận tốc đạn khi va chạm (m/s);

α: góc chạm của quả đạn, (⁰)

n: hệ số đổi hướng của đạn trong môi trường tính theo kết quả thực nghiệm
 K_x: hệ số xuyên đối với môi trường;

Thay các số liệu trên vào công thức (1) ta tính toán được

$$h_x = 1,4 \times 0,95 \times 5.10^{-6} \frac{33,4}{0,13^2} \times 200 \times \cos 0^0 = 2,63 m$$

b) Tính toán tác dụng phá hoại của bom đạn do nổ

Khi nổ trong môi trường đất đá bom đạn gây ra áp lực nổ và sóng nổ làm cho môi trường đất đá xung quanh bom đạn bị nén ép, nghiền nát, biến dạng mãnh liệt và dịch chuyển ra xung quanh theo hướng bán kính. Tuỳ theo mức độ phá hoại mà phân chia thành các vùng nén ép (vùng nghiền nát), vùng phá hoại (vùng nứt nẻ), vùng chấn động.[2][3]:

Theo Pakrovski, công thức xác định bán kính các vùng được xác định theo công thức [3]:

 $R = k\sqrt[3]{C}$

trong đó:

R: bán kính các vùng

k: hệ số đặc trưng phá hoại và điều kiện địa chất;

C: khối lượng thuốc nổ.

Trong trường hợp đạn xuyên thẳng đứng với góc chạm $\alpha = 0$, bán kính phá hoại được tính theo công thức của lượng nổ dài thẳng đứng ($L_z>3,5d_z$)[1]

$$R_p = 10,8K_P d_z \tag{2}$$

trong đó:

R_P: bán kính phá hoại của bom đạn (m)

 K_P : hệ số phá hoại của môi trường; với đất á cát hệ số $K_p = 0,6$ [1]

 d_z : đường kính khối thuốc (m); $d_z = d - \delta$ với δ là chiều dày vỏ quả đạn

 $\Rightarrow d_{z} = 0,13 - 0,015 = 0,1$

 \Rightarrow $R_p = 10, 8 \times 0, 6 \times 0, 1 = 0, 648 m$

4.Tính toán tác d ng c c b c a bom n b ng mô ph ng s

Ngày nay, khoa học máy tính phát triển, có nhiều chương tình mô phỏng và tính toán các tác dụng xuyên, nổ của bom đạn trong môi trường đất đá như LS - DYNA, ANSYS AUTODIN...Phần mềm ABAQUS được tích hợp để mổ phỏng các vụ nổ trong các môi trường khác nhau. Có có thể phân tích ứng xử động học phi tuyến của các kết cấu, Thuật toán Lagrangian được áp dụng khi phân tích các loại chất rắn, trong khi đó thuật toán Lagrangian - Eulerian phù hợp khi phân tích các bài toán về dòng chảy của chất lỏng và chất khí. Phương pháp này cũng thích hợp để phân tích tác dụng phá hoại cục bộ của bom đạn.

Để mô phỏng tác dụng phá hoại của đạn, mô hình bài toán được đưa ra như Hình 2. Các kích thước được lựa chọn sơ bộ dựa trên kết quả khi tính toán theo phương pháp truyền thống



Hình 2: Mô hình bài toán

(3)

c) Mô hình vật liệu

+ Đất

Vật liệu đất được mô hình hóa theo mô hình của Morh - Coulomb. Theo mô hình Mohr - Coulomb, sự phá hoại được kiểm soát bởi ứng suất cắt cực đại và ứng suất cắt phá hoại này phụ thuộc vào ứng suất pháp.Điều này có thể được biểu diễn bằng cách vẽ đường tròn Mohr cho các trạng thái ứng suất khi phá hủy theo ứng suất chính cực đại và cực tiểu. Đường phá hoại Mohr - Coulomb là đường thẳng tiếp xúc với các vòng tròn Mohr (Hình 3).

Phương trình phá hoại theo mô hình Morh coulomb được biểu diễn

$$\tau = c - \sigma \tan \phi$$

trong đó τ : ứng suất cắt cực đại;

c: lực dính;

 ϕ góc ma sát trong của đất;

 σ : ứng suất pháp trung bình.



Hình 3: Mô hình phá hoại theo Morh - Coulomb

Các tham số của đất theo mô hình Morh Coulomb được trình bày trong Bảng 2[4] + Thuốc nổ Trong tính toán mô phỏng số để xác định được áp lực do sản phẩm nổ tác dụng lên đất đá, các nhà nghiên cứu sử dụng phương từnh trạng thái để biểu thị mối quan hệ giữa năng lượng, áp lực và mật độ của sản phẩm nổ. Có nhiều tác giả xây dựng các dạng phương từnh trạng thái khác nhau như Becker - Kistiakowsky - Wilson (BKW) EOS, Mie - Gruneisen EOS, Tillotson EOS.. [5][6][7] Phương trình trạng thái Jones - Wilkins - Lee (JWL equation of state) được sử dụng phổ biến và rộng rãi vì tínhđơn gi ản của nó và **đ** đư ợc nhiều nhà nghiên cứu sử dụng trong các công trình nghiên của của mình.

Áp lực tác dụng lên môi trường do sản phẩm nổ gây ra được tính toán theo phương tr ình tạng thái "Jones - Wilkins - Lee" (JWL equation of state) được biểu thị theo phương tr ình sau[8] [9]:

$$p = A_1 \left(1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right) e^{-R_1 V} + B_1 \left(1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right) e^{-R_2 V} + \frac{\omega E_0}{V} (4)$$

trong đó:

p: Áp lực của sản phẩm nổ tác động lên môi trường;

V: Thể tích tương đối của sản phẩm nổ;

 A_1 , B_2 , R_1 , R_2 , và ω là các tham số đặc tính của thuốc nổ, các tham số này thu được khi thí nghiệm giãn nở sản phẩm nổ trong các điều kiện kiểm soát được.[8] Giá trị của các tham số này được lấy theo nghiên cứu của Bibiana Luccioni và cộng sự 2019 [10] và được trình bày trong Bảng 2

Thông số	A_1	B ₁	R_1	R_2	E	ω	V_d	ρ
	(MPa)	(MPa)			(kJ/m ³)		(m/s)	(kg/m ³)
Giá trị	3,73.10 ⁵	3,74.10 ³	4,15	0,9	6,06.10 ⁶	0,35	6930	1650

Bảng 3: Các tham số của thuốc nổ theo phương trình trạng thái JWL[8]

+ Vỏ đạn

Đạn được làm bằng vật liệu thép được khai báo bằng mô hình vật liệu của Johnson – cook với các tham số của thép được trình bày trong Bảng 4[11].

Mô đun đàn hồi(MPa)	2.10 ⁵	Trọng lượng riêng (kg/m ³)	7850
Poisson's ratio	0,3	d1	0.05
A (MPa)	2.64.10 ⁸	d2	3.44
B (MPa)	1,3.10 ⁸	d3	2.12
Ν	0.0915	d4	0.002
T _{melt} (K)	1800	d5	0.61
T _{room} (K)	293.2	С	0.017
М	1	strain rate	1

Bảng 4: Thông số của vật liệu thép theo mô hình Johnson - Cook

5. K t qu tính toán và so sánh

d) Kết quả tác dụng xuyên của đạn



Hình 4: Quỹ đạo xuyên của đạn trong đất



Hình 5: Biểu đồ chiều sâu xuyên và vận tốc đạn theo thời gian

Căn cứ vào Hình 4 và Hình 5 biểu thị chiều sâu xuyên và vận tốc của đạn trong quá trình xuyên cho ta biết chiều sâu xuyên của đạn $h_x = 1,8m$. Đồng thời khi đạn di chuyển trong thời gian 0,033s thì dừng lại. Kết quả trên nhỏ hơn so với khi tính toán theo công thức truyền thống 31,5%, sự sai khác này là do tính toán truyền thống về an toàn cho nên khi tính theo mô phỏng sẽ cho kết quả thấp hơn. Mặt khác khi tính theo mô phỏng các thông số môi trường cũng chỉ là tương đối vì chưa có thí nghiệm thực tế nên cũng dẫn đến sai số. Đặc biệt, các tham số phá hủy của môi trường rất khó thí nghiệm thông thường lấy theo thư viện của phần mềm.

- e) Kết quả tác dụng nổ của đạn
- + Trường hợp 1: Đạn xuyên hết chiều sâu mới nổ.
- + Trường hợp 2: Đạn chôn trong đất nổ.



Hình 6: Kết quả phá hoại của đạn pháo trong các trường hợp



Hình 7: Chiều sâu phá hoại theo hướng xuyên tính từ tâm nổ

Từ hình ảnh kết quả mô phỏng và biểu đồ hình 5 cho ta thấy, Bán kính phá hoại trong bài toán xuyên nổ liên tục và bài toán nổ không xét đến quá trình xuyên lần lượt là 0,6m và 0,75m. Nguyên nhân là do trong bài toán xuyên nổ liên tục áp lực khí nổ bị tổn thất qua lỗ xuyên từ đó làm giảm đi bán kính phá hoại theo hướng xuyên. Trái lại, trong bài toán đạn nổ trong đất không xét đến tác dụng xuyên của đạn, năng lượng nổ theo các hướng là như nhau do đó bán kính phá hoại theo hướng xuyên cũng lớn hơn 20% so với trường hợp trên.

6. Kết luận

Trong nghiên cứu nhóm tác giả đã trình bày phương pháp tín h toán chiều sâu xuyên và bán kính phá hoại theo công thức thực nghiệm và tính toán được giá trị h_x và R_p của đạn pháo 130mm. Bên cạnh đó, nhóm tác giả cũng đưa ra mô hình và tiến hành phân tích tác dụng phá hoại cục bộ của đạn pháo 130mm bằng phương pháp mô phỏng số dựa trên phần mềm ABAQUS. Kết quả cho thấy khi, có xét đến ảnh hưởng của lỗ xuyên bán kính phá hoại của đạn pháo giảm đi 20% so với trường hợp không tính đến ảnh hưởng của lỗ xuyên và nhỏ hơn

khoảng 8% so với công thức thực nghiệm. Để có kết quả chính xác hơn, và có xét đến các ảnh hưởng khác của môi trường đất, cần tiến hành các thí nghiệm trong môi trường thực tế để có các số liệu đánh giá khách quan.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Trí Tá, Vũ ĐÌnh Lợi, Đặng Văn Đích, Giáo Tình Công sự Tập 1, Hà Nội: HV KTQS, 2008.
- [2]. Đàm Trọng Thắng, Nổ mìn trong ngành mỏ và công trình, Hà Nội: NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 2015.
- [3]. Hồ Sĩ Giao, Đàm Trọng Thắng, Lê Văn Quyển, Hoàng Tuấn Trung, Nổ Hoá Học -Lí thuyết và Thực tiễn, Hà Nội: NXB Khoa học và Kĩ thuật, 2010.
- [4]. M. Mokhtari, A. Alavi Nia, "The application of CFRP to strengthen buried steel pipelines against subsurface explosion," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 87, pp. 52 62, 2016.
- [5]. W.C. Davis, W.P. Walters, "Explosive Effects and Applications," in *Shock wave in solids*, New York, Springer Verlag, 1998, pp. 75 102; https://doi.org/10.1016/S0922 - 5382(04)80004 - 7.
- [6]. C. Mader, Numerical Modeling of Detonation, California: U. of California, 1979.
- [7]. J.R. Asay and M. Shahinpoor., High Pressure Shock Compression of Solids, 1993.
- A. Alia and M. Souli, "High explosive simulation using multi material formulations," *Applied Thermal Engineering*, vol. 26, pp. 1032 - 1042, <u>https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng</u>.2005.10.018, 2006.
- [8]. S. Itoh, H. Hamashima, K. Murata, Y. Kato, "Determination of JWL parameters from underwater explosion test," in *12th International Detonation Symposium*, San Diego, 2002.
- [9]. Bibiana Luccioni , Daniel Ambrosini , Gerald Nurick , Izak Snyman, "Craters produced by underground explosions," *Computers and Structures*, vol. 87, pp. 1366 1373, https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2009.06.002, 2009.
- [10]. Milan Žmindák, Zoran Pelagić, Peter Pastorek, Martin Močilan, Martin Vybošťok,
 "Finite Element Modelling of High Velocity Impact on Plate Structures," *Procedia Engineering*, vol. 136, pp. 162 - 168, 2016.
- [11]. Jianzhong Lai, Xujia Guo, Yaoyong Zhu, "Repeated penetration and different depth explosion of ultra high performance concrete," *International Journal of Impact Engineering*, vol. 84, pp. 1 12, 2015.
- [12]. Zhiliang Wang, Haochen Wang, Jianguo Wang, Nuocheng Tian, "Finite element analyses of constitutive models performance in the simulation of blast - induced rock cracks," *Computers and Geotechnics*, vol. 135, p. https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2021.104172, 2021.
- [13]. Zhiliang Wang, Youpeng Huang and Feng Xiong, "Three Dimensional Numerical Analysis of Blast - Induced Damage Characteristics of the Intact and Jointed Rockmass," *Computers, Materials & Continua*, vol. 60, pp. 1189 - 1206; https://doi.org/10.32604/cmc.2019.04972, 2019.

Research on the Local Destructive Effects of Bombs and Bullets in Soil and Rock Environments

The Duc Ngo¹,Ngoc Hung Trinh²

¹Le QuyDon Technical University ²Second Army Academy Email: <u>ducnt1988@lqdtu.edu.vn</u>; Tel: 0948 743 611

Tóm tắt:

Local effects of bombs and bullets in soil and rock environments include penetration and explosion effects. Researching the continuous effect from penetration to explosion in the environment requires theoretical research combined with experiment. To conduct penetration and explosion tests in rock and soil environments is relatively complicated. However, with the development of science, especially in the field of information technology, a number of specialized software such as Ansys, LS-Dyna, Abaqus... will help simulate the local impact process of bombs and bullets in real time. environment. Therefore, this report will present the results of studying the local effects of bombs and bullets in soil and rock environments using Abaqus software. The research results will provide necessary data that can replace experiments, and also clarify experimental formulas when calculating the penetration depth and damage radius of bombs and bullets in the soil and rock environments.

Từ khóa: Local sabotage, bullet piercing, explosion simulation, Abaqus.

Thực nghiệm nhận dạng các đặc trưng động lực học của kết cấu dầm thép bằng phương pháp phân tách miền tần số

Trần Trung Đức¹, Tạ Đức Tuân²

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt

Tần số dao động riêng, dạng dao động riêng và tỉ số cản là các đặc trưng động lực học quan trọng của kết cấu công trìnhvà có thể xác định bằng phương pháp giải tích hoặc thực nghiệm. Tần số dao động riêng và dạng dao động riêng có thể được xác định chính xác bằng các thử nghiệm động học trên các kết cấu, trong khi xác định tỷ số cản thường phức tạp hơn và sai số khó kiểm soát. Việc tính toán tỉ số cản trở nên cực kỳ quan trọng trong động lực học kết cấu vì tỉ số cản là một trong những thông số quan trọng của cộng hưởng. Nhận dạng chính xác về tỉ số cản vẫn là một vấn đề mở và được quan tâm trong thời gian gần đây. Bài báo trình bày phương pháp lý thuyết và thử nghiệm nhận dạng các đặc trưng động lực học của kết cấu dầm thép trong đó mở rộng nhận dạng tỉ số cản của kết cấu bằng phương pháp phân tách miền tần số (FDD). Phương pháp này thuộc nhóm các phương pháp lực học của kết cấu (Tần số dao động riêng, dạng dao động riêng, tỉ số cản).

Từ khóa: Tần số dao động riêng, dạng dao động riêng, tỉ số cản, nhận dạng, OMA, FDD.

1. Đặt vấn đề

Khi thiết kế hoặc kiểm định bất kỳ kết cấu nào, việc xác định các tham số động lực học (tần số dao động riêng, dạng dao động riêng, tỉ số cản) là việc rất quan trọng và phải thực hiện đầu tiên. Trong đó, tỉ số cản của kếtcấu là tham số quan trọng trong cả phân tích, thiếtkế và kiểm đinh công trình.Có nhiều phương pháp nhân dang đặc trưng dao đông của kết cấu công trình. Theo đặc điểm số liệu đo, có phương pháp miền thời gian [1] và phương pháp miền tần số [2]. Các phương pháp miền thời gian thường đòi hỏi thời gian đo kéo dài và nhay cảm với nhiễu nên các phương pháp miền tần số được sử dụng phổ biến hơn. Theo nguồn số liệu đo có nhóm các phương pháp nhân dang trên cơ sở kích thích đầu vào và số liêu đo phản ứng đông của kết cấu(Input - Output) hay còn gọi là phương pháp phân tích Model thực nghiệm (EMA) [4], phương pháp này đòi hỏi phải biết các yếu tố tác đông lên kết cấu vàsố liêu đo phản ứng động của kết cấu để xây dựng nên một hàm truyền mô tả cho kết cấu công trình. Nhóm các phương pháp nhận dạng trên cơ sở chỉ sử dụng số liệu đo phản ứng động của kết cấu (Output - Only) hay còn gọi là phương pháp phân tích Model hoạt động (OMA) [4]. Trong OMA, các lực kích thích tác đông là không xác đnh hoặc không thể đo được, thông tin duy nhất là số liệu đo phản ứng động của kết cấu. Tuy nhiên, nếu các lực tác động được giả định là ở dạng nhiễu trắng và được phân bố ngẫu nhiên theo không gian xung quanh cấu trúc, thì các số liêu đo phản ứng động của kết cấu sẽ chứa tất cả các thông tin cần thiết cần thiết để mô tả kết cấu công trình. Đây tố ràng là một ưu thế lớn của phương pháp OMA vì chúngta không sử dụng bất kỳ một thiết bị kích thích đắt tiền nào, mà có khi những thiết bị nhân tạo ấy có thể làm hư hại đến công trình trong thời gian tiến hành thí nghiệm. Thay vào đó, chúng ta lợi dụng các rung động do tải trọng môi trường tác động lên kết cấu, chẳng hạn như tác động của gió, hoạt động của xe cộ đang lưu thông hay một tác động bất kỳ nào khác và có thể nhận dạng các

tham số động lực học của công trình mà không làm gián đoạn hoạt động của công trình .Phân tách trong miền tần số (FDD) là một trong những kỹ thuật của phương pháp nhận dạng OMA.

FDD là một kỹ thuật cơ bản cực kỳ dễ sử dụng, chỉ cần chọn các đỉnh cộng hưởng trong biểu đồ SVD được tính toán từ phổ mật độ phổ của các phản ứng kết cấu. Kỹ thuật này được tác giả nghiên cứu và tiến hành thí nghiệm nhận dạng tần số dao động riêng và dạng dao dao động riêng của kết cấu dầm thép và đã cho kết quả với độ tin cậy cao tuy nhiên chưa nghiên cứu xác định hệ số cản của kết cấu. Tần số dao động riêng và dạng dao động riêng có thể được xác định chính xác bằng các thử nghiệm động học trên các kết cấu, trong khi xác định tỷ số cản thường phức tạp hơn và sai số khó kiểm soát. Tỉ số cản đã được nghiên cứu nhiều trong và ngoài nức [3] [5][6] [10]. Tuy nhiên sai ốs của kết quả nhận dạng do việc thực nghiệm và xử lý tín hiệu đang vẫn là vấn đề cần quan tâm. Đối với việc nhận dạng tỉ số cản bằng phương pháp phân tách miền tần số chịu ảnh hưởng nhiều bởi dữ liệu đầu vào, quá trình ước lượng phổ và được phân tích trong các nghiên cứu của L. M. Hee và cộng sự [11] nhưng việc lựa chọn các tham số tối ưu để ước lượng phổ vẫn chưa được chỉ ra cụ thể.

Bài báo tiến hành nghiên cứu phương pháp nhận dạng các tham số động lực học của kết cấu (Tần số dao động riêng, dạng dao động riêng, tỉ số cản) vàthí nghiệm đo rung động vàxác địnhtỉ số cản của kết cấu dầm thép bằng phương pháp phân táchmiền tầnsố(FDD).

2. Phương pháp phân tách miền tần số(FDD)

Phân tách trong miền tần số được đề xuất bởi Brincker et al [2]. Phương pháp này phân giải ma trận các hàm mật độ phổ công suất tại mỗi tần số thành các giá trị kỳ dị và các vectơ kỳ dị bằng giải thuật phân giải giá trị kỳ dị (SVD). Phân tách trong miền tần số (FDD) là một mở rộng của kỹ thuật miền tần số cơ bản (Basic Frequency Domain) hay thường được gọi là kỹ thuật trích lấy đỉnh (Pick Peaking), trong kỹ thuật này các tần số dao động riêng được nhận dạng bởi việc tìm các đỉnh trong phổ công suất, dạng dao động riêng được phân tích từ các giá trị của vec tơ riêng sau khi phân tách mền tần số, tỉ số cản được xác định bằng độ suy giảm logarit của tín hiệu trong miền thời gian nhận được sau khi biến đổi từ miền tần số sang miền thời gian.

2.1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp nhận dạng

Mối quan hệ giữa đầu vào chưa biết x(t) và phản ứng đo được đầu ra y(t) có thể được thể hiện như sau:

$$[G_{yy}(\omega)] = [H(\omega)]^* [G_{xx}(\omega)] [H(\omega)]^T$$
(1)

trong đó:

 $[G_{xx}(\omega)]$ là ma trận mật độ phổ năng lượng đầu vào;

 $[G_{vv}(\omega)]$ là ma trận mật độ phổ năng lượng đầu ra;

 $[H(\omega)]^*$ là ma trận liên hợp phức của hàm phản ứng tần số;

 $[H(\omega)]^T$ là ma trận chuyển vị của hàm phản ứng tần số.

Ma trận hàm phản ứng tần số có thể được viết dưới dạng một phân số từng phần, với tập hợp các giá trị riêng λ và các phần dư R.

$$\left[H(\omega)\right] = \sum_{1}^{N} \frac{\left[\mathbf{R}_{k}\right]}{j\omega - \lambda_{k}} + \frac{\left[\mathbf{R}_{k}\right]^{*}}{j\omega - \lambda_{k}^{*}}$$
(2)

$$\lambda_k = -\sigma_k + j\omega_{dk} \tag{3}$$

trong đó:

n là số dạng dao động, λ_k là giá trị riêng của dạng dao động thứ k, σ_k là các hệ số suy giảm và ω_{dk} là tần số riêng suy giảm (có giảm chấn) của dạng dao động thứ k.

 $[\mathbf{R}_k]$ là ma trận phần dư được biểu diễn như sau:

$$[\mathbf{R}_{k}] = \phi_{k} \cdot \boldsymbol{\gamma}_{k}^{T} \tag{4}$$

Trong đó:

 ϕ_k là véct
ơ dạng dao động, γ_k là véctơ tham gia model

Giả sử rằng các kích thích dao động là nhiễu trắng nên mật độ phổ công suất của nó là hằng số hay $[G_{xx}(\omega)]=C$, (C là hằng số). Công thức (1) được viết lại như sau:

$$[G_{yy}(\omega)] = \sum_{1}^{N} \sum_{1}^{N} \left[\frac{[\mathbf{R}_{k}]}{j\omega - \lambda_{k}} + \frac{[\mathbf{R}_{k}]^{*}}{j\omega - \lambda_{k}^{*}} \right] \cdot C \cdot \left[\frac{[\mathbf{R}_{k}]}{j\omega - \lambda_{k}} + \frac{[\mathbf{R}_{k}]^{*}}{j\omega - \lambda_{k}^{*}} \right]^{T}$$
(5)

Nhân hai thừa số riêng của phân số và sử dụng định lý phân số riêng phần Heaviside, rồi thực hiện biến đổitoán học ta có thể viết lại mật độ phổ công suất dưới dạng sau:

$$[G_{yy}(\omega)] = \sum_{1}^{N} \frac{[A_k]}{j\omega - \lambda_k} + \frac{[A_k^*]}{j\omega - \lambda_k^*} + \frac{[B_k]}{-j\omega - \lambda_k} + \frac{[B_k^*]}{-j\omega - \lambda_k^*}$$
(6)

trong đó: $[A_k]$ là ma trận phần dư thứ k của mật độ phổ công suất đầu ra.

Tại một tần số cụ thể chỉ tác động lên một số hữu hạn các dạng dao động, thông thường là 1 hoặc 2 dạng dao động. Do vậy, trong mô hình cản nhỏ thì các ma trận mật độ phổ năng lượng có thể được viết như sau:

$$[G_{yy}(\omega)] = \sum_{k \in Sub(\omega)} \frac{d_k \phi_k \phi_k^T}{j\omega - \lambda_k} + \frac{d_k^* \phi_k^* \phi_k^{*T}}{j\omega - \lambda_k^*}$$
(7)

trong đó k \in Sub(ω) là tập hợp các dạng dao động ở tần số cụ thể và ϕ_k là dạng dao động và λ_k là giá trị riêng của dạng dao động thứ k.

Một hệ đa bậc tự do, giảm chấn tỉ lệ, đàn hồi tuyến tính có thể được thể hiện như một kết hợp tuyến tính của các dạng dao động

$$y(t) = \sum_{i=1}^{n} \phi_i q_i(t) = [\Phi] \{ q(t) \}$$
(8)

trong đó, y(t) là vec tơ đápứng của kết cấu, ϕ_i là vec tơ dạng dao động riêng thứ i, q_i(t) là dịch chuyển của mode thứ i (tọa độ mode).

Ma trận hàm tương quan có dạng

$$R_{y}(\tau) = E[y(t)y^{T}(t+\tau)] = [\Phi]E[q(t)q^{T}(t+\tau)][\Phi]^{T} = [\Phi]R_{q}(\tau)[\Phi]^{T}$$
(9)

Lấy biến đổi Fourier của 2 vế công thức (9) ta được:

$$[G_{yy}(\omega)] = [\Phi][G_{qq}(\omega)][\Phi]^T$$
(10)

trong đó $[G_{qq}(\omega)]$ là ma trận phổ của các tọa độ model

Phương trình (10) có thể xác định bởi giải thuật phân giải giá trị kỳ dị SVD của ma trận mật độ phổ công suất đáp ứng.

Kỹ thuật phân tích miền tần số dựa trên phân tích giá trị kỳ dị của ma trận phổ phản ứng Hermitian.

$$[G_{w}(\omega)] = [U][S][U]^{H}$$
(11)

trongđó [S] là ma $\hat{\mathbf{m}}$ đường chéo chứa giá trị kỳ dị, [U] là ma trận chứa vecto kỳ dị và $[U]^H$ là ma trận Hermitian.

Tương ứng với véctơ kỳ dị đầu tiên là một ước lượng của dạng dao động.

Từ số liệu đo rung động của kết cấu (gia tốc) tiến hành tính toán ma trận mật độ phổ $[G_{yy}(\omega)]$ và tiến hành phân rã giá trị kỳ dị theo công thức (11) để xác định tần số dao động riêng của kết cấu.

Từ tần số dao động riêng được ước tính; sau đó, ước tính được dạng dao động riêng gần đúng. Dữ liệu giá trị mật độ phổ phản ứng được xác định xung quanh đỉnh cộng hưởng được chuyển trở lại miền thời gian (Time Domain) bằng cách sử dụng FFTnghịch đảo để thực hiện [8, 9]. Ước tính tỉ số cản bằng cách dựa vào độ suy giảm Logarit của biên độ dao động ứng với các mode tương ứng khi biến đổi tín hiệu từ miền tần số sang miền thời gian.

Độ suy giảm biên độ dao động



Trong dao động tự do có cản, độ suy giảm loga của biên độ dao động được xác định bằng công thức sau:

$$\delta = \ln \frac{u_i}{u_{i+1}} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \tag{12}$$

Trong đó δ là độ suy giảm loga; u_i là biên độ dao động; ζ là tỉ số cản.

3. Thí nghiệm đo dao động và nhận dạng tham số động

3.1. Mục tiêu thí nghiệm

Thí nghiệm nhằm mục tiêu thu được các phảnứng động (gia tốc) của kết cấu dầm thép tại các nút theo thờigian. Sử dụng kết quả đo dao động thu được đểnhận dạng tần số dao động riêng, dạng dao động riêng vàtỉ số cản của kết cấu.

3.2. Mô hình thí nghiệm

Kết cấu thí nghiệm để nhận dạng tần số daođộng riêng là dầm thép một đầu ngàm. Thôngsố vậtlý của kết cấu được thể hiện trong Bảng 1.

STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Chiều dài	710	mm
2	Khối lượng riêng	7850	Kg/m ³
3	Mô đun đàn hồi	2,03x10 ⁵	Мра
4	Chiều rộng	60	mm
5	Chiều cao	8	mm

Bảng 1. Thông số dầm thép thí nghiệm

3.3. Thiết bị thí nghiệm

Các thiết bị dùng trong thí nghiệm được liệt kê trong Bảng 2.

Bảng 2. Thiết bị thí nghiệm

STT	Tên thiết bị	Mã hiệu	Hãng sản xuất	Dải đo	Số lượng
1	Thiết bị đo dao động	NI cDAQ - 9137	National Instrument	Đa kênh	01
2	Đầu đo gia tốc	PCB 352C68	PCB Group	±50g (100mV/g)	01
3	Đầu đo gia tốc	PCB 353B33	PCB Group	±50g (100mV/g)	01

3.4. Sơ đồ bố trí thí nghiệm

Sơ đồ thí nghiệm xác định tần số dao động riêng của dầm thép được bố trí như Hình 1. Trongđó, sử dụng hai cảm biến gia tốc đo rung động của dầm, vị trí đặt các đầu đo được thể hiện như Hình 2, bộ thiết bị đo NI được kết nối với các cảm biếngia tốc và màn hình hiển thị. Số liệu đo gia tốc được thuthập và hiển thị thông qua phần mềm NI SignalExpress cài đặt sẵn trong thiết bị đo NI.



Hình 1. Thiết lập thử nghiệm kết cấu thực

3.5. Phương pháp thí nghiệm

Tiến hành lắp đặt và cài đặt các thông số cho thiết bị đo, Tạo dao động cho kết cấu bằng kích thích bất kỳ đủ lớn để kết cấu làm việc trong giai đoạn đàn hồi. Số liệu đo được ghi lại là giá trị gia tốctheo thời gian tại vị trí gắn đầu đo gia tốc.

4. Kết quả nhận dạng đặc trưng động lực học bằng phương pháp EFDD 4.1.Kết quả đo rung động của kết cấu

Sau khi thí nghiệm đo dao động của kết cấu thuđược gia tốc tại cácnút trên kết cấu dầm thép theo thời gian. Số liệu của một lần đo được thể hiện như trên Hình 2, Hình 3.



Hình 3. Kết quả gia tốc vị trí đầu tự do của dầm

4.2. Kết quả nhận dạng tần số dao động riêng

Với số liệu đo gia tốc thu được từ thí nghiệm, thực hiện tính toán ước lượng mật độ phổ công suất theo phương pháp ước lượng của Welchvà tiến hành phân giải các giá trị kỳ dịbằng giải thuật SVDta xác định được các tần số dao động riêng của kết cấu ứng với các vị trí hàm mật độ phổ công suất đạt cực đại. Kết quả nhận dạng5 tần số dao động riêng đầu tiên được thể hiện như Hình 4.



Hình 4. Mật độ phổ PSD

Từ hình 4 cho thấy các peak cộng hưởng của hàm mật độ phổ tương ứng với các giá trị tần số dao động riêng của kết cấu. Kết quả nhận dạng tần dao động riêng của kết cấu dầm thép bằng phương pháp FDD so với các phương pháp khác [6] có sai số nhỏ cho thấy độ tin cậy cao của việc thử nghiệm và phương pháp nhận dạng.

4.3. Kết quả nhận dạng dạng dao động riêng

Để xác định chính xác dạng dao động riêng của kết cấu cần sử dụng nhiều đầu đo rung động đặt tại các vị trí khác nhau. Do chỉ sử dụng 02 đầu đo gia tốc nên cần tiến hành nhiều lần đo, trong các lần đo cố định 01 đầu đo để làm chuẩn và tiến hành dịch chuyển đầu đo còn lại đặt tại các vị trí khác nhau.

Qua các lần đo xác định biên độ dao động tại các vị trí và tiến hành chuẩn hóa và xác định dạng dao động riêng của kết cấu.

Tiến hành tổ hợp các biên độ của cùng dạng dao động riêng và vẽ theo tỷ lệ ta được dạng dao động riêng như sau:



Hình 6. Dạng dao động riêng của dầm

Hình 6 là kết quả nhận dạng dạng dao động riêng bằng phương pháp phân tách miền tần số FDD thuộc nhóm phương pháp OMA cho thấy các dạng dao động riêng phù hợp với dạng dao động riêng khi tính toán theo lý thuyết.

Kết quả nhận dạng tần số dao động riêng, dạng dao động riêng bằng phương pháp phân tách miền tần số phù hợp với tần số dao động riêng, dang dao động riêng thu được bằng phương pháp kích động cưỡng bức và tính toán theo lý thuyết, có sai số nhỏ. Điều này cho thấy độ tin cậy của phương pháp thí nghiệm và phương pháp nhận dạng.

4.4. Kết quả nhận dạng tỉ số cản

Từ các đỉnh nhận dạng tần số dao động riêng, tiến hành biến đổi Fourier ngược từ miền tần số sang miền thời gian để tiến hành nhận dạng tỉ số cản. Dựa vào độ suy giảm loga của tín hiệu để xác định tỉ số cản theo công thức (12). Kết quả tín hiện trên miền thời gian như sau:



Hình 5. Sự suy giảm dao động trong miền thời gian

Kết quả nhận dạng tỉ số cản như sau:

STT	Mada	Tỉ số cản (%)				
SII Would	FDD	Theo EMA [6]	Sai số (%)			
1	Mode 1	1.211	0.779	35,67		
2	Mode 2	0.877	0.523	40,36		
3	Mode 3	0.360	0.603	67,50		
4	Mode 4	0.288	0.283	1,74		

Bảng 3. Kết quả nhận dạng tỉ số cản của dầm thép

Bảng 3 là kết quả nhận dạng tỉ số cản của kết cấu dầm thép bằng phương pháp phân tách miền tần số FDD thuộc nhóm phương pháp OMA. Bằng phương pháp chỉ sử dụng đầu ra là gia tốc của kết cấu có thể nhận dạng được tỉ số cản tuy nhiênkết quả nhận dạng có sai số

lớn so với phương pháp sử dụng đầu vào và đầu ra để nhận dạng tỉ số cản và sai số lớn so với công thức lý thuyết. Độ chính xác của việc nhận dạngtỉ số cản bằng phương pháp FDD phụ thuộc vào nhiều yếu tố như độ dài của tín hiệu đầu vào, nhiễu tín hiệu, phương pháp ước lượng phổ tín hiệu... do vậy việc kiểm soát độ chính xác của tín hiệu là vấn đề phức tạp.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày nội dung thí nghiệm đo dao động của kết cấu dầm thép và sử dụng phương pháp phân tách miền tần số (FDD) để nhận dạng các đặc trưng động lực học của kết cấu như tần số dao động riêng, dạng dao động riêng và tỉ số cản.

Việc nhận dạng các đặc trưng dao động của kết cấu bằng phương pháp chỉ sử dụng đầu ra là phản ứng của kết cấu có ý nghĩa thực tiễn và kinh tế đối với nghiên cứu nhận dạng các công trình thực tế do việc đo đạc các yếu tố đầu vào tác động lên kết cấu thực là phức tạp và rất khó thực hiện.

Tần số dao động riêng, dạng dao động riêng có thể nhận dạng cho kết quả chính xác tuy nhiên tỉ số cản có độ nhạy cao, phụ thuộc vào tín hiệu và việc xử lý tín hiệu. Cần nghiên cứu và phân tích sự ảnh hưởng của việc phân tích, xử lý tín hiệu đến kết quả nhận dạng tỉ số cản để kiểm soát tốt khi nhận dạng.

Tài liệu tham khảo

- [1].Brincker R., Zhang L., Andersen P. (2001), Modal identification of output only systems using frequency domain decomposition, *Smart Mater. Struct*.10, 441–445.
- [2].Brincker R., Zhang L., Andersen P. (2001), Modal identification of output only systems using frequency domain decomposition, *Smart Mater. Struct.* 10, 441–445.
- [3].Brincker, R., Ventura, C. E., & Andersen, P. (2001). Damping estimation by frequency domain decomposition. In *Proceedings of IMAC 19:* A conference on structural dynamics: Februar 5 - 8, 2001, Hyatt Orlando, Kissimmee, Florida, 2001 (pp. 698 - 703). *Society for Experimental Mechanics*.
- [4].Brincker R., Ventura C: Introduction to Operational Modal Analysis, 1st edn. Wiley, New York. 2015.
- [5]. Vũ Đình Hương, Lê Anh Tuấn (2014), "Nhận dạng ma trận cản nhớt từ hệ số cản nội ma sát phi đàn hồi của kết cấu", *Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc*, Kỷ niệm 35 năm thành lập Viện Cơ học, Tập 2, tr. 241 246.
- [6]. Vũ Đình Hương (2022), Thực nghiệm nhận dạng ma trận cản nhớt Caughey và Rayleigh của kết cấu dầm thép, *Tạp chí KHCN Xây dựng*- số 2/2022, tr 12 - 20.
- [7].Zhang, L., Brincker, R. and Andersen, P.: An overview of operational modal analysis: Major developments and issues. *In Proceedings of the 1st. Int Operational Modal Analysis Conference* (IOMAC), Apr. 26 - 27, Copen - hagen, 2005.
- [8]. Ewins, D.J.: Modal testing, theory practice and application. 2nd edition. *Research Studies Press Ltd.*, 2000.
- [9].Gade S., Møller N. B., Herlufsen H., Konstantin Hansen H. Frequency domain techniques for operational modal analysis. Proceedings of the 1st International Operational Modal Analysis Conference, *Copenhagen, Denmark*, 2005, p. 261 - 271.

[10]. Zhang L., Tamura Y. Damping estimation of engineering structures with ambient response measurements. *Proceedings of the 21st International Modal Analysis Conference, Kissimmee, Florida*, 2003.

[11]. L. M. Hee, A Hasan, M. Danial, et al. "Enhanced frequency domain decomposition algorithm: a review of a recent development for unbiased damping ratio estimates." *Journal of Vibroengineering* 20.5 (2018): 1919 - 1936.

Experimental Identification of Dynamic Characteristics of Steel Beam Structures Using Frequency Domain Decomposition Method

Abstract:Natural frequency, mode shape and damping ratio are important dynamic characteristics of building structures and can be determined by analytical or experimental methods. The natural frequency and mode shape can be accurately determined by dynamic tests on structures, while determining the damping ratio is often more complicated and the error is difficult to control. Calculating the damping ratio becomes extremely important in structural dynamics because the damping ratio is one of the important parameters of resonance. This article presents a theoretical and experimental method to identify the dynamic characteristics of steel beam structures, which expands the identification of the structure's resistance ratio using the frequency domain decomposition (FDD) method. This method belongs to the group of Operational Model Analysis (OMA) methods, which only uses response measurement data to determine the dynamic characteristics of the structure (natural frequency, mode shape, damping ratio). *Keywords: Natural frequency, mode shape, damping ratio, OMA, FDD.*

Nghiên cứu hiệu quả giảm chấn cho kết cấu công trình sử dụng hệ cản FVD Nguyễn Văn Dũng¹, Phạm Thanh Bình¹

¹Viện Kỹ thuật Công trình đặc biệt; Học viện Kỹ thuật quân sự Email: Vandung.cd.k47@gmail.com

Tóm tắt

Kể từ khi xuất hiện những tòa nhà nhiều tầng hiện đại đầu tiên, bên cạnh yêu cầu đảm bảo khả năng chịu lực, một số vấn đề cấp thiết nhất mà người kỹ sư phải đối mặt là làm thế nào để thiết kế kết cấu đảm bảo các yêu cầu sử dụng bình thường như: chuyển vị, lực cất trong giới hạn cho phép. Có nhiều phương pháp để giảm phản ứng này của kết cấu dưới tác dụng của tải trọng ngang. Trong đó sử dụng bộ cản nhớt chất lỏng (fluid viscous damper - FVD) là một trong những thiết bị được ứng dụng nhiều nhất vì tính đơn giản của nó. Bài báo trình bày việc kiểm tra kết cấu nhà bê tông cốt thép 8 tầng chịu tải trọng động đất. Hệ thống FVD được mô phỏng trong Etabs với các đặc trưng dạng liên kết Link. Trong mỗi tầng, bốn bộ giảm chấn được đặt ở mỗi hướng của mặt bằng, với hai bộ giảm chấn đối xứng qua trục đi qua trọng tâm của mặt bằng. Phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian được thực hiện để nghiên cứu kết cấu chịu tải trọng động đất. Hiệu quả của hệ thống FVD được xác định bởi các phản ứng động của công trình như chuyển vị đỉnh công trình, lực cất nền, chuyển vị lệch tầng. Kết quả cho thấy, tất cả các đặc tính đáp ứng động của kết cấu đều bị giảm đáng kể khi sử dụng FVD.

Từ khóa: Bộ cản nhớt chất lỏng (FVD); Phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian.

1. Mở đầu

Trong cuộc sống hiện đại, với thế mạnh về kinh tế, khoa học, công nghệ, đặc biệt là khoa học xây dựng dân dụng, có những vấn đề bức xúc đặt ra ở các đô thị lớn. Đó là mật độ lao động cao.Điều này đòi hỏi việc xây dựng các tòa nhà cao tầng, chịu nhiều tải trọng và tác động. Trong số các tải trọng này, động đất là ngẫu nhiên, khó dự đoán trước và rất nguy hiểm đối với con người. Đã có nhiều thảm họa động đất gây ra thiệt hại lớn về người và hư hại nặng nề cho nhiều công trình. Chủ đề quan trọng và thiết thực của kỹ thuật thiết kế kết cấu là tìm cách giảm thiểu tổn thất. Phương pháp truyền thống là thay đổi độ cứng của hệ kết cấu. Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp không phải là cách hiệu quả nhất.

Một trong những phương pháp thiết thực và hiệu quả hơn là sử dụng thiết bị giảm chấn trong kết cấu để tăng hệ số giảm chấn lên tới 30%. Đây là cách tiếp cận được gọi là "tiêu tán năng lượng". Theo đó, năng lượng gây ra bởi tác động động đất được hấp thụ, tiêu tán bởi các thành phần, giúp giảm thiểu lượng tác động lên kết cấu công trình.

Mối quan hệ năng lượng được thể hiện bằng công thức sau:

 $E(t) = E_k(t) + E_s(t) + E_h(t) + E_d(t)$

(1)

trong đó:

E(t): Năng lượng động đất;

 $E_k(t)$: Động năng;

 $E_s(t)$: Năng lượng biến dạng đàn hồi;

 $E_h(t)$: Năng lượng bị tiêu tán bởi hệ kết cấu thông qua tính nhớt;

 $E_d(t)$: Năng lượng bị tiêu tán bởi bộ giảm chấn;

Trong kỹ thuật kháng chấn, cách phổ biến là sử dụng các thiết bị có đặc tính giảm chấn để thay đổi E_d . Vì vậy, năng lượng địa chấn lớn có thể được các thiết bị này hấp thụ. Trong tài

liệu [3], Alberto Lago và cộng sự đã liệt kê tất cả các ứng dụng đang được phát triển để giải quyết vấn đề hấp thụ năng lượng. Chúng có khả năng điều khiển chủ động, thụ động, bán chủ động và lai. Trong số các hệ kháng chấn thụ động bộ giảm chấn nhớt chất lỏng (fluid viscous damper - FVD) là một trong những thiết bị được ứng dụng nhiều nhất vì tính đơn giản của nó.

Phản ứng động của kết cấu với hệ thống FVD thực hiện nhằm các mục đích sau:

- Xác định ảnh hưởng của FVD đến các dạng dao động riêng;

- Kiểm tra phản ứng của kết cấu dưới tải trọng động đất thông qua các chỉ số: lực cắt dưới móng, chuyển vị.

2. Giới thiệu về giảm chấn nhớt chất lỏng

Bộ giảm chấn nhớt chất lỏng lần đầu tiên được áp dụng trong ngành hàng không vũ trụ cho mục đích quân sự. Trong kỹ thuật kết cấu, chúng được giới thiệu vào cuối những năm 1980. Nó có thể được tích hợp vào tòa nhà xây mới hoặc tòa nhà cải tạo. Nguyên lý hoạt động của FVD là cung cấp lực cản thông qua chuyển động. Chúng hầu như không làm thay đổi bất kỳ độ cứng nào của kết cấu và không mang bất kỳ tải trọng tĩnh nào. Thiết bị FVD là thiết bị phụ thuộc vào vận tốc (xem công thức 2). Nó bao gồm một piston,chuyển động qua lại trong chất lỏng nhớt để tạo ra áp suất cao [12].

Hiệu suất FVD được đặc trưng bởi mối quan hệ này:

$$F = CV^{\alpha} \tag{2}$$

trong đó:

F: Lực giảm chấn;
C: Hệ số giảm chấn;
V: Vận tốc tương đối;
α : Số mũ vân tốc



Hình 1. Bộ giảm chấn nhớt chất lỏng Taylor [12]

Khi số mũ vận tốc giảm thì hiệu suất giảm chấn tăng. Giá trị từ 0,3đến 0,9 là thường dùng trong xây dựng. Ngay từ khi bắt đầu thiết kế tiêu chuẩn được chọn là 0,5. Như đã nêu trên, bộ giảm chấn phi tuyến với $\alpha < 1$ cung cấp lực giảm chấn tốt hơn các loại khác có $\alpha = 1$ tuyến tính và $\alpha > 1$, hiếm khi được sử dụng.

FVD có thể được mô hình hóa trong phần mềm Etabs bằng cách đưa ra một liên kết cản hàm mũ. FVD được nối từ nút này đến nút khác theo hướng chéo trong phạm vi chiều cao của tầng.

3. Mô hình số và thảo luận

Để hiểu rõ hơn về hiệu quả của hệ thống FVD (Hình 2), tác giả đã kiểm tra kết cấu khung bê tông cốt thép 8 tầng chịu tải trọng động đất. Việc phân tích theo lịch sử thời gian đã được tiến hành.

Kết cấu được mô hình hóa với các số liệu sau: tất cả các cột có tiết diện 80x80cm, tất cả các dầm có tiết diện 30x70cm; bê tông cấp cường độ B25; Cản của kết cấu là $\xi = 0.05$. Tác động của động đất được áp dụng cho kết cấu theo cả hai hướng. FVD được cung cấp trong mỗi trường hợp theo hai hướng. Trong mỗi tầng, bốn bộ giảm chấn được đặt ở mỗi hướng, với hai bộ giảm chấn ở mỗi bên tâm cứng của tầng theo hướng xét. FVD được coi là phi tuyến với các thông số sau:



Hình 2. Kết cấu khung bê tông cốt thép được phân tích **3.1. Hiệu quả của FVD đối với kết cấu công trình**

Chuyển vị theo phương OX và OY của kết cấu ban đầu và FVD được thể hiện trong Hình 3 và Hình 4. Giá trị chu kỳ của các dạng dao động riêng cả hai trường hợp được trình bày trong Bảng 1. Từ kết quả, có thể đánh giá rằng với FVD, các dạng dao động riêng gần như được giữ nguyên.Có thể giải thích rằng hệ FVD không ảnh hưởng đến độ cứng của kết cấu.



940



Hình 4.Dạng dao động cơ bản trong trường hợp có FVD
Bảng 1.So sánh các dạng dao động riêng trong 2 trường hợp sử dụng
và không sử dụng giảm chấn FVD

Dạng	Dao động tịnh tiến OX			Dao động tịnh tiến OY			Dao động xoắn OZ		
dao động	Không FVD	Có FVD	Tỷ lệ	Không FVD	Có FVD	Tỷ lệ	Không FVD	Có FVD	Tỷ lệ
	(s)	(s)	(%)	(s)	(s)	(%)	(s)	(s)	(%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	0.39	0.391	0.25	0.691	0.693	0.28	0.635	0.638	0.47
2	0.097	0.097	0	0.177	0.178	0.56	0.39	0.391	0.25
3	0.058	0.059	1.72	0.084	0.084	0.00	0.118	0.119	0.84
4	0.047	0.047	0	0.054	0.054	0.00	0.079	0.08	1.26

3.2. Lực cắt (chân cột) và chuyển vị

Hiệu quả của hệ thống FVD cũng được đánh giá bằng cách xem xét các biểu đồ lực cắt nền và chuyển vị của nút 1 trên đỉnh kết cấu không có FVD và có FVD theo cả 2 hướng OX và OY. Các kết quả được trình bày trên Hình 5 - Hình 8 tương ứng. Có thể thấy rằng, việc sử dụng FVD đã giảm lực cắt đáy FX xuống 77.8% từ 4831kN xuống 1071kN (Hình 5), lực cắt đáy FY giảm 77.5% từ 7407kN xuống 1661kN (Hình 6). Chuyển vị đỉnh UX đã giảm 64,9% từ 13,13mm xuống 4,6mm (Hình 7), chuyển vị đỉnh UY - giảm 62% từ 28,5mm xuống 10,8mm (Hình 8).









Hình 7: Chuyển vị đỉnh UX



Hình 8: Chuyển vị đỉnh UY

3.2. Chuyển vị lệch tầng

Một trong những chỉ số quan trọng để đánh giá phản ứng của kết cấu dưới tác động động đất là chuyển vị lệch tầng. Giá trị này phải nằm trong phạm vi nhất định để đảm bảo không làm hư hỏng các thiết bị, dụng cụ của tòa nhà. Chuyển vị lệch tầng được vẽ trong Hình 9 để hiểu tác động của hệ thống FVD. Hình 9,a chỉ ra chuyển vị lệch tầng theo hướng OX và Hình 9,b - theo hướng OY. Các kết quả cũng được tổng hợp trong Bảng 2. Chuyển vị lệch tầng theo 2 phương X,Y. Kết quả cho thấy, chuyển vị lệch tầng giảm rõ rệt (phương X - 50,86%; phương Y - 74,78%) và thay đổi đồng đều hơn dọc theo chiều cao kết cấu khi sử dụng FVD.





Tầng	Chuy	ển vị lệch tầng t	heo X	Chuyển vị lệch tầng theo Y			
Tung	Không FVD	Có FVD	Tỷ lệ (%)	Không FVD	Có FVD	Tỷ lệ (%)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
8	0.000286	0.000227	20.63	0.001279	0.000328	74.35	
7	0.000315	0.000244	22.54	0.001467	0.000370	74.78	
6	0.000366	0.000259	29.23	0.001626	0.000423	73.99	
5	0.000424	0.000268	36.79	0.001745	0.000461	73.58	
4	0.000436	0.000263	39.68	0.001733	0.000458	73.57	
3	0.000434	0.000241	44.47	0.001635	0.000436	73.33	
2	0.000395	0.000195	50.63	0.001359	0.000375	72.41	
1	0.000232	0.000114	50.86	0.000721	0.000209	71.01	

4. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu động lực học kết cấu bê tông cốt thép 8 tầng chịu tải trọng động đất, đã đánh giá được hiệu quả của giảm chấn nhớt chất lỏng (FVD). Lực cắt nền và chuyển vị đỉnh giảm đáng kể. Chuyển vị lệch tầng cũng được giảm bớt nhờ bộ giảm chấn nhớt chất lỏng được cung cấp.

Tài liệu tham khảo

[1]. TCVN 9386:2012 Thiết kế công trình chịu động đất

- [2]. Nguyễn Lê Ninh, Động đất và thiết kế công trình chịu động đất. Nhà xuất bản Xây Dựng - Hà Nội - 2007
- [3]. A. Lago, D. Trabucco, A. Wood, Damping Technologies for Tall Buildings: Theory, Design Guidance and Case (CTBUH & Elsevier, 2018)
- [4]. Anil K. Chopra, Dynamics of Structures, International Edition, Prentice -Hall, 1995
- [5]. Jerome J. Connor, Introduction to Structural Motion Control, MIT, 2000
- [6]. Douglas P. Taylor, History, Design and Application of Fluid Dampers in Structural Engineering, Taylor devices inc
- [7]. Lee D, Taylor DP. Viscous damper development and future trends, Struct Des Tall Special Build 2001
- [8]. Taylor Devices, Inc. Fluid Viscous Damping as an Alternative to Base Isolation.
- [9]. D. I. Narkhede & R. Sinha. Indian Institute of Technology Bombay, Shock Vibration Control of Structures using Fluid Viscous Dampers
- [10]. A. Li, Vibration Control for Building Structures: Theory and Applications (Springer, 2020)
- [11]. Taylor Devices Inc. web page. www.taylordevices.com September (2016)
- [12]. Taylor DP, History, Design, and Applications of Fluid Dampers in StructuralEngineering Passive Structural Control Symposium, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan (2002)

Nghiên cứu tính toán kết cấu công trình ngầm dạng chữ nhật chịu tác dụng của động đất trong điều kiện địa chất tại Hà Nội

Nguyễn Xuân Hai¹

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt:

Phân tích động lực học kết cấu công trình ngầm chịu động đất cần số liệu đầu vào là giản đồ gia tốc phù hợp với điều kiện địa chấn tại khu vực đặt công trình. Khu vực thành phố Hà Nội chưa ghi nhận các trận động đất lớn nên số liệu cung cấp cho các bài toán còn hạn chế, do đó cần thiết phải sử dụng các giản đồ gia tốc nhân tạo. Trong báo cáo này tác giả sẽ khảo sát, tính toán kết cấu công trình ngầm dạng hình chữ nhật, với địa chất điển hình tại vị trí quận Ba Đình, thành phố Hà Nội bằng chương từnh Plaxis2D v ới giản đồ gia tốc nền nhân tạo phát sinh theo điều kiện khớp với phổ phản ứng đáp ứng theo tiêu chuẩn TCVN 9386 - 2012.

Từ khóa: vỏ hầm lắp ghép, giả thiết Janssen,...

1. Đặt vấn đề

Trong giai đoạn gần đây, mạng lưới giao thông công cộng đang ngày càng trở nên quan trọng trong tổng thể quy hoạch các đô thị trung tâm ở nước ta, đặc biệt là thành phố với mật độ dân cư lớn như Hà Nội. Trong đó, việc sử dụng kết cấu ngầm đóng vai trò quan trọng trong việc giảm áp lực giao thông trên mặt đất. Việc tính toán, thiết kế công trình ngầm chịu các dạng tải trọng khác nhau, đặc biệt là tác dụng của động đất sẽ quyết định việc lựa chọn giải pháp thiết kế kết cấu vỏ hầm cũng như an toàn của con người và phương tiện.

Kết cấu công trình ngầm dạng hình chữ nhật đang được sử dụng ngày một phổ biến. Tuy nhiên, các nghiên cứu tính toán dạng kết cấu này tại Việt Nam còn chưa đáng kể.

Bài báo tập trung nghiên cứu tính toán kết cấu vỏ hầm dạng hình chữ nhật chịu tác động của động đất trong môi trường đất đá khác nhau tại Hà Nội.

2. Xây d ng s tính toán k t c u công trình ng m ch u tác d ng c a ng t
2.1. Mô hình kết cấu công trình ngầm hình chữ nhật sử dụng trong bài toán
Vỏ hầm làm bằng BTCT, các thông số cơ bản được thể hiện trong Bảng 1.



Bảng 1. Bảng các tham số của kết cấu vỏ hầm

TT	Tham số	Ký hiệu		Đơn vị
1	Kích thước vỏ hầm	BxH	4,0x4,0	m
2	Mô - đun đàn hồi của bê tông vỏ hầm	Ec	3.50E+07	kN/m2
3	Hệ số Poisson của bê tông	ν	0.2	
4	Bề dày của kết cấu vỏ hầm	t	0.3	m
5	Bề rộng dải kết cấu khảo sát	b	1	m
6	Chiều sâu đặt hầm	Н	30; 26; 22	m

2.2. Phát sinh giản đồ gia tốc nhân tạo phù hợp với điều kiện tại Hà Nội

Giản đồ gia tốc tính toán: Theo nghiên cứu của tác giả Vũ Ngọc Anh thì gia tốc nền phát sinh trên nền đá cứng tương ứng với nền loại A theo TCVN 9386 - 2012, vận tốc truyền sóng cắt trung bình $v_s = 120$ m/s. Giản đồ gia tốc có phổ phản ứng khớp với phổ phản ứng mục tiêu xác định theo TCVN 9386 - 2012 với nền loại A, giá trị gia tốc nền tham chiếu theo quận Ba Đình, $a_{gR} = 0,0976$ g. Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng giản đồ gia tốc tính toán là giản đồ gia tốc nhân tạo được phát sinh ngẫu nhiên được ký hiệu là badinh01 - 03a đã được tác giả Vũ Ngọc Anh nghiên cứu. Các thông số về nguồn phát được xác định với vị trí trung tâm quận Ba Đình, đới động đất Sông Hồng - Sông Chảy bao gồm: chấn cấp M_w = 6,5; độ sâu chấn tiêu R_{hyp} = 17km; khoảng cách từ điểm khảo sát đến chấn tâm R_{rup} = 50km. Giản đồ gia tốc được thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Giản đồ gia tốc nền được tạo giả cho khu vực trung tâm Hà Nội

2.3. Các giả thiết xây dựng mô hình tính toán

Do chiều dài công trình lớn hơn nhiều các kích thước còn lại nên giả thiết hệ kết cấu môi trường làm việc theo sơ đồ biến dạng phẳng. Khi tính toán thừa nhận các giả thiết sau:

+ Hệ kết cấu và môi trường làm việc trong điều kiện của bài toán biến dạng phẳng;

+ Điều kiện biên của chu vi của miền khảo sát, hai bên trái và phải được mô tả là biên hấp thụ không phản xạ sóng;

+ Vật liệu kết cấu làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

2.4. Thiết lập mô hình bài toán trong Plaxis 2D

Mô hình bài toán phẳng chịu tác động của tải trọng động đất của hệ kết cấu hầm – nền đất. Chiều cao của miền tính toán được định là khoảng cách từ mặt đất đến nền đất đá gốc (bedrock). Theo hồ sơ khảo sát độ sâu lớp đất đá gốc đưa vào tính toán là 60m. Bề rộng của miền khảo sát được xác định để đảm bảo khoảng cách từ đường hầm đến hai phía trong khoảng 10D đến 15D, trong ví dụ chiều rộng miền khảo sát là 130m.

- Thiết lập điều kiện biên: Sử dụng điều kiện biên chuẩn của Plaxis. Miền tính toán cần thỏa mãn điều kiện "biên hấp thụ" và được thiết lập tự động trong phần mềm Plaxis với hai chế độ "Load\Standard absorbent boundaries" cho "biên hấp thụ" và "Load\Standard earthquake boundaries".

- Thiết lập Tham số mô hình đất: Trong bài báo chúng ta khảo sát đối với 4 loại đất sét mềm, sét trung bình, sét cứng và sét rất cứng. Sử dụng phần tử tam giác 15 nút, mô hình Linear elastic, các thông số cơ bản được thể hiện trong Bảng 2.

Loại đất	Dung trọng của các lớp đất, ρ (kN/m³)	Modun đàn hồi của các lớp đất, E (kN/m2)	Hệ số poisson, μ
Sét mềm	20	2.00E+04	0.3
Sét trung bình	20	3.50E+04	0.3
Sét cứng	20	5.39E+04	0.3
Sét rất cứng	20	6.50E+04	0.3

Bảng 2. Các tham số của các lớp đất

Trong bài báo, tác giả sẽ tiếp tục sử dụng hệ phương trình tương quan này để xây dựng thuật toán và chương trình phát giả gia tốc nền, làm cơ sở để thực hiện các tính toán, khảo sát sau này.

- Thiết lập dữ liệu giản đồ gia tốc tính toán: Với bài toán phân tích công trình chịu tác dụng của động đất có thể lựa chọn file *.smc hoặc sử dụng các tệp dữ liệu dạng *.txt, *.dat... được ghi theo định dạng ASCII, bao gồm 2 cột, thời gian và giá trị gia tốc. Các bước thiết lập được thể hiện trong Hình 2, lần lượt theo các bước như sau:

- Chọn mục "Mdisp multiplier" trong phần thiết lập tải trọng.
- Lựa chọn mục "Load multiplier from data file".
- Chọn tệp dữ liệu giản đồ gia tốc tính toán.



Hình 2. Khai báo giản đồ gia tốc tính toán phân tích động lực học công trình ngầm chịu động đất với phần mềm Plaxis2D.

- Xây dựng mô hình trên Plaxis 2D: Với các thông số mô hình vật liệu vỏ hầm, đất đá, mô hình tính toán được xây dựng như trên Hình 3, khảo sát với 3 mô hình tâm đường hầm đặt ở độ sâu 30m, 26m, 24m tính từ mặt đất.





3. Khảo sát ví dụ số

Thực hiện tính toán bằng chương tình Plaxis 2D với thông số nền đất (E) thay đổi và chiều sâu đặt hầm (H) thay đổi thu được giá trị nội lực cực đại xuất hiện trong kết cấu vỏ hầm thể hiện như trong Bảng 3. Phân bố nội lực trong kết cấu vỏ hầm tại thời điểm nội lực đạt cực đại được thể hiện trên các hình vẽ 4, 5, 6.

	N _{max} (kN)			Q _{max} (kN)			M _{max} (kNm)		
Loại đất	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
	30m	26m	22m	30m	26m	22m	30m	26m	22m
Sét mềm	652,2	575,2	498,1	650,1	573,4	496,7	327,3	288,8	250,3
Sét TB	637,0	561,8	486,7	633,3	558,7	484,0	318,6	281,1	243,6
Sét cứng	620,5	547,5	474,3	615,4	542,9	470,5	308,5	272,1	235,8
Sét rất cứng	612,1	540,0	467,9	606,1	534,8	463,4	302,7	267,1	231,5

		,			
D ?	2	TZ ^ /	2	11	
Rana	<u>۲</u>	K Of	ana	tinn	toan
Dung	J.	nci	guu	iiiiii	ioun
			1		



Hình 4. Biểu đồ quan hệ giữa modun đàn hồi của đất và lực dọc của vỏ hầm



Hình 5. Biểu đồ quan hệ giữa modun đàn hồi của đất và lực cắt của vỏ hầm



Hình 6. Biểu đồ quan hệ giữa modun đàn hồi của đất và mô men của vỏ hầm

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đánh giá ảnh hưởng của mô hình đất tính toán kết cấu công trình ngầm khi chịu tác dụng của động đất. Qua tính toán có thể thấy mô đun đàn hồi và chiều sâu đặt hầm có ảnh hưởng đáng kể đến sự làm việc của kết cấu công trình ngầm hình chữ nhật, các đánh giá cụ thể cần có những nghiên cứu định lượng kỹ lưỡng hơn.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Đỗ Ngọc Anh (2016), Mô phỏng số kết cấu chống lắp ghép trong công trình ngầm chịu tải trọng động đất, *Tuyển tập các công trình khoa học kỷ niệm 50 năm thành lập Bộ môn "Xây dựng Công trình ngầm và Mỏ"*. ISBN: 978 - 604 - 913 - 445 - 6.
- [2]. Lê Bảo Quốc, 2015, "Tính toán công trình ngầm đô thị chịu động đất, Luận án tiến sỹ kỹ thuật", Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội.
- [3]. Brinkgreve R.B.J. and Broere W. (2006), Plaxis manual version 8, Delft University of technology & Plaxis, The Netherlands.
- [4]. Hashash, Y.M., Hook, J.J., Schimidt, B., &Yao, J.I. (2001), Seismic design and analysis of underground structures, *Tunneling and Underground Space Technology*, 247 - 293.
- [5]. ITA WG research (2000), Guidelines for the design of shield tunnel lining, *Tunnelling and underground space technology*, Vol.15.

950

- [6]. Janssen, P., 1983. Tragverhalten von Tunnelausbauten mit Gelenktübbings, Load carrying behavior of segmented tunnel linings, (Ph.D. thesis). *Technische Universität Carolo Wilhelmina zu Braunschweig, Braunschweig*, (in German).
- [7]. St. John, C.M., Zahrah, (1987), A seismic design of underground structures, *Tunneling Underground Space Technol.* 2 (2), 165 - 197.
- [8]. Kontoe, S., Zdravkovic, L., Potts, D.M. and Menkiti, C.O. (2008). "Case study on seismic tunnel response". *Canadian Geotechnical Journal*, 45: 1743 1764.
- [9]. Kramer S.L. (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- [10]. Yamamoto, 2011, Stochannstic model for earthquake ground motion using Wavelet packets, PhD thesis, Stanford University.
- [11]. Youssef M.A. Hashash, Jeffrey J. Hook, Birger Schmidt, John I Chiang Yao (2001), Seismic design and analysis of underground structures, *Tunnelling and Underground Space Technology* 16, 247 – 293.
- [12]. Vietnamese National Standard TCVN 9386: 2012.

R esearch and Calculation of Structures of R ectangular Underground Works Suffering to Earthquakes Under Geological Conditions in Hanoi

Abstract:

The dynamic analysis of underground structure subjected to seismic effects requires input data, including appropriate acceleration spectra corresponding to the seismic conditions at the construction site. The Hanoi area has not experienced significant earthquakes, resulting in limited data availability for such analyses. Therefore, it is necessary to utilize artificial acceleration spectra. In this report, the author investigates and computes the structural design of underground rectangular structures under typical geological conditions in the Ba Dinh district of Hanoi city using the Plaxis2D software with artificial acceleration spectra generated to match response spectra according to TCVN 9386-2012 standard.

Keywords: modular tunnel lining, Janssen assumption, ...

Nghiên cứu đề xuất giải pháp giảm bụi tại khu Xuân Phương - Học viện Kỹ thuật quân sự

Nguyễn Vũ Hùng

Học viện KTQS Email:nguyenvuhung262@gmail.com

Tóm tắt

Bụi PM2,5 và PM10 là một trong những tác nhân ô nhiễm không khí ảnh hưởng lớn tới sức khỏe con người. Bài báo sử dụng dữ liệu đo bụi PM2,5 và PM10 tại thực địa bằng máy đo DustTrak II. Tiến hành phân tích đánh giá và so sánh với QCVN 05:2013/BTNMT để đưa ra kết luận và giải pháp.

Từ khóa: PM 2,5, PM10, Ô nhiễm không khí, DustTrak II, QCVN 05:2013/BTNMT.

1. Đặt vấn đề

Hà Nội hiện đang trong giai đoạn ô nhiễm không khí nhất trong năm. Chỉ số chất lượng không khí (gọi tắt là AQI) tại Thủ đô Hà Nội suốt từ đầu tháng 10 đến nay có tới 10 ngày ở mức kém. Thậm chí ngày 29/11, chất lượng không khí còn ở mức nguy hiểm. Nồng độ bụi mịn lên tới 344, có hại cho sức khỏe của mọi người, nhất là nhóm người nhạy cảm, mắc các bệnh về hô hấp, người già và trẻ nhỏ. Đây chỉ là con số tính trung bình trên toàn thành phố Hà Nội.



Các nghiên cứu đã chỉ ra 57% khí thải từ hoạt động giao thông là nguyên nhân chính gây ra các loại bụi siêu mịn, tiếp đến là hoạt động xây dựng (chiếm 32%), 10% còn lại đến từ hoạt động sản xuất công nghiệp.



Hình 1. Thành phần các hoạt động gây ra ô nhiễm bụi

Còn xét theo khu vực, có những ngày, tình trạng ô nhiễm không khí ở trung tâm thành phố Hà Nội đã lên mức rất xấu với nồng độ bụi mịn nhiều trạm vượt con số 300 ở mức cảnh báo nguy hại cao nhất tới sức khỏe.

Tác hại của bụi

+ Bụi < 0,1μm: không ở lại trong phế nang;

- + Bụi $0,1 \div 5\mu$ m: ở lại phổi từ $80 \div 90\%$;
- + Bụi 5 ÷ 10μm: vào phổi nhưng được phổi đào thải ra;
- + Bụi > 10 μ m: thường đọng lại ở mũi.



Hình 2. Ảnh hưởng của ô nhiễm bụi tới sức khỏe con người

2. Khu vực nghiên cứu, khảo sát

Khu Xuân Phương- Học viện Kỹ thuật Quân sự thuộc phường Phương Canh- Nam Từ Liêm- Hà Nội. Nằm trong phố Kiều Mai nơi có mật độ dân cư và giao thông tương đối cao, tập trung nhiều trường học từ cấp mầm non đến trung học phổ thông.



Hình 3. Hình ảnh vệ tinh khu vực khảo sát

Ngoài ra còn đang xây dựng các công trình, đặc biệt có là công trình Bệnh viện Hạnh Phúc với quy mô lớn nên ảnh hưởng của quá trình thi công tới hoạt động thường ngày tương đối lớn, nhất là nồng độ bụi trong không khí tăng cao.

3. Máy thí nghiệm đo

Máy đo nồng độ bụi DustTrak II 8532; Hãng sản xuất: TSI – Mỹ



DustTrak[™] II 8532 là máy đo quang sử dụng laser tán xạ, lưu trữ dữ liệu, cầm tay và vận hành bằng pin. Máy cho số đọc nồng độ bụi theo thời gian thực. Máy sử dụng hệ thống luồng khí có bảo vệ cách ly bụi với buồng quang học, giữ cho hệ quang sạch, nâng cao độ tin cậy và ít phải bảo trì. Máy thích hợp đo trong công trường xây dựng, môi trường và các ứng dụng đo ngoài trời khác. DustTrak II đo ô nhiễm hạt không khí như bụi, khói, và sương mù.

Đặc điểm và lợi ích DustTrak II 8532:

- + Đo nồng độ bụi tương ứng phần cỡ hạt PM1, PM2.5, bụi hô hấp, hay PM10;
- + Khối lượng nhẹ và cầm tay;
- + Chức năng lưu trữ dữ liệu bằng tay và lập trình tự động;
- + Khả năng lưu trữ dữ liệu điểm đơn;
- + Thang nồng độ bụi 0.001 to 150mg/m³;
- + Điều chỉnh được các cài đặt chuẩn máy theo ý muốn.

4. Dữ liệu đo

Việc thu thập dữ liệu đo được tiến hành bằng máy đo bụi DustTrak II-Model 8532. Dữ liệu đo được sẽ trích xuất bằng phần mềm Trakpro của hãng.

4.1. Các vị trí đo tháng 11/2023



Hình 4. Vị trí đo khi công trường đang xây dựng tháng 11/2023

Điểm đo	$PM_{2,5} (\mu g/m^3)$	$PM_{10} (\mu g/m^3)$
Lần 1		438
Lần 2		390
Lần 3		404
Lần 4	345	
Lần 5	372	
Lần 6	340	


Hình 5. Vị trí đo khi công trường đang xây dựng tháng 3/2024

Điểm đo	PM _{2,5} (μg/m ³)	$PM_{2,5}(\mu g/m^3)$
Diem do	Ngày 12/3/2024	Ngày 13/3/2024
Điểm 1	78	71.6
Điểm 2	77.5	75.6
Điểm 3	76.3	75.9
Điểm 4	82.3	76.5
Điểm 5	86.4	77.6
Điểm 6	87.6	78.2
Điểm 7	89.9	83.2
Điểm 8	91.8	83.8
Điểm 9	90.9	86.4
Điểm 10	90.5	84.9

5. Phương pháp nghiên cứu

5.1. Đánh giá so sánh với Quy chuẩn Việt Nam QCVN 05:2013/BTNMT

Bụi PM_{10} là các hạt bụi có đường kính khí động học nhỏ hơn hoặc bằng $10\mu m$. Bụi $PM_{2,5}$ là các hạt bụi có đường kính khí động học nhỏ hơn hoặc bằng $2,5\mu m$.

Bảng 2: Giá trị giới hạn tối đa các thông số cơ bản trong không khí xung quanh

Đơn vị: $\mu g/m^3$

TT	Thông số	Trung bình 1 giờ	Trung bình 24 giờ
1	Bui PM ₁₀	-	150

TT	Thông số	Trung bình 1 giờ	Trung bình 24 giờ
2	Bụi PM _{2,5}	-	50
3	Tổng bụi lơ lửng (TSP)	300	200

5.2. Tính toán chỉ số chất lượng không khí Việt Nam (VN_AQI)

Chỉ số chất lượng không khí Việt Nam (viết tắt là VN_AQI) theo hướng dẫn số 1459/QĐ-TCMT ngày 12/11/2019 là chỉ số được tính toán từ các thông số quan trắc các chất ô nhiễm trong không khí ở Việt Nam, nhằm cho biết tình trạng chất lượng không khí và mức độ ảnh hưởng đến sức khỏe con người, được biểu diễn qua một thang điểm.

- AQI ngày (AQI^d) là giá trị AQI đại diện cho chất lượng không khí trong 1 ngày.

- AQI giờ (AQI^h) là giá trị AQI đại diện cho chất lượng không khí trong 1 giờ.

 Giá trị Nowcast là giá trị trung bình có trọng số được tính toán từ 12 giá trị trung bình 1 giờ gần nhất so với thời điểm tính toán. Giá trị Nowcast được tính toán cho thông số PM10 và PM2.5.

Tính toán giá trị AQI giờ (AQI^h)

a. Tính giá trị Nowcast đối với thông số PM2.5 và PM10

Gọi c_1 , c_2 , ... c_{12} là 12 giá trị quan trắc trung bình 1 giờ (với c_1 là giá trị quan trắc trung bình 1 giờ hiện tại, c_{12} là giá trị quan trắc trung bình 1 giờ cách 12 giờ so với hiện tại).

Tính giá trị trọng số: $w^* = \frac{C_{\min}}{C_{\max}}$

Trong đó:

 C_{min} là giá trị nhỏ nhất trong số 12 giá trị trung bình 1 giờ C_{max} là giá trị lớn nhất trong số 12 giá trị trung bình 1 giờ

Nếu
$$w^* \le \frac{1}{2}$$
 Thì lấy $w = \frac{1}{2}$
Nếu $w^* > \frac{1}{2}$ Thì lấy $w = w^*$

Trong trường hợp
$$w > \frac{1}{2}$$
 thì giá trị $Nowcast = \frac{\sum_{i=1}^{i=1} w^{i-1}c}{\sum_{i=1}^{12} w^{i-1}}$

Trong trường hợp $w = \frac{1}{2}$ thì Nowcast $= \frac{1}{2}c_1 + (\frac{1}{2})^2c_2 + \dots + (\frac{1}{2})^{12}c_{12}$

12

i=1

b. Tính giá trị AQI^h của từng thông số (AQIx)

Giá trị AQI^h của các thông số PM₁₀, PM_{2.5} được tính toán theo công thức:

$$AQI_{x} = \frac{I_{i+1} - I_{i}}{BP_{i+1} - BP_{i}} (Nowcast_{x} - BP_{i}) + I_{i}$$

Trong đó:

- AQI_x: Giá trị AQI thông số của thông số x;

- BP_i: Nồng độ giới hạn dưới của giá trị thông số quan trắc được quy định trong Bảng 3 tương ứng với mức I;

- BP_{i+1} : Nồng độ giới hạn trên của giá trị thông số quan trắc được quy định trong Bảng 3 tương ứng với mức i+1;

- I_i: Giá trị AQI ở mức i đã cho trong bảng tương ứng với giá trị *BP*i;

- I_{i+1} : Giá trị AQI ở mức i+1 cho trong bảng tương ứng với giá trị BPi₊₁;

- Cx: Giá trị quan trắc trung bình 1 giờ của thông số x. Nowcastx: Giá trị Nowcast được tính toán ở phần a.

;	T.	Giá trị BP _i quy định đối với từng thông số ($Don v_i: \mu g/m^3$)						
1		O3(1h)	O3(8h)	СО	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM2.5
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	50	160	100	10.000	125	100	50	25
3	100	200	120	30.000	350	200	150	50
4	150	300	170	45.000	550	700	250	80
5	200	400	210	60.000	800	1.200	350	150
6	300	800	400	90.000	1.600	2.350	420	250
7	400	1.000	-	120.000	2.100	3.100	500	350
8	500	≥1.200	-	≥150.000	≥2.630	≥3.850	≥600	≥500

Bảng 3: Các giá trị BP_i đối với các thông số

5.3. Kết quả tính toán

Dựa vào kết quả đo và phương pháp tính toán ta sẽ có kết quả như sau:

5.3.1. Kết quả đo lần 1 tháng 11/2023

a. Với bụi PM2,5

Tính giá trị w^{*}:

$$w^* = \frac{c_{\min}}{c_{\max}} = \frac{340}{372} = 0,91$$

Do w^{*}=0,91> 0,5 nên lấy w= w^{*}=0,91.

Nowcast =
$$\frac{0.91^{\circ} \times 340 + 0.91^{\circ} \times 372 + 0.91^{\circ} \times 345}{0.91^{\circ} + 0.91^{\circ} + 0.91^{\circ} + 0.91^{\circ}} = 351.9(\mu g / m^3)$$

$$AQI_{PM2,5} = \frac{400 - 300}{350 - 250}(351, 9 - 250) + 300 = 401,9$$

b. Với bụi PM10

Tính giá trị w^{*}:

$$w^* = \frac{c_{\min}}{c_{\max}} = \frac{390}{438} = 0,89$$

Do $w^* = 0.89 > 0.5$ nên lấy $w = w^* = 0.89$.

Nowcast =
$$\frac{0,89^{\circ} \times 404 + 0,89^{\circ} \times 390 + 0,89^{\circ} \times 438}{0,89^{\circ} + 0,89^{\circ} + 0,89^{\circ} + 0,89^{\circ}} = 409,7(\mu g / m^{3})$$

$$AQI_{PM10} = \frac{500 - 400}{500 - 350} (409, 7 - 350) + 400 = 439, 6$$

TT	PM _{2,5} (µg/m ³)	Nowcast (PM _{2,5})($\mu g/m^3$)	AQI _{PM2.5}
1	345		
2	372	351,9	401,9
3	340		

Bång 5. Giá trị AQIPM10

TT	$PM_{10} (\mu g/m^3)$	Nowcast (PM ₁₀)($\mu g/m^3$)	AQI _{PM10}
1	438		
2	390	409,7	439,6
3	404		

5.3.2. Kết quả đo lần 1 tháng 3/2024

a. Với bụi PM2,5 ngày 12/3/2024:

Tính giá trị w^{*}:

$$w^* = \frac{c_{\min}}{c_{\max}} = \frac{76.3}{91.8} = 0.83$$

Do $w^* = 0.83 > 0.5$ nên lấy $w = w^* = 0.83$.

Nowcast = $82, 3(\mu g / m^3)$

$$AQI_{PM2,5} = \frac{100 - 50}{50 - 25}(82, 3 - 25) + 50 = 164, 6$$

b. Với bụi PM2,5 ngày 13/3/2024:

Tính giá trị w^{*}:

$$w^* = \frac{c_{\min}}{c_{\max}} = \frac{71.6}{86.4} = 0.83$$

Do w^{*} = 0,83 > 0,5 nên lấy w = w^{*} = 0,83. Nowcast = 77,1($\mu g / m^3$) 100 - 50

$$AQI_{PM10} = \frac{100 - 50}{50 - 25}(77, 1 - 25) + 50 = 154, 2$$

Bång 6.	Giá t	trị A	QI _{PM2.5}
---------	-------	-------	---------------------

ТТ	Ngày đo	Nowcast (PM _{2,5})($\mu g/m^3$)	AQI _{PM2,5}
1	Ngày 12/3/2024	82,3	164,2
2	Ngày 13/3/2024	77,1	154,2

6. Kết luận

Dựa vào kết quả tính toán, ta sẽ so sánh chỉ số AQI tính toán với bảng khuyến cáo của WHO. Nhận thấy với giá trị AQI nằm trong mức xấu.

Nguyên nhân:

- Mật độ giao thông cao do tập trung nhiều trường mầm non, trung học cơ sở và trung học phổ thông nên số lượng xe cá nhân và phương tiện công cộng cũng tăng theo;

- Tập trung xây dựng nhiều công trình nên mật độ xe tải chở vật liệu xây dựng tăng đột biến nên ảnh hưởng lớn đến ô nhiễm bụi.

Một số khuyến nghị:

+ Với các công trình xây dựng cần ngăn chặn bụi đường bằng cách trải nhựa và phun nước; trồng nhiều cây xanh.

+ Hạn chế phương tiện có lượng khí thải cao; hướng tới sử dụng xe điện để giảm nồng độ ô nhiễm không khí

+ Với người dân cần tránh tập thể dục và hoạt động ngoài trời khi ô nhiễm bụi tăng cao, khi ra ngoài đeo khẩu trang và sử dụng các thiết bị lọc không khí cho nhà ở.

Khoảng giá trị AQI	Khuyến nghị hoạt động cho những người bình thường	Khuyến nghị hoạt động cho nhóm người nhạy cảm
0 – 50 (Tốt)	Tự do thực hiện các hoạt động ngoài trời	Tự do thực hiện các hoạt động ngoài trời
51 – 100 (Trung bình)	Tự do thực hiện các hoạt động ngoài trời	Nên theo dõi các triệu chứng như ho hoặc khó thở, nhưng vẫn có thể hoạt động bên ngoài.
101 – 150 (Kém)	 Những người thấy có triệu chứng đau mắt, ho hoặc đau họng nên cân nhắc giảm các hoạt động ngoài trời. Đối với học sinh, có thể hoạt động bên ngoài, nhưng nên giảm bớt việc tập thể dục kéo dài. 	Nên giảm các hoạt động mạnh và giảm thời gian hoạt động ngoài trời. Những người mắc bệnh hen suyễn có thể cần sử dụng thuốc thường xuyên hơn.
151 – 200 (Xấu)	Mọi người nên giảm các hoạt động mạnh khi ở ngoài trời, tránh tập thể dục kéo dài và nghỉ ngơi nhiều hơn trong nhà.	Nên ở trong nhà và giảm hoạt động mạnh. Nếu cần thiết phải ra ngoài, hãy đeo khẩu trang đạt tiêu chuẩn.

Bång 7: Các mức VN_AQI và một số hoạt động khuyến nghị

Khoảng giá trị	Khuyến nghị hoạt động cho những	Khuyến nghị hoạt động cho nhóm	
AQI	người bình thường	người nhạy cảm	
201 – 300 (Rất xấu)	Mọi người hạn chế tối đa các hoạt động ngoài trời và chuyển tất cả các hoạt động vào trong nhà. Nếu cần thiết phải ra ngoài, hãy đeo khẩu trang đạt tiêu chuẩn.	Nên ở trong nhà và giảm hoạt động mạnh.	
301-500	Mọi người nên ở trong nhà, đóng cửa ra vào và cửa sổ. Nếu cần thiết phải ra		
(Nguy hại)	ngoài, hãy đeo khẩu trang đạt tiêu chuẩn.		

Tài liệu tham khảo

1. Vũ Văn Hoàng, Vũ Trọng Hoàng, Nguyễn Vũ Hùng (2012), *Giáo trình môi trường trong xây dựng*, Xưởng in Học viện Kỹ thuật Quân sự.

2. Nguyễn Như Hùng, Trần Vân Anh,Phạm Quang Vinh, Nguyễn Thanh Bình, Vũ Văn Hoàng, Mô hình xác định bụi PM10 trong không khí khu vực Hà Nội bằng dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat 8 OLI và dữ liệu đo bụi bằng mắt. Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường, 2018. Số 1: p. 23-36.

3. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Báo cáo môi trường quốc gia 2021- Môi trường không khí thực trạng và giải pháp.

4. Lê Anh Dũng, Đỗ Đình Đức, Môi trường trong xây dựng, NXB Xây dựng, Hà Nội 2006.

5. Nguyễn Khắc Cường. Môi trường trong xây dựng, NXB Đại học Quốc gia Tp Hồ Chí Minh 2003.

6. Phạm Ngọc Đăng. Môi trường không khí, NXB khoa học và kỹ thuật 1992.

7. QCVN 05:2013/BTNMT, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí xung quanh.

8. QCVN 05:2023/BTNMT, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí.

Research and propose solutions to reduce dust in xuan phuong area - military technical academy

Abstract

PM2,5 and PM10 dust is one of the air pollutants that greatly affects human health. The article uses PM2,5 and PM10 dust measurement data in the field using a DustTrak II meter. Conduct analysis and comparison with QCVN 05:2013/BTNMT to draw conclusions and solutions.

Keywords: PM 2,5, PM10, Air pollution, DustTrak II, QCVN 05:2013/BTNMT.

Nghiên cứu sự làm việc của kết cấu khối xếp dạng vòm trong môi trường đất đá

Nguyễn Văn Hùng^{*}

*Học viện KTQS Email:<u>hungnguyen252@gmail.com;</u> Tel: 0975319569

Tóm tắt

Kết cấu khối xếp dạng vòm là một kết cấu đặc biệt với khả năng tự ổn định mà không cần sử dụng chất kết dính hay mối nối giữa các khối với nhau. Kết cấu dạng này có nhiều ưu điểm như có thể làm việc được ngay sau khi lấp dựng, có khả năng ổn định cao dưới tác dụng của áp lực đất đá cũng như khả năng linh hoạt khi chịu tác dụng của các loại tải trọng động. Tuy nhiên, những hiểu biết về sự làm việc của kết cấu dạng này còn hạn chế, đặc biệt là khi kết cấu nằm trong môi trường đất đá. Trong nội dung nghiên cứu của bài báo cáo, tác giả sẽ nghiên cứu, phân tích sự làm việc của kết cấu khối xếp dạng vòm trong môi trường đất đá. Từ đó đưa ra các giải pháp thiết kế kết cấu tối ưu áp dụng vào thực tế xây dựng các công trình ngầm đã chiến hoặc làm giải pháp chống tạm trong xây dựng công trình ngầm ở vùng địa chất yếu, phức tạp.

Từ khóa: Kết cấu khối xếp; hệ mái vòm khối xếp; đường truyền lực nén; phương pháp đồ họa.

1. Tổng quan về kết cấu khối xếp dạng vòm

Vòm dạng khối xếp là tập hợp các khối có kích thước xác định được đặt chồng lên nhau tạo thành một đường cong hướng lên có khả năng tự duy trì hình dạng và sự ổn định thông qua tương tác lực giữa các khối trong cấu trúc.





Từ thời cổ đại, kết cấu khối xếp dạng vòm được sử dụng rất phổ biến và là một phần quan trọng mang tính biểu tượng trong kiến trúc của các công trình. Kết cấu khối xếp dạng vòm được áp dụng từ các công trình đường hầm đến các công trình phức tạp như các nhà thờ, đền, lâu đài... mang đậm tính thẩm mỹ và phong cách riêng của từng nền văn minh qua từng thời kỳ phát triển khác nhau, Hình 1b.

Trong phạm vi nghiên cứu, tác giả chỉ tập trung vào kết cấu khối xếp dạng hình tròn.

Cơ chế làm việc của vòm dạng khối xếp (nguyên lý chuỗi hạt treo ngược): Robert Hooke (1635 - 1703) đã mô tả sự tương đồng về sự làm việc giữa treo một chuỗi hạt với một vòm dạng khối xếp, ở đây chuỗi hạt chịu kéo còn mái vòm khối xếp chịu nén dưới tác dụng của trọng lượng bản thân.



Hình 2. Hình dạng ổn định của chuỗi hạt treo ngược (a) và việc áp dụng vào một công trình dạng vòm (mái vòm Thánh Peter ở Rome 1748) (b)

Có thể nhận thấy, cả chuỗi hạt treo ngược và mái vòm đều cân bằng ổn định, lực hoạt động ở 2 hệ trên chỉ là sự đảo ngược của nhau. Điều này cho ta một ý tưởng đó là nếu làm cứng chuỗi hạt và đảo ngược lại, sẽ cho ra hình dạng đường truyền lực nén trong mái vòm. Như vậy, đối với một mái vòm bất kỳ, nếu trong nó tồn tại một đường truyền lực nằm hoàn toàn trong biên dạng của mái vòm thì có thể coi mái vòm đó ổn định.

Phân tích thông qua phương pháp đồ họa: Sự cân bằng ổn định có thể được mô tả bằng hình học thông qua sử dụng vec tơ lực và đa giác lực khép kín (Stevin 1586). Lấy ví dụ minh họa cho phương pháp đồ họa này như Hình 3. Trên Hình 3b là sợi dây được căng bởi các lực giữ,ta có thể xác định lực căng trong sợi dây thông qua một hệ hình học là một hình đa giác khép kín được xây dựng bởi các véc tơ lực tác dụng lên sợi dây [7].



Hình 3. Trạng thái cân bằng của dây khi được treo các vật nặng (a) và xác định lực căng trong dây thông qua đồ họa (b)

*Phân tích sự làm việc của hệ mái vòm khối xếp:*Khi phân tích một hệ kết cấu bất kỳ, để kết cấu đảm bảo ổn định cần thỏa mãn 2 điều kiện như sau:

- Điều kiện về cân bằng ổn định về mặt hình học, đối với mái vòm ta chỉ cần xem xét cân bằng ổn định tĩnh;

- Điều kiện về vật liệu: ứng suất trong kết cấu nằm trong giới hạn bền cho phép.

Đối với kết cấu khối xếp dạng vòm thì điều kiện về vật liệu thường sẽ không cần xét tới vì ứng suất xuất hiện nhỏ hơn nhiều với giới hạn bền của vật liệu. Do vậy, khi xem xét kết cấu dạng này ta chỉ cần quan tâm đến điều kiện cần bằng ổn định về mặt hình học. Khi phân tích ổn định về mặt hình học kết cấu khối xếp dạng vòm, để đơn giản ta chấp nhận 2 giải thiết như sau [6]:

- Khi làm việc, kết cấu khối xếp dạng mái vòm chỉ chịu được lực nén (nằm trong giới hạn bền cho phép của vật liệu);

- Hệ kết cấu không có khả năng chịu kéo.

Để xem xét sự ổn định hình học của hệ, ta có một khái niệm đó là đường truyền lực [4]. Đường truyền lực là một đường thể hiện cho đường truyền của lực nén từ khối này sang khối kề bên. Dạng của đường này là giống với hình dạng của chuỗi hạt treo ngược được đề cập ở trên. Ở hệ kết cấu chỉ chịu nén đơn thuần thì điều kiện để hệ ổn định là trong hệ luôn luôn xuất hiện một đường truyền lực trong nó. Nghĩa là đường truyền lực phải nằm trong biên dạng của hệ khối xếp dạng mái vòm.

Ví dụ về việc phân tích đường truyền lực trong một hệ khối xếp dạng vòm bằng đá, Hình 4.





Để xác định đường truyền lực trong vòm đá, sử dụng phương pháp dây treo bằng cách treo các vật nặng có khối lượng bằng với khối lượng của từng khối đá tương ứng [7]. Vị trí các vật nặng sẽ nằm trên đường đi qua trọng tâm của các khối đá, Hình 4a. Ta cũng xây dựng được đa giác lực cân bằng của hệ vòm đá trên, Hình 3b. Có thể nhận thấy rằng, khoảng cách ngang của tâm O tới đường lực ah chính là lực xô ngang xuất hiện tại chân vòm đá. Phân tích thêm về đa giác lực (Hình 4b), khi tách riêng một tam giác lực (ví dụ tam giác Oef) ta có thể thấy rằng đây chính là tam giác lực cân bằng tĩnh học của khối đá đó (Hình 4c, 4d).

Cũng có thể thấy rằng không phải chỉ có một đường truyền lực duy nhất thỏa mãn điều kiện cân bằng của hệ khối xếp dạng mái vòm. Chỉ cần đường truyền lực nằm trong phạm vi biên dạng của mái vòm thì vòm sẽ ổn định [1 - 4]. Như vậy, mỗi một mái vòm sẽ có một tập hợp các đường truyền lực, các đường truyền lực này sẽ nằm trong khoảng giới hạn lớn nhất và nhỏ nhất.

Đường truyền lực nhỏ nhất trong hệ là đường mà trên đó lực truyền giữa các khối là nhỏ nhất. Ngược lại, đường truyền lực lớn nhất là đường có lực truyền giữa các khối (theo phương nằm ngang) là lớn nhất [4,6], Hình 5.



Hình 5. Đường truyền lực nén giới hạn trong mái vòm (a); đa giác lực cân bằng trong trường hợp đường truyền lực lớn nhất và nhỏ nhất (b)

Khi đường truyền lực vượt quá khoảng giới hạn, trong hệ mái vòm sẽ xảy ra sự mất ổn định hình học. Lúc đó, trong mái vòm bắt đầu xuất hiện các khớp xoay tại vị trí mà đường truyền lực chạm tới biên của hệ [4], Hình 6.



Hình 6. Khi đường truyền lực nhỏ nhất vượt quá phạm vi của biên mái vòm

Như vậy, vấn đề thiết kế đặt ra ở đây đó là phải đảm bảo chiều dày của các khối xếp luôn bao trọn được đường truyền lực tối đa và tối thiểu.

2. Sử dụng phần mềm MATLAB lập chương trình tính xác định chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm khối xếp dạng hình tròn

Sử dụng ngôn ngữ lập trình MATLAB, áp dụng lý thuyết xác định đường truyền lực trong khối vòm được trình bày ở trên để xác định chiều dày tối thiểu của kết cấu khối xếp dạng mái vòm. Trong nội dung nghiên cứu, chỉ thực hiện đối với mái vòm dạng hình tròn và chiều dày trong mái vòm không đổi.

2.1. Thuật toán xác định đường truyền lực trong một khối vòm

Để phân tích đường truyền lực, thực hiện rời rạc vòm thành một số lượng hữu hạn các khối riêng biệt (tương ứng với số lượng khối vòm thực tế). Mỗi khối được xác định bởi tọa độ cực tại các góc của khối (r_i, θ_i) , các thuộc tính được tóm tắt như trong Bảng 1.

Ký hiệu	Định nghĩa
r	Tọa độ hướng tâm các góc của khối (r_1, r_2, r_3, r_4)
theta	Toa độ góc các góc của khối $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$
density	
A	Khối lượng riêng của vật liệu $\lfloor kg / m^3 \rfloor$
W	Diện tích của khối $[m^2]$
r_cg	Khối lượng của khối trên một đơn vị chiều rộng $\left\lfloor kg / m ight ceil$
Fi	Trọng lượng của khối trên một đơn vị chiều rộng $[N/m]$
	Tọa độ hướng kính của điểm trọng tâm khối $\left(r_{cg} ight)$
	Tọa độ góc của điểm trọng tâm khối $\left(heta_{cg} ight)$
	Lực quán tính tác dụng trên đơn vị chiều rộng vòm trong trường hợp tải động tác dụng lên mái vòm $[N/m]$

Bảng 1. Bảng thuộc tính của một khối riêng lẻ

Để xác định được đường truyền lực trong một khối vòm riêng lẻ, phương pháp đơn giản và hiệu quả hơn cả là dựa trên trạng thái cân bằng mô men của khối đó, Hình 7 [1,5]. Các thành phần lực T_1 và T_2 được xác định sao cho thỏa mãn điều kiện cân bằng theo phương thẳng đứng và phương nằm ngang của khối. Đầu tiên, ta giả định điểm đặt lực T_1 là (x_1, y_1) , điểm đặt lực T_2 là (x_2, y_2) sẽ được xác định thông qua giải phương trình cân bằng mô men của khối.

Phương trình cân bằng mô men của khối đối với trọng tâm (x_{cg}, y_{cg}) theo chiều ngược chiều kim đồng hồ là:

$$T_{v2}x_{cg} + T_{h2}y_{cg} + T_{v1}(x_1 - x_{cg}) - T_{h1}(y_{cg} - y_1) = T_{v2}x_2 + T_{h2}y_2$$
(1)

Một điều kiện biên được áp dụng là điểm (x_2, y_2) phải nằm trên cạnh trên của khối.

2.2. Thuật toán xác định chiều dày nhỏ nhất của mái vòm

Từ quá trình phân tích số xác định đường truyền lực nhỏ nhất của mái vòm, ta có thể dễ tìm ra chiều dày nhỏ nhất của mái vòm. Qua quá trình quan sát, có thể thấy rằng điểm bắt đầu và kết thúc của đường truyền lực nén nhỏ nhất của mái vòm có thể giả định là cố định; do đó sẽ giảm được số lần tính lặp cần thiết mà vẫn đảm bảo được độ chính xác. Khi xác định chiều dày nhỏ nhất của vòm, chiều dày của vòm sẽ được tính và lặp lại quá trình tính với chiều dày giảm dần với bước giảm là không đổi ở mỗi lần tính. Quá trình tính kết thúc khi không tìm thấy một đường lực đẩy nào nằm trong biên dạng của vòm. Việc tính lặp với bước giảm nhỏ sẽ cho phép xác định được chiều dày nhỏ nhất của mái vòm với độ chính xác cao hơn.



Hình 7. Hệ các lực cân bằng của khối thứ i (a); trạng thái cân bằng mô men của một khối (b)



Hình 8. Sơ đồ khối thuật toán xác định đường truyền lực giới hạn của mái vòm

3. Nghiên cứu sự làm việc của kết cấu mái vòm dạng hình tròn trong môi trường đất đá

Đối với các công trình dạng lắp ghép, kích thước công trình thường ở loại vừa và nhỏ (khẩu độ công trình nhỏ hơn 4m). Do vậy, ta sẽ đi nghiên cứu công trình mái vòm dạng hình tròn với kích thước R = 2m, chiều dày của mái vòm không đổi và được chia thành các khối có kích thước và hình dạng giống nhau.

3.1. Khảo sát ảnh hưởng của số lượng khối vòm xếp tới sự ổn định của mái vòm

Để xem xét ảnh hưởng của số lượng khối vòm xếp tới sự ổn định của mái vòm, ta sẽ xác định chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm để vòm ổn định tương ứng với các trường hợp số lượng khối vòm xếp trong mái vòm thay đổi. Sử dụng chương trình tính được lập trên phần mềm MATLAB ở trên để thực hiện xác định chiều dày nhỏ nhất của mái vòm tương ứng với số lượng khối vòm thay đổi tăng dần từ 5 khối tới 40 khối. Kết quả nhận được như sau:

				-			
Số lượng khối (N)	t/R						
5	0.11225	14	0.12612	23	0.12515	32	0.12672
6	0.12369	15	0.12538	24	0.12667	33	0.12607
7	0.11298	16	0.12666	25	0.12643	34	0.12683
8	0.11892	17	0.12463	26	0.12693	35	0.12672
9	0.12009	18	0.12523	27	0.12613	36	0.12700
10	0.12679	19	0.12547	28	0.12621	37	0.12658
11	0.12358	20	0.12697	29	0.12634	38	0.12655
12	0.12408	21	0.12610	30	0.12700	39	0.12663
13	0.12130	22	0.12627	31	0.12663	40	0.12701

Bảng 2. Kết quả tính toán chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm theo số lượng khối trong mái vòm





Từ biểu đồ quan hệ giữa số lượng khối vòm với chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm cho thấy rằng khi số lượng khối trong vòm tăng lên thì chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm cũng tăng. Với số lượng khối trong vòm tương đương nhau thì hệ mái vòm sẽ ổn định hơn khi số lượng khối trong vòm là lẻ. Khi số lượng khối trong vòm nhỏ hơn 18 (góc chắn cung của một khối > 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm ảnh hưởng nhiều tới chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm. Ngược lại, khi số lượng khối trong vòm lớn hơn 18 (góc chắn cung của một khối <= 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm lớn hơn 18 (góc chắn cung của một khối <= 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm lớn hơn 18 (góc chắn cung của một khối <= 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm lớn hơn 18 (góc chắn cung của một khối <= 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm lớn hơn 18 (góc chắn cung của một khối <= 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm lớn hơn 18 (góc chắn cung của một khối <= 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm lớn hơn 18 (góc chắn cung của một khối <= 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm lớn hơn 18 (góc chắn cung của một khối <= 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm lớn hơn 18 (góc chắn cung của một khối <= 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm lớn hơn 18 (góc chắn cung của một khối <= 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm lớn hơn 18 (góc chắn cung của một khối <= 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm lớn hơn 18 (góc chắn cung của một khối <= 10^{0}) thì số lượng khối trong vòm lớn hơn tới chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm.



Hình 10. Kết quả được xuất ra từ chương trình tính viết trên phần mềm MATLAB

3.2. Khảo sát ảnh hưởng của tải trọng ngoài tới sự ổn định của mái vòm khối xếp

Thực tế khi sử dụng kết cấu mái vòm khối xếp, ngoài trọng lượng bản thân của các khối còn có các tải trọng ngoài tác dụng lên kết cấu như tải trọng của đất đá xung quanh, tải trọng nổ do bom đạn... Trong điều kiện của bài báo, chỉ xét tới ảnh hưởng của tải trọng do đất đá xung quanh tác dụng lên kết cấu mái vòm.

Như kết quả khảo sát ở trên, khi số lượng khối trong mái vòm tăng lên thì khả năng ổn định của kết cấu giảm (chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm tăng). Nhưng đối với thực tế thiết kế, ngoài yếu tố về mặt kỹ thuật còn phải xét tới các yếu tố khác như tính khả thi khi lắp dựng, điều kiện về trang thiết bị hỗ trợ thi công, vật liệu tại chỗ... Trong điều kiện dã chiến, quá trình lắp dựng chủ yếu là con người, vì vậy kích thước của khối vòm cũng phải phù hợp để một người có thể mang vác, lắp dựng. Ở đây, tác giả lựa chọn số lượng khối trong mái vòm của bài toán khảo sát tiếp sau đây là 25 khối, kích thước mái vòm là R = 2m. Chịu tác dụng của áp lực đất đá xung quanh theo phương thẳng đứng và phương nằm ngang như Hình 11.



Hình 11. Mặt cắt ngang kết cấu vòm khối xếp dạng hình tròn trong môi trường đất đá

Trước tiên, ta sẽ khảo sát ảnh hưởng của áp lực đất đá thẳng đứng đối với kết cấu mái vòm. Sử dụng chương trình tính để xác định chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm khi chịu tải trọng thẳng đứng tăng dần, kết quả nhận được như sau:

0	1	•	, ,			, 0	0
P/G	t/R	P/G	t/R	P/G	t/R	P/G	t/R
0.0	0.10696	3.0	0.13472	6.0	0.13803	9.0	0.13932
0.5	0.12041	3.5	0.13559	6.5	0.13832	9.5	0.13946
1.0	0.12643	4.0	0.13628	7.0	0.13857	10.0	0.13959
1.5	0.12985	4.5	0.13684	7.5	0.13879	10.5	0.1397
2.0	0.13205	5.0	0.13731	8.0	0.13899	11.0	0.13981
2.5	0.13359	5.5	0.1377	8.5	0.13916	11.5	0.13991

Bảng 3. Kết quả tính toán chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm theo số lượng khối trong mái

* Ghi chú: P là tải trọng thẳng đứng tác dụng lên mỗi khối, G là trọng lượng của mỗi khối

Từ biểu đồ quan hệ giữa tải trọng thẳng đứng với chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm có thể thấy rằng khi tải trọng thẳng đứng tác dụng lên hệ kết cấu mái vòm tăng lên thì chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm cũng tăng lên. Tuy nhiên, chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm cũng tăng lên. Tuy nhiên, chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm cũng tăng lên.





Thực hiện khảo sát ảnh hưởng của tải trọng nằm ngang của đất đá tới hệ kết cấu mái vòm. Thực tế đối với công trình dã chiến, chiều dày đất đá bên trên công trình thường nhỏ hơn 2m. Do vậy đối với bài toán này ta xét trong trường hợp có R/G = 5. Kết quả nhận được như sau:

Hệ số áp lực hông ξ	t/R
0.0	0.13731
0.1	0.12786
0.2	0.11876
0.3	0.10998
0.4	0.10208
0.5	0.09545
0.6	0.08919
0.7	0.08345
0.8	0.07852
0.9	0.07416
1.0	0.07060

Bảng 4. Kết quả tính



Hình 13. Biểu đồ quan hệ giữa hệ số áp lực hông với chiều dày yêu cầu nhỏ nhất của mái vòm

Từ quan sát biểu đồ quan hệ có thể thấy rằng áp lực nằm ngang làm tăng sự ổn định cho hệ kết cấu mái vòm. Hệ số áp lực ngang càng lớn, tức là áp lực ngang càng lớn thì càng có lợi cho sự làm việc của kết cấu khối xếp dạng vòm hình tròn.

Từ các kết quả trên có thể kết luận rằng, đối với hệ mái vòm dạng hình tròn, khi chiều dày mái vòm đạt t/R = 0.14 thì hệ đảm bảo ổn định về mặt hình học đối với bất kì giá trị tải

trọng nào do áp lực đất đá gây ra. Tuy nhiên, nếu tải trọng do áp lực đất đá gây ra quá lớn thì cần kiểm tra về mặt chịu bền của vật liệu kết cấu mái vòm.

4. Kết luận

Trong nội dung nghiên cứu, tác giả đã xây dựng được một chương trình tính trên phần mềm Matlab để xác định kích thước tối thiểu của hệ vòm khối xếp dạng hình tròn để phục vụ quá trình nghiên cứu. Đồng thời chương trình tính cũng có thể được sử dụng để phục vụ vào quá trình tính toán xác định kích thước sơ bộ trong việc thiết kế kết cấu các công trình ngầm dạng mái vòm dã chiến có kích thước vừa và nhỏ. Dựa vào các kết quả nghiên cứu ở trên, người thiết kế có thể sử dụng như một chỉ dẫn quan trọng để nâng cao hiệu quả, nhanh chóng đưa ra được các phương án thiết kế hợp lý, giảm bớt được thời gian và chi phí vào quá trình thử nghiệm.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Eleonora Ricci, Aguinaldo Fraddosio, Mario Daniele Piccioni, Elio Sacco (2019). A new numerical approach for determining optimal thrust curves of masonry arches. *European Journal of Mechnics/A Solids* 75, 426 442.
- [2]. Thomas Mclean, Christian Malaga Chuquitaype, Nicos Kalapodis, Georgios Kampas (2021). OpenArch: An open source package for determining the minimum thickness of arches under seismic loads. *SoftwareX 15*.
- [3]. Philippe Block, Matt Dejong, John Ochsendorf (2006). As hangs the Flexible Line: Equilibrium of Masonry Arches. *Nexus Network Journal 8*, 13 24.
- [4]. Ochsendore. J.A (2002). Collapse of masonry structure. Ph.D. dissertation, Department of Engineering, Cambridge University.
- [5]. Milankovitch M. (1907). Theorie der Drunckkurven. Zeitschrift fur Mathematik und Physik, 1 27.
- [6]. Heyman. J. (1966). The stone skeleton. *International Journal of Solids and Structures*, 2: 249 279.
- [7]. Culmann, K. (1866). Die graphische Statik, Zurich: Meyer und Zeller.
- [8]. Brian R. Hunt, Ronald L. Lipsman, Jonathan M. Rosenberg (2001). A guide to Matlab for Beginners and Experienced users. New York, *Cambridge University Press.*

Hiệu chỉnh và khử nhiễu tín hiệu sóng nổ dưới nước bằng thuật toán phân tách dạng thực nghiệm kết hợp với bộ lọc Kalman

Vũ Tùng Lâm¹, Trần Đức Việt²

¹Đại học kỹ thuật Lê Quý Đôn
²Viện vũ khí - Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng Email: <u>lamvt@lqdtu.edu.vn</u>; Tel: 0982.955.168

Tóm tắt

Trong các thí nghệm đo tín hiệu sóng nổ bằng cảm biến, bao gồm cả tín hiệu đo sóng nổ dưới nước, dữ liệu đo đạc thu được là các tín hiệu analog thường bị gây nhiễu bởi nhiều yếu tố khác nhau gây nên sự biến dạng dạng sóng ban đầu, khiến cho các đặc trưng quan trọng của tín hiệu nổ bị che phủ, gây khó khăn trong vệc sử dụng và phân tích sâu thêm về áp lực sóng nổ . Trên cơ sở của thuật toán phân tách dạng thực nghiệm (EMD) và thuật toán lọc Kalman, cùng với thuật toán phân đoạn tín hiệu, bài báo nghiên cứu thiết lập một mô hình kết hợp các thuật toán này để khử nhiễu tín hiệu đo sóng nổ dưới nước, được gọi là mô hình EMD - Kalman bằng mã lập trình Python. Mô hình khử nhiễu tìm được cho bộ tín hiệu thí nghiệm nổ lượng thuốc A - IX - 2 trong nước thu được kết quả là nhiễu tần số cao được loại bỏ đáng kể, tín hiệu được đưa về dạng đặc trưng sóng nổ trơn gần với quy luật giảm áp theo lý thuyết, trong khi các tham số nổ đặc trưng như áp suất đỉnh p_{max}, thời gian duy trì pha nén τ^+ và xung riêng I₄, đều được tối ưu hóa, sát với lý thuyết hơn so với tín hiệu gốc, với sự chênh lệch giảm từ khoảng 18% xuống chỉ còn khoảng 3%. **Từ khóa:** *Nổ đưới nước; khử nhiễu; phân tách dạng thực nghiệm (EMD); bộ lọc Kalman.*

1. Đặt vấn đề

Năng lượng nổ phá đã và đang được sử dụng rộng rãi ở cả thế giới và ở Việt Nam để tiết kiệm chi phí và thời gian, tuy nhiên hiệu suất nổ của loại thuốc nổ tốt nhất hiện nay cũng chỉ khoảng 20% năng lượng nổ trở thành công có ích phá vỡ đất đá [1, 2], phần còn lại chuyển hóa thành nhiệt và chấn động tác động vào môi trường xung quanh. Các giải pháp kiểm soát năng lượng nổ phục vụ cho mục đích phá đất đá theo ý muốn đồng thời hạn chế tác động tiêu cực đến môi trường hoặc các công trình xung quanh vụ nổ là một lĩnh vực nghiên cứu quan trọng trong công tác nổ.

Hướng nghiên cứu thiên về phân tích tác động động học của bản thân tải trọng nổ, được biểu thị bằng các thông số của vụ nổ, là một trong các giải pháp nêu trên. Nhiều nhà khoa học trên thế giới và Việt Nam đã nghiên cứu theo hướng này, điển hình là những nghiên cứu của tác giả Đ.T.Thắng và những người khác [3, 4, 5] đã thực hiện rất nhiều thí nghiệm đo đạc các tham số của vụ nổ, bao gồm cả áp suất sóng nổ dưới nước. Nghiên cứu theo hướng này mặc dù giúp con người hiểu rõ nhất về bản chất vật lý của vụ nổ nhưng lại có khó khăn và phức tạp rất lớn do yêu cầu cao về các công tác thí nghiệm hiện trường bao gồm: xây dựng mô hình thí nghiệm, triển khai con người và thiết bị đo để thu thập dữ liệu, tiền xử lý và xử lý dữ liệu thu được. Trong các bước này, khử nhiễu tín hiệu đo hay tiền xử lý dữ liệu chuỗi thời gian là một trong các công đoạn khó khăn nhất. Dữ liệu đo thu được thường bị nhiễu bởi các yếu tố khách quan. Sự nhiễu động của môi trường xung quanh các cảm biến, sự phức tạp của truyền sóng và phản xạ sóng trong môi trường, sự hình thành và dao động của các khoang bóng khí, đặc biệt là đặc trưng tín hiệu analog luôn tồn tại nhiễu do ảnh hưởng của nhiễu điện tử đến từ bộ chuyển đổi dòng điện A/D và sai số bảng mạch nhúng trong thiết bị đo... là những nguyên nhân chính làm

biến dạng dạng sóng ban đầu, che khuất các đặc điểm quan trọng của tín hiệu nổ, gây khó khăn cho việc phân tích sâu hơn về sóng nổ.

Cho đến nay, nhiều phương pháp khử nhiễu đã được các nhà khoa học phát minh. EMD, EEMD, CEEMDAN, bô loc Kalman, bô loc Savitski - Golay, loc biến đổi wavelet... đều là những thuật toán lọc đã được áp dụng hiệu quả để khử nhiễu trong lĩnh vực xử lý tín hiệu. Tuy nhiên, tín hiêu nổ, đặc biệt là tín hiệu nổ dưới nước là một dang tín hiệu đặc biệt, đây là dang tín hiệu ngẫu nhiên không dừng có đặc tính là tần số tức thời thay đổi đột ngột trong một thời gian cực ngắn. EMD và các thuật toán tăng cường như EEMD và CEEMDAN đã đư ợc nhiều nhà khoa học ứng dụng để khử nhiễu tín hiệu nổ, Sun và những người khác [6], Peng và những người khác [7], Liu và Peng [8]ā đìghiên c ứu xây dựng mô hình dựa trên EEMD và CEEMDAN để khử nhiễu tín hiệu chấn động nổ mìn, nghiên cứu của V.T.Lâm và những người khác [9] đã đề cập đến khử nhiễu tín hiệu đo áp suất sóng nổ dưới nước. Các nghiên cứu này đều thu được các kết quả đáng chú ý nhưng các tác giả cũng thừa nhận rằng các mô hình khử nhiễu đưa ra cũng mới chỉ phù hợp với dạng tín hiệu nhất định có trong nghiên cứu, các tín hiệu dạng khác còn cần nghiên cứu thêm. Đặc biệt, nghiên cứu [9] đã khử nhiễu hiệu quả tín hiệu đo áp suất sóng nổ dưới nước bằng thuật toán kết hợp EMD - CEEMDAN, nhưng dạng tín hiệu nổ sử dung trong nghiên cứu này đã xuất hiên hiệu ứng phản xa tại sóng tới nên chưa so sánh được với lý thuyết nổ để đánh giá hiệu quả tổng thể.

Bài báo nghiên cứu kết hợp các thuật toán EMD, lọc Kalman và phương pháp phân chia tín hiệu được sử dụng trong tài liệu [9], thiết lập ra một mô hình khử nhiễu gọi là EMD - Kalman để khử nhiễu tín hiệu đo áp suất sóng nổ khi kích nổ một lượng thuốc A - IX - 2 trong môi trường nước. Mô hình khử nhiễu được hiệu chỉnh bằng lý thuyết truyền sóng trong nước với kết quả thu được là nhiễu tần số cao được loại bỏ đáng kể, tín hiệu được đưa về dạng đặc trưng sóng nổ trơn gần với quy luật giảm áp theo lý thuyết [10]. Đồng thời, các tham số nổ đặc trưng như áp suất đỉnh p_{max}, thời gian duy trì pha nén τ^+ và xung riêng I₊ cũng đều được tối ưu hóa sát với lý thuyết hơn so với các giá trị tính toán từ tín hiệu gốc.

2. Các thuật toán khử nhiễu

2.1. Phân tách dạng thực nghiệm (EMD)

Bài báo sử dụng một phần thuật toán EMD - CEEMDAN đã đư ợc trình bày trong tài liệu [9] bao gồm các phương pháp như phát hiện điểm có bước nhảy đột ngột về biên độ, phát hiện các đỉnh nhọn để phân chia chuỗi tín hiệu thành các đoạn tín hiệu chẵn - lẻ, sau đó kết hợp hai thuật toán riêng lẻ EMD và CEEMDAN vào cùng một chuỗi tín hiệu được chia đoạn để thu về tín hiệu khử nhiễu sau cùng.

2.2. Bộ lọc Kalman

Thuật toán lọc Kalman mô tả một giải pháp đệ quy cho vấn đề lọc dữ liệu tuyến tính rời rạc [11, 12], dùng để ước tính trạng thái của một quá trình, theo cách giảm giá trị trung bình của sai số bình phương. Bộ lọc có điểm mạnh ở chỗ nó hỗ trợ ước tính các trạng thái trong quá khứ, hiện tại và thậm chí cả tương lai ngay cả khi chưa biết bản chất của hệ thống. Kalman là một trong những thuật toán ước lượng quan trọng và phổ biến nhất.

Về mặt toán học, thuật toán lọc Kalman cố gắng ước lượng trạng thái x_k của một quá trình được mô hình hóa rời rạc theo thời gian bằng một phương tình sai phân ng ẫu nhiên tuyến tính:

$$\mathbf{x}_{k} = \mathbf{F} \times \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} \tag{1}$$

Cũng đồng thời tại thời điểm k, trạng thái của hệ thống z_k cũng được quan sát, đo đạc một cách chính xác bởi các đầu đo, biểu diễn bằng một phương trình tuyến tính:

 $\mathbf{z}_{\mathbf{k}} = \mathbf{H} \times \mathbf{x}_{\mathbf{k}} + \mathbf{v}_{\mathbf{k}} \tag{2}$

trong đó: F là quá trình chuyển trạng thái từ bước trước k - 1 đến bước hiện tại k; H là ma trận quan sát, nó chuyển không gian trạng thái đo đạc vào không gian trạng thái quan sát; w_k , v_k là 2 vector biến ngẫu nhiên đại diện cho nhiễu hệ thống và nhiễu đo đạc được giả định là tuân theo phân phối Gauss với kỳ vọng bằng 0 và phương sai lần lượt là Q và R.

Cụ thể, hoạt động của bộ lọc Kalman được mô tả như sau: bộ lọc ước tính trạng thái tại một thời điểm, sau đó thu được phản hồi dưới dạng các phép đo. Như vậy, thuật toán lọc Kalman gồm hai quá trình: *quá trình dự đoán* (cập nhật thời gian) và *quá trình hiệu chỉnh* (cập nhật đo đạc). Quá trình hiệu chỉnh chịu trách nhiệm về phản hồi, tức là để kết hợp một phép đo mới vào ước tính tiên nghiệm để có được ước tính hậu nghiệm được cải thiện [13].

Quá trình dự đoán: là quá trình dự đoán trạng thái hiện tại và các ước tính phương sai lỗi để có được ước lượng trạng thái tiên nghiệm và phương sai tiên nghiệm cho trạng thái tiếp theo. Để xác định các giá trị này cần phải khởi tạo giá trị ban đầu của ước lượng trạng thái hậu nghiệm \hat{x}_{k-1} , và phương sai sai số hậu nghiệm σ_{k-1} của trạng thái ban đầu:

$$\hat{\mathbf{x}}_{k}^{-} = \mathbf{F} \times \hat{\mathbf{x}}_{k-1} \tag{3}$$

$$\sigma_{k}^{-} = \mathbf{F} \times \sigma_{k-1} \times \mathbf{F}^{\mathrm{T}} + \mathbf{Q} \tag{4}$$

Quá trình hiệu chỉnh: là quá trình dựa vào giá trị đo lường để hiệu chỉnh giá trị ước đoán tiên nghiệm để được kết quả ước đoán hậu nghiệm chính xác. Kết quả này chính là giá trị ước lượng đầu ra của bộ lọc Kalman:

$$\mathbf{K}_{k} = \boldsymbol{\sigma}_{k}^{-} \times \mathbf{H}^{\mathrm{T}} \times \left(\mathbf{H} \times \boldsymbol{\sigma}_{k}^{-} \times \mathbf{H}^{\mathrm{T}} + \mathbf{R}\right)^{-1}$$
(5)

$$\hat{\mathbf{x}}_{k} = \hat{\mathbf{x}}_{k}^{-} + \mathbf{K}_{k} \times \left(\mathbf{z}_{k} - \mathbf{H} \times \hat{\mathbf{x}}_{k}^{-}\right)$$
(6)

$$\sigma_{k} = (I - K_{k} \times H) \times \sigma_{k}^{-}$$
⁽⁷⁾

trong đó: F, σ , H, Q, R tương tự như các phương tình (1), (2); \hat{x}_k^- là ước đoán trạng thái tiên nghiệm của trạng thái hiện tại k; \hat{x}_{k-1} là ước đoán trạng thái hậu nghiệm tại trạng thái trước k -1; P_k^- là phương sai lỗi ước đoán tiên nghiệm của trạng thái hiện tại k; σ_{k-1} là phương sai lỗi ước đoán hậu nghiệm của trạng thái trước k - 1; K_k là độ lợi Kalman cho trạng thái hiện tại k; \hat{x}_k là ước đoạn trạng thái hậu nghiệm cho trạng thái hiện tại k; σ_k là phương sai lỗi ước đoán hậu nghiệm của trạng thái hiện tại k; z_k là quan sát thực từ hệ thống tại thời điểm k.

3. Thí nghiệm hiện trường

Sơ đồ bố trí thí nghiệm hiện trường bao gồm vị trí đặt lượng nổ và cảm biến được thể hiện trong Hình 1 sau:



Hình 1. Sơ đồ bố trí thí nghiệm

Trong Hình 1, bè nổi được chế tạo từ các thanh nứa khô, bó thành bó, đảm bảo thẳng và dài 18m. Để tăng độ nổi của bè, trên suốt chiều dài bó nứa được bó thêm các thanh xốp có tiết diện (10x10) cm; tại các vị trí treo lượng nổ và cảm biến trên bè nổi có các phao nổi bằng xốp có kích thước (30x30x30) cm. Bè nổi được cố định hai đầu các dây cáp nối với các vật mốc cố định trên bờ. Lượng nổ thử nghiệm và cảm biến được treo trên các dây cáp thép đường kính ¢3 mm; đầu dưới cùng của dây cáp là quả nặng 2,5 kg để làm căng dây treo và tránh cho dây treo bị xiên do dòng chảy. Máy đo bố trí trên thuyền, thuyền được neo ở vị trí cách xa các phao xốp treo cảm biến 50 m, ngược với hướng của phao xốp treo lượng nổ; dây điểm hỏa và các dây cảm biến được nối với thuyền.

Cảm biến sử dụng trong thí nghiệm là cảm biến đo áp suất sóng nổ trong nước loại 138A05 của hãng PCB Piezotronics. Dữ liệu đo được xử lý trên máy đo đa kênh DEWE3020. Độ sâu khu vực thử nghiệm được kiểm tra bằng máy đo độ sâu Hondex PS - 7 và thước dây. Khoảng cách xa được đo bằng máy Laser Nikon và thước dây.

Lượng nổ sử dụng trong thí nghiệm có khối lượng bao gồm cả kíp nổ là 184 gam A - IX - 2 với nhiệt lượng nổ là 1540 kcal/kg, mật độ thuốc nổ là 1,7 g/cm³.

4. Chỉ tiêu đánh giá hiệu quả khử nhiễu

Hiệu quả khử nhiễu được đánh giá trực tiếp bằng các tham số nổ tính toán theo lý thuyết như áp suất cực đại mặt sóng p_{max} , thời gian duy trì pha nén τ^+ , xung riêng I₊, sau đó so sánh các kết quả thu được giữa tín hiệu gốc, tín hiệu sau khử nhiễu và lý thuyết.

Biến đổi công thức thực nghiệm tính áp suất cực đại mặt sóng xung kích p_{max} [10] khi nổ trong môi trường nước vô hạn theo dạng quy đổi về đương lượng nổ TNT, và hàm thời gian p(t) của nó như sau:

$$p_{max} = 52, 3 \left(\frac{\sqrt[3]{k_T C}}{R}\right)^{1.13}$$
(8)

$$p(t) = P_{max}e^{\overline{\theta}}$$
(9)

975

trong đó: p_{max} là áp suất đỉnh (MPa); k_T là đương lượng nổ TNT; C là khối lượng lượng nổ (kg); R là khoảng cách từ lượng nổ đến cảm biến (m); t là thời gian (ms); θ là hằng số mũ thời gian (ms). θ được tính thông qua phương trình sau:

$$\theta = 0,093\sqrt[3]{k_T C} \left(\frac{\sqrt[3]{k_T C}}{R}\right)^{-0.22} \tag{10}$$

Xuất phát từ công thức tính hằng số thời gian \mathcal{P} đối với lượng nổ hình cầu

$$\frac{\mathbf{a}_1 \times \boldsymbol{\vartheta}}{\mathbf{r}_0} = \mathbf{1}, \mathbf{4} \times \left(\frac{\mathbf{r}}{\mathbf{r}_0}\right)^{0,24} \tag{11}$$

trong đó: a_1 là tốc độ âm trong nước = 1500 (m/s); r_0 là bán kính lượng nổ hình cầu (m) - với lượng nổ 184 gam A - IX - 2 có mật độ thuốc nổ là 1,7 (g/cm³) có thể quy đổi thành một lượng nổ hình cầu có bán kính 0,03 (m); r là khoảng cách đến điểm xét (m).

Từ công thức (11) rút ra hằng số thời gian $\mathcal{G} = 1,224.10^{-4}$

Thời gian duy trì pha nén $\tau^+ \cong 5.9 = 6,119.10^{-4}$ (s)

Xung riêng của pha nén có thể tính theo công thức sau:

$$I_{+} = \int_{0}^{\tau^{+}} \left(p_{(t)} - \gamma_{n} \cdot h_{n} \right) dt = \left(p_{\max} - \gamma_{n} \cdot h_{n} \right) \cdot \mathcal{G} \cdot \left(1 - e^{\frac{\tau^{+}}{\mathcal{G}}} \right)$$
(12)

trong đó: γ_n là dung trọng riêng của nước, h_n là chiều sâu đặt lượng nổ, các tham số khác như với công thức (8), (9), (10), (11).

Tham số nổ tính từ các công thức (8), (10), (11), (12) được tổng hợp trong Bảng 1 sau:

Bảng 1. Bảng tổng hợp các tham số nổ dưới nước theo lý thuyết

Loại thuốc	Đương lượng TNT	Khối lượng (kg)	Khoảng cách đến cảm biến (m)	p _{max} (MPa)	θ (ms)	τ ⁺ (ms)	I ₊ (N.s/m ²)
A - IX - 2	1,54	0,184	14	1,649	0,120	0,612	199,38

5. Phân tích và xử lý tín hiệu

5.1. Tín hiệu gốc đo áp suất sóng nổ dưới nước

Dạng tín hiệu điển hình đo áp suất sóng nổ dưới nước được thể hiện trong hình 2.

Từ hình 2, kết hợp với đánh giá trực quan dạng tín hiệu, có thể thấy rằng áp suất cực đại của sóng tới thay đổi đột ngột với biên độ lớn trong khoảng thời gian cực ngắn chỉ khoảng 2 lần lấy mẫu (tương ứng với khoảng thời gian là 0,01 ms).

Theo định lý lấy mẫu Nyquist, tốc độ mẫu của tín hiệu tuần hoàn phải ít nhất gấp đôi tần số của nó để tránh một loại biến dạng gọi là răng cưa. Y.You và L.Li [14] chỉ ra rằng tần số chiếm ưu thế của tín hiệu sóng nổ dưới nước chủ yếu tập trung ở khoảng 50 kHz. Vì vậy, tần số lấy mẫu được lựa chọn là 200 kHz trong nghiên cứu này là phù hợp. Quan sát trực quan Hình 2 cũng cho thấy dạng tín hiệu không bị hiện tượng răng cưa, do đó tín hiệu thu được là đáng tin cậy để thực hiện các bước xử lý tiếp theo.



Hình 2. Dạng tín hiệu điển hình áp suất sóng nổ dưới nước

5.2. Quy trình khử nhiễu tín hiệu

Do dạng tín hiệu có sự thay đổi đột ngột của biên độ trong thời gian ngắn, đồng nghĩa với tần số tức thời thay đổi đột ngột, gây khó khăn cho bộ lọc Kalman khi sử dụng cho toàn bộ tín hiệu, vì phương sai sai số tiền nghiệm của trạng thái hiện tại (σ_k^-) trong công thức (4) không thể được ước đoán chính xác từ phương sai sai số hậu nghiệm của trạng thái trước đó (σ_{k-1}) chỉ trong 2 lần lấy mẫu, dẫn đến hiện tượng lệch biên độ lớn gây biến dạng tín hiệu. Để giải quyết vấn đề này, bài báo sử dụng thuật toán phát hiện các điểm có bước nhảy và điểm có áp suất đỉnh để chia tín hiệu thành 3 đoạn. Đoạn 1 chỉ cần biểu thị xu hướng của tín hiệu nên sử dụng EMD và chỉ lấy phần dư. Đoạn 3 xử lý bằng bộ lọc Kalman với giả thiết áp suất đỉnh đo được là chính xác, nghĩ a là khởi tạo giá trị ban đầu của ước lượng trạng thái hậu nghiệm \hat{x}_{k-1} đúng bằng áp suất đỉnh p_{max} của máy đo với phương sai sai số hậu nghiệm σ_{k-1} của trạng thái ban đầu bằng 0. Đoạn 2 xử lý bằng EMD với điểm đầu và cuối được gán bằng giá trị của điểm cuối và đầu của đoạn 1 và 3 tương ứng. Tín hiệu sau phân đoạn được thể hiện trong hình 3 như sau:



Hình 3. Tín hiệu điển hình sau phân đoạn

5.3. Khởi tạo các tham số của bộ lọc Kalman để hiệu chỉnh đường giảm áp và khử nhiễu đoạn 3

Quá trình ước đoán áp lực nổ theo thời gian là quá trình ước đoán 1 chiều với trạng thái được ước đoán chỉ là áp lực cực đại p_{max} , vì vậy Ma trận chuyển đổi trạng thái F có kích thước chỉ là 1x1. Việc xác định đúng F là công đoạn hiệu chỉnh tín hiệu theo lý thuyết truyền sóng nổ trong môi trường nước được xác định như sau:

Áp suất tại một điểm cố định trong môi trường nước, biến đổi theo thời gian có thể mô tả bằng công thức gần đúng sau [1, 2]:

$$\frac{p - p_n}{p_n} = \frac{p_{\phi} - p_n}{p_n} \times e^{-\frac{t}{9}}$$
(13)

trong đó: t là thời gian tính từ khi bắt đầu tác động đến thời điểm đang xét; p là áp suất trên mặt sóng xung kích tại thời điểm xét; p_{ϕ} là áp suất lớn nhất trên mặt sóng xung kích; p_n là áp suất của môi trường nước xung quanh; ϑ : là hằng số thời gian, được xác định theo (11):

Do $p_1 \square p_{\phi}$, để đơn giản hóa, có thể viết lại công thức (13) như sau:

$$p = p_{\phi} \times e^{-\frac{t}{9}} \tag{14}$$

Xét 2 trạng thái liền nhau bất kỳ trong quá trình giảm áp, gọi là trạng thái 1 và trạng thái 2 có áp suất cực đại lần lượt là p_1 và p_2 :

$$\mathbf{p}_1 = \mathbf{p}_{\phi} \times \mathbf{e}^{-\frac{1}{9}} \tag{15}$$

$$p_2 = p_{\phi} \times e^{\frac{t + \Delta t}{9}}$$
(16)

Từ các công thức (15), (16), lấy tỷ số p_2/p_1 như sau:

$$\frac{\mathbf{p}_2}{\mathbf{p}_1} = e^{-\frac{t+\Delta t}{9} + \frac{t}{9}} = e^{-\frac{\Delta t}{9}} = e^{-\frac{\Delta t \times \mathbf{a}_1}{1.4 \times r^{0.24} \times r_0^{0.76}}} = e^{-\frac{1}{200000} \times 1500} = e^{-0.041}$$
(17)

trong đó: các tham số được lấy như với công thức (11).

Như vậy, áp lực cực đại sau được ước đoán dựa trên áp lực cực đại trước đó, nên quá trình chuyển trạng thái là $F = e^{-0.041}$. Phương sai nhiễu hệ thống Q được chọn theo thông số kỹ thuật của đầu đo W138A05: giá trị lớn nhất đo được là 1,551 Mpa; Sai số là 2% FS. Do đó, có thể lấy theo trường hợp không chính xác nhất có phương sai lớn nhất $Q = (1,551 \times 0.02)^2 \approx 0.001$

Sai số quan sát H = 1 vì đầu đo cho ra giá trị trực tiếp của áp lực lớn nhất.

Phương sai nhiễu đo đạc R được chọn sao cho sai số xung riêng và thời gian duy trì pha nén tính toán từ đường tín hiệu sau khử nhiễu gần sát nhất so với xung riêng và thời gian duy trì pha nén tính từ lý thuyết trong bảng 1, kết quả được thể hiện trong Hình 4 sau:



Hình 4. Tương quan sai số xung riêng và thời gian duy trì pha nén giữa tín hiệu khử nhiễu đoạn 3 và lý thuyết

Từ Hình 4, chọn phương sai nhiễu đo đạc R = 1,95. Đưa toàn bộ các giá trị tính toán được từ các công thức (13) - (16) vào các công thức (3) - (7), thu được bộ lọc Kalman cho trương hợp khử nhiễu tín hiệu nổ dưới nước với trường hợp lượng nổ 184 gam A - IX - 2 sử dụng trong nghiên cứu như sau:

Bước dự đoán:

$$\hat{\mathbf{p}}_{k}^{-} = \mathbf{e}^{-0.041} \times \hat{\mathbf{p}}_{k-1} \tag{18}$$

$$\sigma_{k}^{-} = e^{-0.041} \times \sigma_{k-1} \times e^{-0.041} + 0,001$$
(19)

Bước đo lường:

$$\mathbf{K}_{k} = \boldsymbol{\sigma}_{k}^{-} \times 1 \times \left(1 \times \boldsymbol{\sigma}_{k}^{-} \times 1 + \mathbf{R}\right)^{-1}$$
(20)

$$\hat{\mathbf{p}}_{k} = \hat{\mathbf{p}}_{k}^{-} + \mathbf{K}_{k} \times \left(\mathbf{p}_{k} - 1 \times \hat{\mathbf{p}}_{k}^{-}\right)$$
(21)

$$\sigma_{k} = (1 - K_{k} \times 1) \times \sigma_{k}^{-}$$
⁽²²⁾

trong đó: \hat{p}_k^- là ước đoán áp suất tiên nghiệm của áp suất hiện tại k; \hat{p}_{k-1} là ước đoán áp suất hậu nghiệm tại áp suất trước k - 1; \hat{p}_k là ước đoạn áp suất hậu nghiệm cho áp suất hiện tại k - đây là kết quả đầu ra của bộ lọc Kalman; p_k là giá trị áp lực máy đo tại thời điểm k. Tham số khác tương tự các công thức (3) - (7).

Ước đoán hậu nghiệm của điểm tín hiệu khử nhiễu đầu tiên lấy đúng bằng giá trị áp suất đỉnh đo được.

5.4. Kết quả khử nhiễu và đánh giá

Kết quả khi áp dụng mô hình EMD - Kalman vào khử nhiễu tín hiệu sóng nổ dưới nước với điều kiện nổ được mô tả trong thí nghiệm được thể hiện trong Hình 5 như sau:



Hình 5. Trực quan hóa kết quả khử nhiễu với tín hiệu điển hình

Hình 5 trình bày kết quả khử nhiễu khi áp dụng thuật toán khử nhiễu EMD - Kalman cho tín hiệu điển hình có trong nghiên cứu, trong đó kết quả phần tín hiệu của sóng tới trong khung màu đỏ được phóng to và thể hiện riêng ở góc trên bên phải. Có thể thấy rằng, về mặt trực quan, nhiễu trong tín hiệu gốc được loại bỏ đáng kể trong khi dạng sóng tổng thể được giữ nguyên, đặc biệt phần sóng tới có dạng sóng sau khi hiệu chỉnh gần giống với quy luật giảm áp từ lý thuyết nổ trong môi trường nước [10].

Để phân tích sâu hơn hiệu quả của quá trình khử nhiễu, các tham số đặc trưng của vụ nổ trong môi trường nước được tính toán lần lượt từ tín hiệu gốc và tín hiệu khử nhiễu, sau đó được so sánh với kết quả tính toán từ lý thuyết. Trong đó, tham số áp suất đỉnh p_{max} dễ dàng tìm được từ tín hiệu với các hàm có sẵn trong Python, các tham số thời gian duy trì pha nén τ^+ và xung riêng I₊ của vụ nổ được minh họa trong Hình 6 như sau.



Hình 6. Minh họa I_+ và τ^+ của từ tín hiệu gốc (a) và tín hiệu khử nhiễu (b)

Trong Hình 6, xung riêng là phần diện tích tô màu đỏ và xanh tương ứng với tín hiệu gốc và tín hiệu khử nhiễu, được xác định bằng tổng Riemann theo công thức sau:

$$I_{+} = \sum_{i=n_{1}}^{n_{2}} p_{i} \Delta t$$
(23)

trong đó: I₊ là xung riêng của pha nén tín hiệu (N.s/m²); p_i là giá trị áp suất tại điểm lấy mẫu thứ i (MPa); Δt là chu kỳ lấy mẫu (s); n₁ là điểm bắt đầu xuất hiện bước nhảy về áp suất; n₂ là điểm giao 0 đầu tiên.

Thời gian duy trì pha nénđư ợc xác định là tổng số lần lấy mẫu tính từ điểm có bước nhảy vọt về áp suất đến điểm đầu tiên giao đường trung hòa (hay điểm giao 0 đầu tiên), rồi nhân với chu kỳ lấy mẫu. Quy luật giảm áp theo lý thuyết của Cole [10] cũng được thêm vào để so sánh. Kết quả tính toán được tổng hợp trong bảng sau.

	Tín hiệu gốc và chênh lệch với lý thuyết		Tín hiệu khử nhiễu và chênh lệch với lý thuyết			Tính từ lý thuyết theo công thức (8), (12)			
STT	p _{max} (MPa)	Xung riêng I ₊ (N.s/m ²)	τ ⁺ (ms)	p _{max} (MPa)	Xung riêng I ₊ (N.s/m ²)	τ ⁺ (ms)	p _{max} (MPa)	Xung riêng I ₊ (N.s/m ²)	τ ⁺ (ms)
1	1,551 5,94%	220,840 10,76%	0,505 17,48%	1,551 5,94%	196,804 1,29%	0,630 2,94%	1,649	199,380	0,612

Bảng 2. Bảng tổng hợp các tham số của vụ nổ dưới nước

Bằng phân tích định tính Hình 6 kết hợp phân tích định lượng Bảng 2, có thể thấy rằng đoạn giảm áp của đường tín hiệu khủ nhiễu gần như trùng khớp với quy luật giảm áp theo lý thuyết [10]. Do nghiên cứu sử dụng giả thiết áp suất cực đại đo được là chính xác để đơn giản hóa thuật toán lọc Kalman nên p_{max} trong cả tín hiệu gốc và tín hiệu khủ nhiễu đều là 1,551 MPa, chênh lệch so với lý thuyết là 5,94 %. Giá trị xung riêng tính từ tín hiệu gốc và tín hiệu khủ nhiễu đần lượt là 220,84 MPa và 196,804 MPa, so sánh với lý thuyết, tín hiệu khủ nhiễu được cải thiện hơn so với tín hiệu gốc là 9,47%. Giá trị thời gian duy trì pha nén tính từ tín hiệu gốc và tín hiệu gốc và tín hiệu mức độ cải thiện lên đến 14,54%.

6. Kết luận và kiến nghị

Nước là một môi trường nhạy cảm với nhiễu động gây ra bởi các nguồn gây nhiễu xung quanh làm cho tín hiệu đo áp suất sóng nổ dưới nước bị biến dạng. Bài báo đã nghiên cứu sử dụng kết hợp các thuật toán xác định các điểm bất thường để phân chia tín hiệu thành các đoạn riêng biệt, sau đó sử dụng các thuật toán khử nhiễu EMD và bộ lọc Kalman cho từng đoạn, phương pháp được gọi chung là mô hình khử nhiễu EMD - Kalman. Mô hình khử nhiễu đã tận dụng tác động của tham số chuyển trạng thái F của bộ lọc Kalman để thiết lập thêm chức năng hiệu chỉnh lại tín hiệu theo lý thuyết truyền sóng trong môi trường nước cho đoạn tín hiệu mô tả quy luật giảm áp. Kết quả cho thấy tín hiệu sau khử nhiễu và hiệu chỉnh trở thành dạng tín hiệu trơn với nhiễu được loại bỏ đáng kể, các tham số đặc trưng nổ được cải thiện đến khoảng 14%, đặc biệt là tín hiệu sau cùng đã xu ất hiện dạng quy luật giảm áp gần giống với lý thuyết nổ trong môi trường nước, đây là quy luật đặc biệt quan trọng đối với tải trọng nổ.

Bài báo là nghiên cứu bước đầu để khử nhiễu tín hiệu đo áp suất sóng nổ trong môi trường nước. Tín hiệu về cơ bản đã được khử nhiễu, dạng tín hiệu giảm áp được hiệu chỉnh với các tham số nổ gần sát với lý thuyết, cho thấy mức độ tin cậy của mô hình khử nhiễu đối với pha nén. Bên cạnh đó, tín hiệu sau cùng đĩng xu ất hiện pha giãn **t**rơng đ ối rõ ràng. Tuy nhiên, đoạn mở đầu pha giãn của tín hiệu gốc còn khá khác biệt so với tín hiệu khử nhiễu, do đó để có thể khẳng định tính toàn diện của mô hình khử nhiễu thì vẫn cần những nghiên cứu sâu thêm.

Tài liệu tham khảo

- [1].H.S.Giao, Đ.T.Thắng, L.V.Quyển, H.T.Chung (2010). Nổ hóa học lý thuyết và thực tiễn. Nhà xuất bản khoa học tự nhiên và công nghệ.
- [2].Đ.T.Thắng, B.X.Nam, T.Q.Hiếu (2015). Nổ mìn trong ngành mỏ và công trình. Nhà xuất bản khoa học tự nhiên và công nghệ.
- [3].Đ.T.Thắng và những người khác (2022). Đề tài cấp Quốc gia, mã số: 32/18 C -ĐTĐL.CN.CNC.
- [4].Đ.T.Thắng, T.Đ.Việt, N.P.Thắng (2020). Sự biến đổi của sóng nổ tại mặt phân cách giữa môi trường nước và môi trường nước chứa bóng khí. *Tạp chí nghiên cứu khoa* học và công nghệ quân sự, số 70.
- [5].Đ.T.Thắng, T.Đ.Việt (2021). Nghiên ứu ảnh hưởng của màn chắn bóng khí đến trường sóng nổ lan truyền trong môi trường nước. *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mồ Địa chất*, tập 62 kỳ 5.
- [6].M.Sun, L.Wu, C.Li, Q.Yuan, Y.Zhou, X.Ouyang (2020). Smooth model of blasting seismic wave signal denoising based on two - stage denoising algorithm. *Journal of Geosystem Engineering*. <u>https://doi.org/10.1080/12269328.2020.1778543</u>
- [7]. Y.Peng, Y.Liu, C.Zhang, L.Wu (2021). A Novel Denoising Model of Underwater Drilling and Blasting Vibration Signal Based on CEEMDAN. *Arabian Journal for Science and Engineering*. <u>https://doi.org/10.1007/s13369 - 020 - 05274 - z</u>
- [8].Z.Liu, Y.Peng (2023). Study on Denoising Method of Vibration Signal Induced by Tunnel Portal Blasting Based on WOA - VMD Algorithm. *Journal of Applied Sciences*. <u>https://doi.org/10.3390/app13053322</u>
- [9].V.T.Lam, D.T.Thang, T.D.Viet (2023). Denoising the shockwave pressure signal of underwater explosion based on EMD - CEEMDAN in consideration of the signal curve curvature. *Journal of Science and Technique, Section on Special Contruction Engineering*, vol.06, no.02. (Dự kiến đăng)
- [10]. R.H.Cole (1948). Underwater explosions. *Princeton University Press*: Princeton, NJ, USA.
- [11]. R.E.Kalman (1960). A new approach to Linear Filtering and Prediction problems. *Journal of Basic Engineering*. <u>https://doi.org/10.1115/1.3662552</u>
- [12]. G.Welch, G.Bishop (2006). An introduction to the Kalman filter. University of North Carolina.
- [13]. https://www.kalmanfilter.net/default.aspx

[14]. L.Li, Y.You (2021). Time - frequency energy analysis of deepwater explosion shock wave signals based on HHT. 2020 2nd International Conference on Computer Science Communication and Network Security, MATEC Web of Conferences, 336. https://doi.org/10.1051/matecconf/202133601017

Adjusting and denoising the shockwave pressure signal of underwater explosion by Empirical Mode Decomposition algorithm with the combination of Kalman filter

Abstract:

In experiments measuring blast wave signals with sensors, including the signals of shockwave pressure of the underwater explosion, the measurement data obtained, also known as analog signals, are often disturbed by many different factors that distort the original waveform, obscuring important characteristics of the signal, and making it hard to use and further analyze the underwater explosion shockwave pressure. Based on the empirical decomposition algorithm (EMD) and the Kalman filter algorithm, along with the signal segmentation algorithm, this article establishes a model that combines these algorithms to eliminate the signal noise of underwater blast wave, which is called EMD - Kalman model using the Python programming code. The denoising model is calibrated by the wave propagation theory in the water environment. Applying this denoising model to the measured signal under detonation of the A - IX - 2 explosive underwater, the result is that high - frequency noise is significantly eliminated. The denoised signal is transformed into a typically smooth explosion waveform, which is close to that of the theoretical pressure drop law, while typical explosion parameters such as peak pressure p_{max} , time of the first positive pressure wave pulse τ^+ , and specific pulse I of the denoised signal are all optimized closer to theory than that of the original signal, the differences decrease from about 18% to only about 3%.

Keywords: Underwater explosions (UNDEX); denoising; empirical mode decomposition (EMD); Kalman filter.

Khảo sát sơ bộ ảnh hưởng của thành phần thẳng đứng của động đất đến phản ứng của kết cấu khung bê tông cốt thép

Hà VănLượng¹, Nguyễn Xuân Đại¹, Nguyễn Văn Tú¹, Nguyễn Hoàng¹

¹ Học viện Kỹ thuật quân sự, 236 Hoàng Quốc Việt, Bắc Từ Liêm, Hà Nội

Tóm tắt

Nội dung tính toán công trình chịu động đất hiện nay chủ yếu quan tâm đến các thành phần nằm ngang mà xem nhệ hoặc bỏ qua ảnh hưởng của các thành phần theo phương thẳng đứng. Tiêu chuẩn thiết kế hiện hành quy định chỉ trong những trường hợp kết cấu đặc biệt mới cần kể đến thành phần động đất theo phương thẳng đứng trong tính toán. Tuy nhiên, thực tế cho thấy gia tốc động đất theo phương thẳng đứng có tác động đáng kể và có thể gây ra các phá hoại đối với kết cấu công trình có ý nghĩa thực tiễn. Bài báo này thực hiện các tính toán sơ bộ ảnh hưởng của thành phần thẳng đứng của tải trọng động đất đến phản ứng của một số dạng kết cấu nhà khung ngoài phạm vi giới hạn của tiêu chuẩn. Kết quả cho thấy thành phần gia tốc thẳng đứng có tác động nhất định đến nội lực của kết cấu, đặc biệt là sự tăng đáng kể về lực dọc trong cột.

Từ khóa: Phổ phản ứng gia tốc, thành phần gia tốc thẳng đứng, tính toán công trình chịu động đất, phân tích theo phổ phản ứng

1. Mở đầu

Động đất là sự giải phóng đột ngột của năng lượng xảy ra trong vỏ trái đất và lan truyền sóng địa chấn đến các công trình trên bề mặt theo cả ba phương.

Trong nhiều thập kỷ qua, các nghiên cứu về tác động của động đất được tập trung chủ yếu vào tác động của các thành phần động đất theo phương ngang đến kết cấu công trình. Trong khi đó, phần lớn các phân tích và thết kế các kết cấu chịu tác động của động đất, đặc biệt là kết cấu khung bê tông cốt thép, thành phần chuyển động thẳng đứng của động đất thường bị bỏ qua (không được xem xét đến) và/hoặc hiếm khi được nghiên cứu xuất phát từ quan niệm vẫn cho rằng phần lớn hư hỏng của kết cấu là do các tác động của thành phần động đất theo phương nằm ngang, còn lại gia tốc động đất theo phương thẳng đứng là nhỏ và không gây ra tác **h**ại đáng kể lên kết cấu công trình. Tuy nhiên, các quan nệm này đang tha y đổi trong bối cảnh quan sát từ thực tế phá hoại của công trình sau khi xảy ra động đất tại nhiều nơi trên thế giới cho thấy ảnh hưởng đáng kể của thành phần thẳng đứng của gia tốc động đất đối với kết cấu công trình. Do đó, hướng nghiên cứu về phản ứng của kết cấu khi chịu tác động của động đất theo cả phương đứng và phương ngang còn giàu tiềm năng khai thác và đã thu hút được sự quan tâm lớn của các nhà nghiên cứu.

Một số tiêu chuẩn thiết kế công trình chịu động đất hiện hành [1 - 3] khuyến nghị phổ phản ứng động đất theo phương thẳng đứng có giá trị thay đổi từ 0.5 đến 0.75 lần giá trị phổ phản ứng theo phương ngang. Phương pháp tiếp cận này dường như không hoàn toàn phù hợp khi quan sát các bản ghi gia tốc trong các trận động đất gần đây cho thấy thành phần gia tốc thẳng đứng có thể đạt tới, thậm chí còn cao hơn các giá trị gia tốc theo phương nằm ngang.

Trong nhiều công bố gần đây, mối quan hệ giữa phổ phản ứng theo phương thẳng đứng và thành phần phương ngang của sóng động đất được ghi lại để nghiên cứu tầm quan trọng của thành phần thẳng đứng của chuyển động đất nền trong phân tích địa chấn. Các kết quả đã

chỉ ra rằng mối quan hệ giữa phổ phản ứng động đất theo phương thẳng đứng và theo phương ngang phụ thuộc nhiều vào chu kỳ dao động và khoảng cách từ địa điểm đến nguồn địa chấn [4, 5]. Nhiều kết quả nghiên cứu trên các công trình (khối xây) cho thấy ảnh hưởng của thành phần thẳng đứng của trận động đất đã dẫn đến hư hỏng nghiêm trọng, thậm chí dẫn đến sự sụp đổ của công trình [6 - 8].

Tác dụng chính của thành phần thẳng đứng của động đất chủ yếu là làm thay đổi lực dọc trong kết cấu cột hơn là thay đổi giá trị lực cắt (mô men uốn) trong kết cấu dầm. Các giá trị lực nén (thậm chí là lực kéo) do quá trình dao động gây ra bởi thành phần theo phương thẳng đứng của động đất có thể tạo ra những hư hỏng của kết cấu và/hoặc giảm khả năng chịu lực khi kết cấu chịu tác động ngang [6, 9, 10]. Ngoài ra, **s**r xuấ t hiện của thành phần kích động theo phương thẳng đứng có thể dẫn đến sự biến đổi trong việc phân bố năng lượng được tiêu tán trong các lết cấu, dẫn đến những yêu cầu cao hơn về khả năng chịu lực của kết cấu cột [9]. Đồng thời, lực dọc khác nhau trong các cột cũng dẫn đến sự thay đổi về ứng xử phi tuyến và dẫn đến những chuyển vị ngang quá mức tại các nút đầu cột [11].

Báo cáo này trình bày các phân tích, đánh giá sơ **b** ảnh hưởng của thành phần thẳng đứng của gia tốc động đất lên kết cấu khung bê tông ốt thép thông qua các phân tích phổ phản ứng bằng phần mềm Etabs. Nội dung cơ sở tính toán trình bày tóm tắt cách tính toán tải trọng động đất theo phương nằm ngang và phương thẳng đứng, các điều kiện cần phải kể đến tác động của thành phần động đất theo phương thẳng đứng được quy định theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9386:2012 [12]. Các thành plần phổ phản ứng gia tốc động đất được tự động tính toán trong Etabs, với giá trị gia tốc tham chiếu tại Cầu Diễn, Hà Nội theo tiêu chuẩn TCVN 9386:2012. Ba mô hình **k**t cấu bê tông cốt thép điển hình nằm ngoài phạm vi quy định của TCVN 9386:2012 (nghĩa là, tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 khuyến nghị không cần tính toán) được lựa chọn nhằm đánh giá ảnh hưởng của thành phần động đất theo phương thẳng đứng, lực cất trong cột hầu như không thay đổi, nhưng lực dọc của cột tăng đáng kể, ngay cả với các kết cấu mà tiêu chuẩn quy định không cần kể đến thành phần gia tốc theo phương thẳng đứng.

2. Tính toán phổ phản ứng gia tốc theo TCVN 9386:2012

Theo quy định của tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9386:2012, chuyển động động đất tại một điểm cho trước trên bề mặt được biểu diễn bằng phổ phản ứng gia tốc đàn hồi, gồm ba thành phần (hai thành phần nằm ngang vuông góc và một thành phần thẳng đứng).

a. Thành phần nằm ngang của động đất

Với các thành phần nằm ngang của tác động động đất, phổ phản ứng đàn hồi $S_e(T)$ đối với các chu kỳ dao động ngắn hơn 4.0s được xác định bằng các công thức sau:

$$0 \leq T \leq T_{B}: S_{e}(T) = a_{g}.S.\left[1 + (2, 5.\eta - 1)\frac{T}{T_{B}}\right]$$

$$T_{B} \leq T \leq T_{C}: S_{e}(T) = 2, 5.a_{g}.S.\eta$$

$$T_{C} \leq T \leq T_{D}: S_{e}(T) = 2, 5.a_{g}.S.\eta.\frac{T_{C}}{T}$$

$$T_{D} \leq T \leq 4s: S_{e}(T) = 2, 5.a_{g}.S.\eta.\frac{T_{C}.T_{D}}{T^{2}}$$
(1)

Với chu kỳ dao động dài hơn 4.0s, TCVN 9386:2012 không có chỉ dẫn rõ ràng. Khi đó, dựa theo tiêu chuẩn nguồn Eurocode 8 [52], phổ phản ứng gia tốc đàn hồi được tính toán từ phổ phản ứng chuyển vị đàn hồi $S_{de}(T)$, với $S_{de}(T)$ được định nghĩa như sau [12]:

$$T_{E} \leq T \leq T_{F} : S_{de}(T) = 0,025a_{g}.S.T_{C}.T_{D}.\left[2,5.\eta + \left(\frac{T - T_{E}}{T_{F} - T_{E}}\right)(1 - 2,5.\eta)\right]$$

$$T_{F} \leq T : \qquad S_{de}(T) = 0,025.a_{g}.S.T_{C}.T_{D}$$
(2)

trong đó, $a_g (a_g = \gamma_I \times a_{gR})$ là gia tốc nền thiết kế với nền loại A;

 γ_I là hệ số tầm quan trọng, a_{gR} là đỉnh gia tốc nền tham chiếu;

S là hệ số nền;

 η là hệ số điều chỉnh phụ thuộc vào độ cản nhớt $\xi(\%)$.

T là chu lỳ dao động của kết cấu, T _B, T_C, T_D, T_E, T_F là các giới hạn chu kỳ của phổ phản ứng gia tốc, phụ thuộc vào loại nền đất và được lấy trong Bảng 1.

Loại nền đất	S	T _B	T _C	TD
А	1	0,15	0,4	2
В	1,2	0,15	0,5	2
С	1,15	0,2	0,6	2
D	1,35	0,2	0,8	2
E	1,4	0,15	0,5	2

Bảng 1. Tham số mô tả phổ phản ứng đàn hồi theo TCVN 9386:2012 [12]

b. Thành phần thẳng đứng của động đất

Thành phần thẳng đứng của tác động động đất phải được thể hiện bằng phổ phản ứng đàn hồi, $S_{ve}(T)$, được xác định bằng cách sử dụng các biểu thức:

$$0 \leq T \leq T_{B}: S_{e}(T) = a_{vg} \left[1 + \frac{T}{T_{B}} (3, 0\eta - 1) \right]$$

$$T_{B} \leq T \leq T_{C}: S_{e}(T) = 3, 0.a_{vg}.\eta$$

$$T_{C} \leq T \leq T_{D}: S_{e}(T) = 3, 0.a_{vg}.\eta.\frac{T_{C}}{T}$$

$$T_{D} \leq T \leq 4s: S_{e}(T) = 3, 0.a_{vg}.\eta.\frac{T_{C}.T_{D}}{T^{2}}$$
(3)

trong đó, avg là gia tốc nền thiết kế tham chiếu với ag như trong Bảng 2;

 η là hệ số điều chỉnh phụ thuộc vào độ cản nhớt $\xi(\%)$;

T là chu kỳ dao động của kết cấu, T_B , T_C và T_D là giá trị các tham số mô tả các phổ thẳng đứng được cho trong Bảng 2.

Bảng 2. Giá trị các tham số mô tả phổ phản ứng đàn hồi theo phương thẳng đứng

a_{vg}/a_{g}	$T_B(s)$	$T_{C}(s)$	$T_D(s)$
0,90	0,05	0,15	1,0

c. Các quy định khi tính đến thành phần thẳng đứng của động đất

TCVN 9386:2012 quy định trường hợp phải tính đến thành phần thẳng đứng của động đất như sau:

Nếu a_{vg} lớn hơn 0,25g (2,5 m/s²) thì thành phần thẳng đứng của tác động động đất, cần được xét trong các trường hợp sau:

- Các bộ phận kết cấu nằm ngang hoặc gần như nằm ngang có nhịp bằng hoặc lớn hơn 20m;

- Các thành phần kết cấu dạng côngxôn nằm ngang hoặc gần như nằm ngang dài hơn 5m;

- Các thành phần kết cấu ứng lực trước nằm ngang hoặc gần như nằm ngang;

- Các dầm đỡ cột;

- Các kết cấu có cách chấn đáy.

3. Mô hình phân tích kết cấu

a. Mô hình kết cấu

Kết cấu sử dụng trong phân tích là dạng kết cấu nhà khung bê tông cốt thép (BTCT), vật liệu bê tông B20 (theo TCVN 5574:2018), chân cột được liên kết với nền dạng ngàm.

Trong phạm vi bài báo này, nhóm tác giả phân tích với 03 mô hình kết cấu khác nhau.

- Mô hình 1: kết cấu khung BTCT 1 tầng cao 3,9m, kích thước mặt bằng 4m x 6m, tiết diện cột 0,25 x 0,4m, tiết diện dầm chính 0,22 x 0,55m, dầm phụ 0,22m x 0,35m, sàn dày 0,15m[*Hình 1*.(a)].

- Mô hình 2: Kết cấu khung BTCT 1 tầng cao 3,9m, kích thước mặt bằng 6m x 6m, tiết diện cột 0,4 x 0,4m, tiết diện dầm 0,22 x 0,55m, sàn dày 0,15m [*Hình 1*.(b)].

- Mô hình 3: Kết cấu khung BTCT 3 tầng, tầng 1 cao 3,9m, tầng 2 và tầng 3 cao 3,6m, kích thước mặt bằng 4m x 6m, tiết diện cột 0,25 x 0,4m, tiết diện dầm chính 0,22 x 0,55m, dầm phụ 0,22m x 0,35m, sàn dày 0,15m[*Hình 1*.(c)].



Hình 1. Mô hình kết cấu dùng trong phân tích

b. Tải trọng tác dụng

Tĩnh tải (TT): ngoài trọng lượng bản thân kết cấu, tĩnh tải phân bố đều trên sàn được tính toán bằng trọng lượng các lớp hoàn thiện và hệ thống kỹ thuật quy đổi theo tiêu chuẩn TCVN 2737:2023, giá trị 1,3kN/m².

Hoạt tải (HT) trên tất cả các ô sàn lấy gần đúng bằng 2,0 kN/m².

Khối lượng dao động trong tính toán động đất (Mass Source) gồm trọng lượng bản thân kết cấu và phần khối lượng kể đến tĩnh tải và hoạt tải trên sàn theo tỷ lệ TT + 0,24HT.

Tải trọng động đất: Gia tốc động đất lấy tại Cầu Diễn, Hà Nội với $a_{gr} = 0,1081g$. Giả thiết công trình nằm trên nền đất loại B (theo TCVN 9386:2012), tỷ số cản 5%. Trong phạm vi nghiên cứu này, tác giả thực hiện phân tích nhằm đánh giá ảnh hưởng của thành phần gia tốc động đất theo phương thẳng đứng đến phản ứng của kết cấu. Do đó, các phân tích được thực hiện với giả thiết kết cấu được thiết kế đảm bảo làm việc ở trạng thái đàn hồi khi chịu tác dụng của phổ phản ứng gia tốc đàn hồi theo tiêu chuẩn. Phổ phản ứng gia tốc đàn hồi của thành phần nằm ngang và thành phần thẳng đứng được khai báo trong phần mềm Etabs V19 và thể hiện tương ứng như *Hình 2* (a) và (b).



Hình 2. Phổ phản ứng động đất: (a) thành phần nằm ngang, (b) thành phần thẳng đứng

c. Kết quả phân tích

Mô hình các kết cấu được phân tích bằng phần mềm Etabs bằng phương pháp phổ phản ứng. Do kết cấu được phân tích ở trạng thái đàn hồi, do đó nội lực trong kết cấu được xem xét là hệ quả của tổ hợp các tác động của động đất lên kết cấu. Trong phạm vi nghiên cứu này, với mỗi mô hình phân tích, tác giả giới hạn phạm vi xem xét đánh giá với một (01) tổ hợp như sau:

Kết cấu chỉ chịu tác động của hai thành phần động đất theo phương ngang:

$$E_{E_{dx}} + 0.30E_{E_{dy}}$$
 (4)

Với kết cấu chịu tác động của cả ba thành phần động đất:

$$E_{E_{dx}} + 0.30E_{E_{dy}} + 0.30E_{E_{dz}}$$
(5)

Kết quả phân tích được khảo sát thông qua lực cắt và lực dọc trong cột. Hình 3 thể hiện so sánh lực dọc trong cột giữa kết cấu chỉ chịu gia tốc theo phương ngang (Hình 3.a) và kết cấu chịu gia tốc theo phương ngang và phương thẳng đứng (Hình 3.b).



Hình 3. So sánh kết quả lực dọc trong mô Hình 1

Nhận xét: khi kể đến thành phần động đất theo phương thẳng đứng, giá trị lực dọc trong cột tăng đáng kể khi so sánh với trường hợp chỉ xem xét thành phần động đất theo phương ngang. Cụ thể, lực dọc lớn nhất trong Hình 3.a là 25,46kN, trong Hình 3.b là 28,58kN, tăng 12,25%.



Hình 4. So sánh kết quả lực cắt trong mô Hình 1

Hình 4 thể hiện kết quả so sánh lực cắt trong mô Hình 1. Kết quả cho thấy, lực cắt trong cột tăng không đáng kể khi kể đến ảnh hưởng của thành phần thẳng đứng của động đất.

Tỷ lệ tương đối của các thành phần tải trọng tham gia vào các dạng dao động của hệ kết cấu được khảo sát qua đại lượng vô hướng là hệ số tham gia dạng dao động "Modal Load Participation Ratios", thể hiện trong bảng sau:

Case	ItemType	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	99.98
Modal	Acceleration	UY	100	100
Modal	Acceleration	UZ	98.8	68.18

Bảng 3. Tỷ lệ tham gia dao động của các thành phần tải trọng

Kết quả cho thấy, tỷ lệ tham gia của thành phần thẳng đứng vào các dạng dao động chỉ chiếm 68% so với các thành phần nằm ngang (khoảng 100%). Tuy nhiên, sự tham gia của thành phần thẳng đứng như vậy cũng có ý nghĩa đáng kể và góp phần làm tăng lực dọc trong cột (như kết quả trong Hình 3).

Tiến hành phân tích tương tự đối với mô Hình 2 và mô Hình 3. Kết quả phân tích mô Hình 3 như sau.

Hình 5 trình bày kết quả so sánh lực dọc trong cột giữa mô hình chỉ chịu tác động của các thành phần nằm ngang và mô hình có kể đến ảnh hưởng của thành phần thẳng đứng. So sánh giữa hai mô hình, ta nhận thấy lực dọc trong cột khi kể đến thành phần thẳng đứng luôn lớn hơn khi chỉ có các thành phần nằm ngang. Cụ thể, khi kể đến thành phần thẳng đứng, lực dọc trong cột tầng 1 tăng 6.76 kN (bằng 3,8%), trong tầng 2 tăng 4,93kN (bằng 5,4%) và trong tầng 3 tăng 3,8 kN (bằng 13,8%).



Hình 5. So sánh kết quả lực dọc trong mô Hình 3

Hình 6 thể hiện kết quả so sánh lực cắt giữa hai trường hợp. Kết quả thu được tương tự như kết quả trong mô Hình 1, nghĩa là việc kể đến thành phần thẳng đứng của động đất có tác động không đáng kể đến lực cắt xuất hiện trong cột.



Hình 6. So sánh kết quả lực cắt trong mô Hình 3

Tỷ lệ tương đối của các thành phần tải trọng tham gia vào các dạng dao động của hệ kết cấu được thể hiện trong bảng sau:

Case	ItemType	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	99.99
Modal	Acceleration	UY	100	100
Modal	Acceleration	UZ	91.96	59.91

Bảng 4. Tỷ lệ tham gia dao động của các thành phần tải trọng

Kết quả phân tích giữa ba mô hình được thể hiện chi tiết trong bảng sau:
Mô hình	Phần tử	Không kể đến S_{vg}	Có kể đến S _{vg}	Độ tăng
	Cột C3			
	Lực dọc	25.4618	28.5814	12.3%
	Lực cắt	29.8547	30.478	2.1%
1	Mô men uốn	62.8856	63.6825	1.3%
	Dầm B1			
	Lực cắt	18.6799	20.8835	11.8%
	Mô men uốn	45.6391	46.5534	2.0%
	Cột C1			
	Lực dọc	25.3146	29.6402	17.1%
	Lực cắt	44.1866	45.1621	2.2%
2	Mô men uốn	96.846	98.0927	1.3%
	Dầm B5			
	Lực cắt	23.7463	25.9517	9.3%
	Mô men uốn	62.2451	63.2538	1.6%
	Cột C3, tầng 3			
	Lực dọc	27.5978	31.3953	13.8%
	Lực cắt	31.4016	32.1562	2.4%
	Mô men uốn	48.548	49.6646	2.3%
	Cột C3, tầng 2			
	Lực dọc	91.5825	96.5156	5.4%
	Lực cắt	55.6435	56.3187	1.2%
3	Mô men uốn	95.1892	96.5651	1.4%
	Cột C3, tầng 1			
	Lực dọc	178.6896	185.4481	3.8%
	Lực cắt	68.7463	69.2298	0.7%
	Mô men uốn	152.9803	153.5992	0.4%
	Dầm B8, tầng 1			
	Lực cắt	72.2076	74.798	3.6%
	Mô men uốn	178.6836	180.3461	0.9%

Bảng 5. So sánh kết quả phân tích của 3 mô hình

4. Kết luận

Ånh hưởng của chuyển động thẳng đứng lên phản ứng động đất của khung bê tông cốt thép ngoài phạm vi giới hạn của tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 đã được nghiên cứu bằng mô hình phân tích số. Kết quả cho thấy, các thành phần nội lực của kết cấu đều tăng khi xem xét đến thành phần thẳng đứng của động đất trong tính toán. Sự mở rộng kích thước của ô sàn làm tăng đáng lể giá trị lực dọc trong cột. Trong khuôn phổ nghiên cứu sơ bộ này, k ết quả phân tích cho thấy tầm quan trọng của việc xem xét đến ảnh hưởng của thành phần động đất theo phương thẳng đứng khi phân tích kết cấu công trình. Các nội dung phân tích chuyên sâu về phản ứng phi tuyến của kết cấu, phân tích theo lịch sử thời gian cần được tiến hành để kiểm chứng các kết quả sơ bộ đề từ đó làm căn cứ đề xuất các nội dung cải thiện và hoàn thiện phương pháp phân tích kết cấu công trình chịu động đất.

Tài liệu tham khảo

- [1]. ASCE/SEI 41 13, Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers, 2014.
- [2]. AASHTO, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 9th Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2020.
- [3]. NRCC, National building code of Canada (NBCC). National Research Council of Canada, Associate Committee on the National Building Code., 2015.
- [4]. Y. Bozorgnia, M. Niazi, K.W. Campbell, "Characteristics of free field vertical ground motion during the Northridge earthquake", Earthquake spectra, 11, 515 -525, 1995.
- [5]. A. Elgamal, L. He, "Vertical earthquake ground motion records: an overview", Journal of Earthquake Engineering, 8, 663 697, 2004.
- [6]. A. Papazoglou, A. Elnashai, "Analytical and field evidence of the damaging effect of vertical earthquake ground motion", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 25, 1109 - 1137, 1996.
- [7]. M.A. Saadeghvaziri, D.A. Foutch, "Behavior of RC columns under nonproportionally varying axial load", Journal of Structural Engineering, 116, 1835 - 1856, 1990.
- [8]. A. Ghobarah, A. Elnashai, Contribution of vertical ground motion to the damage of RC buildings, Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering, AA Balkema Rotterdam, pp. 9 - 13, 1998.
- [9]. L. Decanini, L. Liberatore, F. Mollaioli, Response of bare and infilled RC frames under the effect of horizontal and vertical seismic excitation, 12th European Conf. on Earthquake Engineering, pp. p164, 2002.
- [10]. M.A. Fathali, S.R.H. Vaez, "Optimum performance based design of eccentrically braced frames", Engineering Structures, 202, 109857, 2020.
- [11]. P. Diotallevi, L. Landi, Response of RC structures subjected to horizontal and vertical ground motions, Proceedings of the" 100th Anniversary Earthquake Conference Commemorating the 1906 San Francisco Earthquake", Mira Digital Publishing, pp. 1 - 10, 2006.
- [12]. TCVN 9386:2012, Vietnam national standard Design of structures for earthquake resistances. Ministry of Science and Technology, 2012.

Preliminary investigation of effects of the seismic vertical component on the seismic response of reinforced concrete frame structures

Abstract:

Current earthquake - resistant designs mainly focus on horizontal components while overlooking and/or ignoring the impacts of vertical components. The seismic design standards specify that only in special structural cases, the vertical earthquake component need to be considered. However, observation from the reality shows that seismic vertical component has a significant impact and can cause damage to structures. Researching and evaluating the effects of the seismic vertical component on building structures has practical significance. This paper performs preliminary calculations on the influence of the seismic vertical component on the response of some typical frame building structures beyond the limits of the standard. The results show that the seismic vertical component provides a significant impact on the internal force of the structure, especially the significant increase in the axial force in the column.

Keywords: Acceleration response spectrum, seismic vertical component, seismic - resistant design, response spectrum analysis.

Nguyễn Tiến Nam^{1*}, Hoàng Thị Khánh Vân¹, Phạm Đức Tiệp¹

¹Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt, Học viện Kỹ thuật quân sự, ^{*}Email: <u>nguyentiennam@lqdtu.edu.vn</u>

Tóm tắt

Sử dụng thùng chìm trọng lực (Caisson) trong xây dựng các công trình bảo vệ bờ biên, công trình neo đậu - tránh bão, công trình bảo vệ đảo, cảng và sân bay trên đảo xa, v.v... đã rất phổ biến trên Thế giới. Hiện nay,ở Việt Nam cũng đã và đang triển khai nhiều dự án sử dụng thùng chìm trọng lực làm kết cấu chính trong quá trình xây dựng các công trình lấn biển, mở rông đảo, công trình bảo vê đảo, bến cảng, đê chắn sóng, v.v...Công nghệ thi công thùng chìm rất đa dạng, phong phú nhưng có thể phân thành hai dạng chính như sau: sản xuất thùng chìm tại bãi đúc trên cạn rồi hạ thủy lắp đặt và sản xuất thùng chìm trên ụ nổi (floating dock) sau đó hạ thủy lắp đặt. Quá trình thi công lắp đặt thùng chìm được chia thành các công đoạn chính như sau: Sản xuất chế tạo thùng chìm, hạ thủy, lai dắt và lắp đặt vào vị trí. Biện pháp kỹ thuật và tổ chức thi công (phương án thi công) của các công đoạn sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng, tiến độ,an toàn lao động và tính hiệu quả của toàn dự án.Nhưng, vấn đề này chưa được quan tâm đúng mức ở các đơn vi nhà thầu thi công xây dựng và chủ đầu tự. Do đó, cần phải có những nghiên cứu đánh giá so sánh các phương án thi công, từ đó lưa chon phương án tốt nhất. Bài báo giới thiệu kết quả tính toán, đánh giá và lựa chọn phương án thi công thùng chìm theo phương pháp phân tích thứ bâc (AHP) với nguyên tắc so sánh cặp các tiêu chí. Kết quả tính toán và so sánh cho thấy, phương án sản xuất thùng chìm tại bãi đúc trên bờ với các ưu điểm như là quá từnh sản xuất thùng chìm bê tông cốt thép không bị ảnh hưởng bởi sóng biến, dễ dàng kiểm soát chất lượng, thời gian thi công nhanh,hệ thống thiết bị thi công đơn giản và hiệu quả đã trở thành phương án lựa chọn tốt nhất, phù hợp nhất.

Từ khóa: Phân tích thứ bậc(AHP), Thi công thùng chìm (Caisson), Lựa chọn phương án thi công.

1. Mở đầu

Việt Nam là quốc gia có nhiều tiềm năng, lợi thế để phát triển kinh tế biển với đường bờ biển dài trên 3.260km; khoảng hơn 4.000 đảo và quần đảo lớn nhỏ, trong đó, hai quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa có vị trí chiến lược rất quan trọng;các vùng biển thuộc chủ quyền, quyền chủ quyền và quyền tài phán quốc gia rộng hơn 1 triệu km² (trải dài trên 28 tỉnh, thành phố ven biển) [1]. Chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045 đặt ra mục tiêu đưa Việt Nam trở thành quốc gia mạnh về biển, có sự phát triển bền vững, thịnh vượng gắn liền với bảo đảm quốc phòng, an ninh, giữ vững độc lập, chủ quyền và toàn vẹn lãnh thổ...[2]. Đặt ra nhiệm vụ xây dựng các công trình bảo vệ bờ biển, công trình neo đậu - tránh bão, cầu cảng - sân bay trên đảo, công trình lấn biển, mở rộng đảo...là yêu cầu cấp thiết hiện nay.

Để xây dựng các công trình bến cảng và khu neo đậu tàu, hiện nay ở nước ta đã có nhiều giải pháp kết cấu có thể kể tên sau đây: Kết cấu dạng trọng lực (Thùng chìm hoặc khối xếp), kết cấu cầu cảng trên nền cọc (Cọc đóng, cọc khoan nhồi,...) và kết cấu bến tường cừ (Tường cừ BTCT ứng lực trước,...). Tuy nhiên, điều kiện địa chất ở các đảo và thềm san hô ở Việt Nam thì chủ yếu là cát san hô lẫn cành nhánh và san hô cục tảng. Do đó, các giải giáp như kết cấu móng sâu hay kết cấu tường mềm đều không khả thi trong điều kiện công nghệ

phân tích thứ bậc (AHP)

thi công hiện nay. Kết cấu bến dạng thùng chìm có nhiều ưu điểm như sau: xử lý nền móng đơn giản, quá trình thi công không phức tạp, tính ổn định cao, độ cứng tổng thể lớn, v.v...

Thùng chìm trọng lực là kết cấu khối hộp bằng bê tông cốt thép, được sử dụng để xây dựng các công trình như đe chắn sóng, công trình ngăn dòng lấn biển, âu tàu và cảng biển với các kích thước đa dạng đã được ứng dụng phổ biến trên Thế giới. Ở Việt Nam đã có rất nhiều công trình sử dụng thùng chìm BTCT thông thr ờng như: Công trình tôn tạo đảo Đá Tây, đảo Trường Sa Lớn (Trường Sa), bến cảng và đê chắn sóng đảo Phú Quý (Bình Thuận), cảng Cái Lân (Quảng Ninh), đê chắn sóng cảng Tiên Sa (Đà Nẵng) (*Hình 1 - Quá trình lắp đặt thùng chìm kích thr ớc BxHxL = 18x10,5x20m với trọng lượng 1.930 tấn tại cảng Tiên Sa - Đà Nẵng 2006*). Hiện nay, đã và đang có nh ững dự án sử dụng thùng chìm BTCT làm kết cấu chịu lực chính để xây dựng các Âu tàu - Bến neo đậu ở Trường Sa.



Hình 1. Lắp đặt thùng chìm tại cảng Tiên Sa - Đà Nẵng

Thế giới và Việt Nam đã có các nghiên cứu liên quan đến thùng chìm trọng lực, có thể kể ra một số nhà khoa học sau đây: Gedda A.B.,Pedro Pérez - Díaz, Eduardo Cejuela, Vicente Negro, Nguyễn Huy Khôi, Nguyễn Trung Anh... Các nghiên cứu mới chỉ quan tâm đến các vấn đề như: Tính toán khả năng chịu lực, ổn định tổng thể, các dạng hư hỏng của thùng chìm, khả năng tiêu tán sóng và hấp thụ sóng của các dạng thùng chìm, vật liệu làm thùng chìm..., mà chưa quan tâm đến biện pháp kỹ thuật và tổ chức thi công lấp đặt thùng chìm (phương án thi công) [3 - 6].

Việc tính toán và lựa chọn phương án thi công sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng, tiến độ, an toàn lao động và tính hiệu quả của toàn dự án. Do đó, cần phải tính toán, so sánh giữa các phương án thi công dựa trên các tiêu chí như là: Kiểm soát chất lượng, hiệu quả kinh tế, thời gian thi công, hệ thống phục vụ thi công... Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) là phương pháp cho phép xem xét, đánh giá đồng thời các tiêu chí khi lựa chọn phương án công nghệ xây dựng với nguyên tắc so sánh cặp, phân tích, đánh giá và tổng hợp.

2. Phương pháp

Phương pháp AHP là một trong những phương pháp ra quyết định đa mục tiêu được giới thiệu bởi nhà toán học T. L. Saaty vào năm 1980 [7]. Hiện nay, AHP được dùng rộng rãi

như một công cụ linh hoạt để phân tích ra quyết định với nhiều tiêu chí, cho phép nhìn thấy rõ ràng các tiêu chí thẩm định, quyết định nhiều thuộc tính và được ứng dụng trong lĩnh vực khoa học tự nhiên, kinh tế, xã hội, y tế và quản lý nhân sự [8, 9]. Bên cạnh đó, AHP còn được ứng dụng trong lựa chọn đơn vị dịch vụ cung ứng và phân phối với các yếu tố giá cả, chất lượng, thời gian, rủi ro, logistics, giải quyết được mâu thuẫn tối thiểu chi phí đầu vào như nguyên vật liệu, lao động, tồn kho trong khi tối đa hóa lợi nhuận [10, 11]. AHP còn được áp dụng vào các ĩnh vực liên quan đến quản lý như là: đo lư ờng hiệu quả hoạt động, đánh giá quy trình quản lý chất lượng, đánh giá dự án đầu tư, thiết kế hệ thống, lựa chọn phương án công nghệ, máy móc thiết bị [12 - 14]. Tóm lại, việc sử dụng AHP đã phổ biến, nhiều nghiên cứu đã kết hợp AHP với các phương pháp và công cụ khác như các mô ì**h**h toán học, Quality Function Deployment, Metaheuristics... trong việc giải quyết vấn đề.

2.1 Nội dung phương pháp phân tích thứ bậc (AHP)

Bài toán ra quyết định đa tiêu chí được mô hình hóa ở Hình 2. Trong đó, hàm mục tiêu cần ra quyết định dựa trên nhiều tiêu chí (C1, C2...Cn). Các phương án có thể đưa vào so sánh là PA1, PA2...PAm.



Hình 2. Sơ đồ mô tả bài toán phân tích thứ bậc

Dựa trên nguyên tắc so sánh cặp, phương pháp AHP có thể mô tả với 3 nguyên tắc chính, đó là phân tích, đánh giá và tổng hợp. Phương pháp AHP được tiến hành theo trình tự các bước như sau:

Bước 1: Xác định mức độ ưu tiên cho các tiêu chí

Tiến hành thực hiện việc so sánh n tiêu chí theo từng cặp, mức độ quan trọng của các cặp tiêu chí (bảng 1). Kết quả so sánh cặp giữa các tiêu chí được ma trận vuông cấp n (bảng 2), với các phần tử $a_{i,j} = 1/a_{j,i}$ với (i,j = 1,n); $a_{i,j} = 1$ khi i = j. Các phần tử a_{ij} là giá trị trung bình cộng của các kết quả đánh giá của các chuyên gia.

Mức độ quan trọng	Định nghĩa	Giải thích
1	Quan trọng bằng nhau (equal)	Hai yếu tố có mức độ quan trọng như
1		nhau
3	Sự quan trọng yếu giữa một yếu tố	Kinh nghiệm và nhận định hơi
5	này trên yếu tố kia (moderate)	nghiêng về yếu tố này hơn yếu tố kia
5	Quan trọng nhiều giữa yếu tố này	Kinh nghiệm và nhận định nghiêng
5	và yếu tố kia (strong)	mạnh về cái này hơn cái kia

Bảng 1. Đánh giá các tiêu chí theo cặp dựa vào mức độ quan trọng [15 - 17]

	Sự quan trọng biểu lộ rất mạnh	Một yếu tố được ưu tiên rất nhiều hơn
7	giữa yếu tố này hơn yếu tố kia	cái kia và được biểu lộ trong thực
	(very strong)	hành
0	Sự quan trọng tuyệt đối giữa yếu tố	Sự quan trọng hơn hẳn của một yếu tố
9	này hơn yếu tố kia (extreme)	ở trên mức có thể
2168	Mức trung gian giữa các mức nêu	Cần sự thỏa hiệp giữa hai mức độ
2,4,6,8	trên	nhận định

Hệ số của ma trận được lấy từ điểm số từ 1 đến 9 của việc so sánh tầm quan trọng giữa các thành phần, yếu tố hay các tiêu chí [18]. Giá trị hệ số ma trận tương quan hoàn toàn phụ thuộc vào tính chủ quan của đội ngũ chuyên gia trong việc định lượng trọng số cho các mục tiêu. Đây cũng chính là nhược điểm lớn nhất của phương pháp này. Để hạn chế nhược điểm này của AHP, nhiều nghiên cứu đã đ ề xuất sử dụng F - ANP (Fuzzy ANP), giá trị so sánh được lấy ý kiến chuyên gia theo từng cặp [19]

Tiêu chí	C ₁	C ₂	C ₃	•••	Cn
C ₁	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₂		a _{1n}
C ₂	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃		a _{2n}
C ₃	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃		a _{3n}
•••					
Cn	a _{n1}	a _{n2}	a _{n3}		a _{nn}

Bảng 2. Ma trận so sánh cặp giữa các tiêu chí

Bước 2: Tính toán trọng số cho các tiêu chí

Sau khi lập xong ma trận so sánh cặp giữa các tiêu chí (ma trận vuông cấp n), tiến hành xác định giá trị các phần tử trong ma trận trọng số giữa các tiêu chí theo biểu thức (1) [20].

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}}$$
(1)

Trọng số của mỗi tiêu chí C_1 , C_2 , C_3 ,... C_n tương ứng sẽ được xác định theo biểu thức (2). Kết quả là ta được một ma trận 1 cột n hàng.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} b_{ij}}{n}$$
(2)

trong đó: w_i là điểm trọng số của tiêu chí i và $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$

Tiêu chí	C ₁	C2	C ₃	 Cn	Trọng số
C1	b ₁₁	b ₁₂	b ₁₂	b _{1n}	W1
C ₂	b ₂₁	b ₂₂	b ₂₃	b _{2n}	W ₂
C ₃	b ₃₁	b ₃₂	b ₃₃	b _{3n}	W3
Cn	b _{n1}	b _{n2}	b _{n3}	b _{nn}	Wn

Bảng 3. Ma trận trọng số giữa các tiêu chí

Tuy nhiên, cần phải kiểm tra tính nhất quán trong cách đánh giá của các chuyên gia trong suốt quá trình áp dụng phương pháp. Tỷ lệ nhất quán (consistency ratio – CR) được xác định như sau [15]:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$
(3)

trong đó:

CI - Chỉ số nhất quán, được xác định như sau:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$
(4)

Với λ_{max} là giá trị riêng của ma trận so sánh được tính như sau:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} \left(\sum a_{ij} \times w_i \right) \times \frac{1}{w_i}$$
(5)

n là số phần tử được so sánh theo cặp trong một lần tính toán, chính là kích thước ma trận tính toán.

RI - Chỉ số ngẫu nhiên, được xác định từ Bảng 4 (cho sẵn với tối đa 15 tiêu chí).

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

Bảng 4. Chỉ số ngẫu nhiên ứng với số tiêu chí lựa chọn được xem xét [9]

Trong mọi trường hợp, CR cần không lớn hơn 10%. Với các ma trận kích thước 3x3, CR cần không lớn hơn 5% và giá trị tương ứng cho ma trận kích thước 4x4 là 9%. Nếu CR lớn hơn các mức vừa đề cập, chứng tỏ có sự không nhất quán trong đánh giá của chuyên gia và cần phải đánh giá và tính toán lại [21].

Bước 3: Tính độ ưu tiên của các phương án theo từng tiêu chí

Ở bước này sẽ tính toán cho từng tiêu chí, cách tính toán giống như trong bước 1 và bước 2, những số liệu đưa vào đánh giá là kết quả so sánh mức độ ưu tiên của các phương án xem xét theo từng tiêu chí (theo ý kiến các chuyên gia). Như thế, đánh giá phải thực hiện n ma trận cho n tiêu chí khác nhau. Kết quả là ta có n ma trận 1 cột m hàng (m phương án). Cũng cần tiến hành kiểm tra tỷ số nhất quán để đảm bảo kết quả thu được có độ tin cậy phù hợp.

Bước 4: Tính điểm cho các phương án và lựa chọn

Đây là bước cuối cùng trong quá trìnhđánh giá và đưa ra phương án. T ừ bước 3 tổng hợp được ma trận trọng số các phương án theo các tiêu chí. Nhân ma trận này với ma trận trọng số các tiêu chí là kết quả của bước 2, được kết quả là một ma trận m hàng (m phương án) 1 cột (giá trị trọng số). Ma trận kết quả sẽ cho biết phương án tốt nhất nên chọn, là phương án có giá trị trọng số cao nhất.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thành lập tổ chuyên gia

Để lựa chọn phương án thi công thùng ì**ch**, tác gi ả đã phỏng vấn chuyên gia, tổ chuyên gia gồm những cán bộ kỹ thuật, kỹ sư chính có kinh nghiệm lâu năm trong hoạt động

xây lắp công trình thủy công. Tổ chuyên gia 05 người gồm 03 cán bộ trình độ kỹ sư xây dựng công trình thủy, có kinh nghiệm trên 15 năm công tác thi công các công tình bến cảng - âu tàu, đã và đang giữ vị trí chỉ huy trưởng công trường, 02 chuyên gia đang giảng dạy và nghiên cứu về kỹ thuật và tổ chức thi công xây dựng, kinh tế xây dựng.

Trên cơ sở các mục tiêu, ràng buộc và điều kiện của dự án âu tàu cần thực hiện, các chuyên gia sẽ đưa ra các tiêu chí sàng lọc, các tiêu chí lựa chọn phương án và quyết định mức độ ưu tiên tương đối của các tiêu chí trên cơ sở so sánh cặp.

Bài báo nghiên cứu sử dụng quy trình áp dụng phương pháp AHP để lựa chọn phương án thi công thùng chìm như Hình 3.



Hình 3. Quy trình áp dụng phương pháp AHP để lựa chọn phương án thi công thùng chìm

3.2. Lựa chọn phương án thi công thùng chìm

Các chuyên gia đề xuất các phương án thi công phù hợp với điều kiện địa chất ở các đảo, đá trên biển của Việt Nam như sau:

- PA1: Thi công thùng chìm một phân đoạn (Đổ bê tông trên bờ rồi hạ thủy) bao gồm các công đoạn chính như sau: Lắp dựng cốt thép, ván khuôn và đổ bê tông thùng chìm tại bãi đúc trên cạn; hạ thủy thùng chìm bằng triền nghiêng, bơm nước ổn định thùng chìm; lai dắt và lắp đặt vào vị trí theo thiết kế (Hình 4).



Hình 4. Thùng chìm trên triền hạ thủy và mặt cắt dọc thùng chìm theo thiết kế

- PA2: Thi công thùng chìm hai phân đoạn (Đổ bê tông trên bờ một phần rồi hạ thủy và tiếp tục đổ dưới nước phần còn lại) bao gồm các công đoạn chính như sau: Lắp dựng cốt thép, ván khuôn và đổ bê tông thùng chìm một phần tại bãi đúc trên cạn (Phân đoạn 1);hạ thủy thùng chìm bằng triên nghiêng, lai dắt đến bãi đúc dưới nước;lắp dựng cốt thép, ván khuôn và đổ bê tông phần còn lại (Phân đoạn 2); lai dắt và lắp đặt vào vị trí theo thiết kế (Hình 5).



Hình 5. Phân đoạn 1 thùng chìm trên triền hạ thủy và mặt cắt ngang thùng chìm

- PA3: Thi công thùng chìm trên phương tiện nổi (Đổ bê tông trên ụ nổi "floating dock" rồi đánh chìm) bao gồm các công đoạn chính như sau: Lắp dựng cốt thép, ván khuôn, đổ bê tông thùng chìm từng đợt trên ụ nổi và bơm nước ổn định thùng chìm; kéo thùng chìm ra khỏi ụ nổi; lai dắt và lắp đặt vào vị trí theo thiết kế (hình 6).



(a) (b) Hình 6. Hình ảnh thực tế và đồ họa quá trình hạ thủy thùng chìm [22]

Trên cơ sở phân tích điều kiện năng lực, kinh nghiệm thi công của nhà thầu cũng như thực trạng công trình, các chuyên gia đã đưa ra 5 tiêu chí lựa chọn phương án như sau:

- Tiêu chí (C1): Kiểm soát chất lượng;
- Tiêu chí (C2): Hiệu quả kinh tế;
- Tiêu chí (C3): Thời gian thi công;
- Tiêu chí (C4): Hệ thống phục vụ thi công;
- Tiêu chí (C5): Tính ổn định khi kéo nổi.

Bước 1: Xác định mức độ ưu tiên cho các tiêu chí

Tiến hành lấy ý kiến của 05 chuyên gia bằng phiếu phỏng vấn về xếp hạng mức độ ưu tiên của các tiêu chí ta thu được kết quả tại Bảng 5.

Yếu tố so		Tổng hợp				
sánh cặp	Α	В	С	D	Ε	
C ₁ và C ₂	1	1	2	1	2	1
C ₁ và C ₃	2	3	3	2	3	3
C ₁ và C ₄	4	4	3	4	3	4
C ₁ và C ₅	3	4	4	3	4	4
C ₂ và C ₃	3	3	4	3	3	3
C ₂ và C ₄	4	4	3	4	4	4
C ₂ và C ₅	3	4	3	4	4	4
C ₃ và C ₄	2	2	2	3	2	2
C ₃ và C ₅	2	2	3	2	2	2
C ₄ và C ₅	1	1	2	1	1	1

Bảng 5. Tổng hợp ý kiến chuyên gia về mức độ ưu tiên của các tiêu chí

 C_4 va C_5 112111Từ các ý kiến tổng hợp của chuyên gia về mức độ ưu tiên của các tiêu chí, tiến hành lậpma trận so sánh từng cặp tiêu chí.

Tiêu chí	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C5
C ₁	1	1	3	4	4
C ₂	1	1	3	4	4
C ₃	1/3	1/3	1	2	2
C ₄	1/4	1/4	1/2	1	1
C ₅	1/4	1/4	1/2	1	1
Tổng	2,833	2,833	8,000	12,000	12,000

Bảng 6. Ma trận so sánh các cặp tiêu chí

Bước 2: Tính toán trọng số cho các tiêu chí

Tiến hành tính toán các dữ liệu theo phương pháp AHP. Trọng số w_i cho các tiêu chí được thể hiện trong Bảng 7.

1003

Tiêu chí	C ₁	C2	C ₃	C ₄	C5	Trọng số (w _i)
C ₁	0,353	0,353	0,375	0,333	0,333	0,350
C ₂	0,353	0,353	0,375	0,333	0,333	0,350
C ₃	0,118	0,118	0,125	0,167	0,167	0,139
C ₄	0,088	0,088	0,063	0,083	0,083	0,081
C ₅	0,088	0,088	0,063	0,083	0,083	0,081

Bảng 7. Trọng số giữa các tiêu chí khí so sánh cặp

Từ công thức (3) ta xác định được $\lambda_{max} = 5,026$ và với số tiêu chí n = 5 thì tra được RI = 1,12. Ta tính toán được các chỉ số sau:

CI = (5,026 - 5)/(5 - 1) = 0,0067

CR = 0,0067/1,12 = 0,59% < 10% đạt yêu cầu.

Bước 3: Tính độ ưu tiên của các phương án theo từng tiêu chí

Tiếp tục tính toán độ ưu tiên của các phương án theo từng tiêu chí, ta thiết lập các ma trận tương ứng có kích thước bằng số phương án đề xuất.

Do có 5 tiêu chí so sánh, vì thế cần tính toán 5 ma trận với các số liệu thu được từ việc phỏng vấn, tham khảo ý kiến các chuyên gia. Thiết lập ma trận tính toán cho tiêu chí C1.

Bảng 8. Ma trận so sánh mức độ ưu tiên của các phương án đối với tiêu chí C1

Phương án	PA1	PA2	PA3
PA1	1	3	1
PA2	1/3	1	1/2
PA3	1	2	1
Tổng	2,333	6,000	2,500

Kết quả tính toán trọng số các phương án theo tiêu chí C1 được thể hiện trong Bảng 9.

Bảng 9. Ma trận so sánh mức độ ưu tiên của các phương án đối với tiêu chí C1

Phương án	PA1	PA2	PA3	Trọng số phương án
PA1	0,429	0,500	0,400	0,443
PA2	0,143	0,167	0,200	0,170
PA3	0,429	0,333	0,400	0,387

Từ công thức (3) ta xác định được $\lambda_{max} = 3,018$, với số tiêu chí n = 3 thì tra được RI = 0,58. Ta tính toán được các chỉ số sau:

CI = (3,018 - 3)/(3 - 1) = 0,0091.

CR = 0,0091/0,58 = 1,57% < 5% đạt yêu cầu.

Tương tự, tính toán cho các tiêu chí còn lại, kết quả trọng số các phương án theo các tiêu chí và tỷ lệ nhất quán được trình bày trong Bảng 10.

	C1	C2	C3	C4	C5
PA1	0,443	0,539	0,480	0,557	0,161
PA2	0,170	0,164	0,115	0,320	0,690
PA3	0,387	0,297	0,405	0,123	0,149
CR (%)	1,578	0,794	2,511	1,578	0,478

Bảng 10. Tổng hợp trọng số các phương án theo các tiêu chí

Bước 4: Tính điểm cho các phương án và lựa chọn

Tổng hợp các số liệu trọng số thu được ở bước 2 và bước 3, tiến hành nhân ma trận trọng số các phương án theo các tiêu chí (3 hàng 5 cột) với ma trận trọng số các tiêu chí (5 hàng 1 cột). Kết quả thu được thể hiện ở trong Bảng 11.

Bảng 11. Tổng hợp kết quả tính toán

	C1	C2	C3	C4	C5		C1	0,350			
PA1	0,443	0,539	0,480	0,557	0,161		C2	0,350		PA1	0,4679
PA2	0,170	0,164	0,115	0,320	0,690	×	C3	0,139	=	PA2	0,2145
PA3	0,387	0,297	0,405	0,123	0,149		C4	0,081		PA3	0,3176
						-	C5	0,081			

Theo kết quả nghiên cứu và tính toán, phương án có kết quả lớn nhất là PA1 (Thi công thùng chìm một phân đoạn "Đổ bê tông trên bờ rồi hạ thủy") là phương án tốt ưu nhất trong số các đề xuất tương ứng với các tiêu chí đánh giá mà tổ chuyên gia đã đề ra. Kết quả tính toán hoàn toàn phù hợp với những ưu điểm nổi bật của phương án như là: dễ dàng kiểm soát chất lượng, quá trình đúc thùng chìm không b ị ảnh hưởng quá nhiều bởi điều kiện sóng gió, hệ thống thiết bị thi công đơn giản.

Như vậy, phương án đổ bê tông thùng chìm trên bờ rồi hạ thủy được lựa chọn để tiến hành thi công thùng chìm cho các dự án xây dựng Bến cảng - khu vực neo đậu ở các Đảo và thềm lục địa của Việt Nam.

5. Kết luận

Việc lựa chọn phương án thi công phù hợp luôn là một nhiệm vụ khó khăn đối với nhà thầu xây dựng vì nó liên quan đến nhiều tiêu chí có mức độ ưu tiên khác nhau. Rất khó để đưa ra một phương pháp lựa chọn Phương án thi công phù hợp với nhiều tiêu chí (chất lượng, kinh tế, thời gian,...). Tuy nhiên AHP là phương pháp lựa chọn đa tiêu chí, phù hợp với các trường hợp ra quyết định phức tạp. Bằng việc so sánh cặp các tiêu chí dựa trên mức độ quan trọng của chúng đối với việc lựa chọn phương án thi công sau đó so sánh đánh giá từng cặp chỉ tiêu dựa trên mức độ ưu tiên lựa chọn nếu xem xét riêng từng tiêu chí và kết hợp các góc độ đánh giá này lại cho kết quả so sánh tổng hợp có độ tin cậy cao.

Kết quả đánh giá lựa chọn phương án thi công thùng **ừm** b ằng phương pháp AHP phản ảnh những ưu điểm vượt trội của phương án 1 (đổ bê tông thùng chìm trên bờ rồi hạ thủy) như sau: Quá tình s ản xuất thùng chìm không bị ảnh hưởng bởi sóng biển, dễ dàng kiểm soát được chất lượng bê tông thùng chìm, hệ thống trang thiết bị phục vụ thi công đổ bê tông thùng chìm cũng đơn giản và tin cậy hơn hai phương án **ờ**n l ại. Có thể đẩy nhanh tiến độ thi công bằng cách tăng thêm vị trí đúc và chiều dài đường triền ngang.

Bài báo mới chỉ dừng lại ở ví dụ đơn giản là 3 phương án với 5 tiêu chí để đánh giá so sánh, nhưng đã th ể hiện được tính ưu việt, khả năng ứng dụng của phương pháp trong quá

trình đánh giá, lựa chọn, ra quyết định khi có nhiều phương án thi công và phù hợp với các bài toán lựa chọn giải pháp thiết kế, giải pháp kỹ thuật công nghệ xây dựng. Trường hợp bài toán phức tạp với nhiều tiêu chí hơn, người ta có thể nhóm các tiêu chí thành nhiều nhóm và giải quyết bài toán kết hợp AHP với phương pháp khác ANP (Analytic Network Process) để phân tích đánh giá lựa chọn đúng với thực tế hoặc có thể sử dụng phần mềm chuyên dụng.

Tài liệu tham khảo

- [1].Nguyễn Anh Tài, Nguyễn Đình Chiến, Nguyễn Nhã...(tuyển chọn: Sông Lam, Thái Quỳnh), Chủ quyền biển đảo Việt Nam Toàn cảnh biển đảo Việt Nam, NXB Thanh Niên, 2012, 248tr.
- [2].Nghị quyết số 36 NQ/TW ngày 22/10/2018 của BCH Trung ương Đảng về chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.
- [3].Nguyễn Huy Khôi, "Một số kinh nghiệm thi công thùng chìm khối lớn tại dự án kéo dài đê chắn sóng Tiên Sa - Đà Nẵng".
- [4].Nguyễn Trung Anh (2007), "Nghiên cứu ứng dụng dạng thùng chìm bê tông cốt thép có buồng tiêu sóng trong xây dựng công trình biển ở Việt Nam" LATS trường Đại học Thủy lợi.
- [5]. Eduardo Cejuela, Vicente Negro, Jose María del Campo, Mario Martín Antón, M. Dolores Esteban and Jose Santos López - Gutiérrez, "Recent History, Types, and Future of Modern Caisson Technology: The Way to More Sustainable Practices" Sustainability 2018, 10, 3839; doi:10.3390/su10113839 www.mdpi.com/journal/sustainability
- [6].Pedro Pérez Díaz, Norena Martín Dorta and Francisco Javier Gutiérrez García, "Construction Labour Measurement in Reinforced Concrete Floating Caissons in Maritime Ports", *Civil Engineering Journal*, Vol. 8, No. 02, February, 2022.
- [7].T. L. Saaty (1980), Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process. Planning, Priority Setting, *Resource Allocation*. New York: McGraw - Hill.
- [8].Saaty, T.L. and Vargas L.G. (1994), "Decision Making in Economic, Political, Social, and Technological Environments with the Analytic Hierarchy Process". *RWS Publication, Pittsburgh*, PA, USA, .
- [9].Saaty T.L. (1995), "Decisions Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World". RWS Publications, Pittsburgh.
- [10]. Trần Thị Mỹ Dung (2012), "Tổng quan về việc ứng dụng phương pháp phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process – AHP) trong quản lý chuỗi cung ứng".: *Tạp* chí Khoa học 2012:21a 180 - 189. Trường Đại học Cần Thơ.
- [11]. Min, H.K.; Melachrinoudis, E. (1999), "The relocation of a hybrid manufacturing/distribution facility from supply chain perspectives: a case study". Omega. 27: p. 75 - 85, 1999.
- [12]. Đỗ Thị Minh Hạnh (2019), Luận án tiến sĩ "Xây dựng các tiêu chí đánh giá và chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật để đảm bảo hoạt động bền vững của nhà máy xử lý nước thải đô thị".: Trường Đại học Xây dựng.
- [13]. Wang, K.M.; Wang, C.K.; Hu, C. (2005), Analytic Hierarchy Process with fuzzy scoring in evaluating multidisciplinary R&D projects in China". *IEEE Transactions* on Engineering Management, 52: p. 119 - 129.

- [14]. Nguyễn Thế Quân (2015), "Áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) để lựa chọn phương án công nghệ thi công xây dựng".: *Tạp chí Kết cấu và Công nghệ Xây dựng*, Hội Kết cấu và Công nghệ xây dựng Việt Nam, ISSN 1859 3194, số 17 (II/2015), trang 21 29.
- [15]. Saaty, T.L. (2008), "Decision making with the Analytic Hierarchy Process", *Int. J. Services, Sciences*, 1(1), pp.83 98.
- [16]. Saaty T.L. (1990). How to make decision: The Analystical hierarchy process. *European Journal of Operation Research*;48: 9 26
- [17]. Young K.D., Younos T., Dymond R.L., Kibler D.F., Lee D.H. (2010), Application of the analytic hierarchy process for selecting and modeling Stormwater best management practices. *Journal of Contemporary Water Research and Education*. 146(1):50 - 63. DOI: 10.1111/j.1936 - 704X.2010.00391.x.
- [18]. Saaty T.L. (2001), Deriving the AHP 1 9 Scale from First Principle. Switzerland: Berne.
- [19]. Gwo Hshiung Tzeng, Jih Jeng Huang (2011), Multiple attribute decision making methods and applications, Taylor & Francis Group, USA.
- [20]. Hatice Esen (2022). Analytical Hierarchy Process Problem Solution. DOI 10.5772/intechopen.1001072.
- [21]. Sharon M Ordoobadi (2010), "Application of AHP and Taguchi loss functions in supply chain", *Industrial Management & Data Systems*. 110(8), tr. 1251 1269.
- [22]. Puertos del Estado. "Manual para el diseño y la ejecución de cajones flotantes de hormigón armado para obras portuarias" (2006). Available online: http://www.puertos.es/es es/BibliotecaV2/CAJONES.pdf (accessed on 07 March 2024).

Use of Analytical Hierarchy Process in Selecting Construction Method of Caissons

Abstract:

The utilization of caissons in the construction of coastal protection, safe anchorage, storm shelters, island protection works, ports, and airports on islands has gained widespread popularity globally. In the context of Vietnam, numerous projects have adopted the use of caissons as the primary structural element in the construction of coastal reclamation projects, island expansion, island protection works, ports, dikes, and wave breakers. The techniques for caisson construction can be categorized into two primary methods: fabricating caissons at onshore casting yards and subsequently launching and installing them, and producing caissons on floating docks for subsequent installation. The process of caisson installation is segmented into several key stages: caisson production, launching, towing, and final installation into position. The technical measures and construction organization (as outlined in construction plans) at each stage significantly impact the overall project quality, progress, labor safety, and effectiveness. Unfortunately, this critical aspect has not garnered sufficient attention from construction contractors and investors. Consequently, it is imperative to undertake comparative studies and evaluate various construction options to determine the optimal approach. This article presents the outcomes of calculating, evaluating, and selecting caisson construction options using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, employing pairwise comparison of criteria. The results demonstrate that the strategy of producing caissons at the onshore casting yard offers several advantages. Notably, the production process for reinforced concrete caissons remains unaffected by ocean waves, facilitating quality control. Furthermore, the approach ensures efficient construction, a swift timeline, and a straightforward yet effective construction equipment system, rendering it the optimal and most fitting choice.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, AHP, caisson, construction, coastal reclamation projects, Multi-Attribute Decision Making (MADM).

Đánh giá ảnh hưởng của bể nước đến mức độ giảm chấn cho công trình nhà cao tầng chịu động đất

Nguyễn Tuấn Phong, Vũ Ngọc Quang

Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt, Học viện Kỹ thuật quân sự Email: nguyentuanphong04071998@gmail.com@gmail.com

Tóm tắt:

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng thiết bị giảm chấn chất lỏng (TLD) đến mức độ giảm chấn cho công trình nhà cao tầng bằng bê tông cốt thép (BTCT). Dựa trên mô hình phân tích của Sun (sử dụng phương trình động lực học chất lỏng) để phân tích bể chứa chất lỏng, mô hình mô phỏng được xây dựng trên phần mềm phân tích phần tử hữu hạn Etabs. Mô hình đưa ra kết quả phân tích động lực học của công trình (tần số dao động, chuyển vị) và kết quả nội lực trong kết cấu công trình khi có và không có thiết bị TLD. Từ đó đánh giá hiệu quả của bể nước đến mức độ giảm chấn cho công trình nhà cao tầng chịu động đất.

Từ khoá: Hệ giảm chấn chất lỏng (TLD), tải trọng động đất, kết cấu nhà cao tầng.

1. Đặt vấn đề

Sự phát triển dân số hiện nay, nhất là tại các đô thị lớn đặt ra vấn đề cần giải quyết đó là đáp ứng nhu cầu nhà ở trong khi quỹ đất hạn hẹp và có giá thành cao. Nhằm giải quyết vấn đề này, xu hướng xây dựng các công trình cao tầng đang ngày càng tăng ở Việt Nam cũng như trên toàn thế giới, điều này đặt ra những vấn đề trong thiết kế công trình nhà cao tầng, ngoài việc thiết kế để kết cấu chịu tác động của tải trọng thông thường thì vấn đề cần quan tâm đặc biệt đó là kết cấu phải chịu được tác động của gió lớn và động đất. Khi chịu tác động của tải trọng động đất, kết cấu có khối lượng càng lớn thì lực động đất gây ra càng lớn. Hiện này có nhiều giải pháp đã được áp dụng trong thiết kế kháng chấn cho nhà cao tầng, trong đó giải pháp sử dụng hệ giảm chấn chất lỏng (TLD) là một trong những giải pháp được ứng dụng rộng rãi.

Hệ giảm chấn chất lỏng (TLD) là phương pháp giảm chấn dựa trên nguyên lý sự phát triển chuyển động sóng tại bề mặt tự do của chất lỏng để giải phóng một phần năng lượng động học, kết quả làm cho dao động của kết cấu phân tán một phần năng lượng do tác động của tải trọng gió, động đất (Hình 1). Hệ giảm chấn chất lỏng gồm thiết bị thùng chứa chất lỏng với kích thước được tính toán phù hợp với công trình nhằm tăng tính cản của kết cấu. Thông số đặc trưng của thiết bị TLD gồm: tần số dao động tự nhiên f_{TLD}, biên độ (chiều cao) của sóng η và áp lực động của sóng chất lỏng tác dụng lên thành bể p_W. Ưu điểm của thiết bị là chi phí thấp, dễ dàng lấp đặt, không yêu cầu bảo trì thường xuyên và linh hoạt khi có thể lấp đặt cho nhiều dạng kết cấu công trình như: Nhà cao tầng, tháp, kết cấu ống hoặc kết cấu có sẵn.



Hình 1. Chuyển động chất lỏng trong bể chứa TLD

Nghiên cứu phân tích sự làm việc của hệ giảm chấn chất lỏng (TLD) là một vấn đề nghiên cứu rất tiềm năng trong lĩnh lực thiết kế kháng chấn. Sun và cộng sự (1995) dựa trên nguyên lý hoạt động tương tự của TLD và thiết bị giảm chấn khối lượng (TMD) kinh điển theo đó thì độ cứng quy đổi, lực cản quy đổi và tần số quy đổi của TLD được lấy để làm thông số đầu vào nhằm phân tích TMD từ các dữ liệu thí nghiệm của các bể chứa chữ nhật, tròn và cầu chịu kích thích điều hòa[1].Trong nghiên cứu này,các tác giả nhấn mạnh đến tỷ số cản hiệu quả βa khi lực kích thích dao động nền là bé. Tiếp theo, Sun và các cộng sự (1995) đề xuất mô hình làm việc mới của TLD có xét đến liên kết khóp giữa bể chứa chất lỏng và kết cấu bên dưới khi chịu kích thích dao động lớn [2], mở ra hướng nghiên cứu mới cho các tác giả Xue và cộng sự (1999), Samanta (2010) hoặc Chang và cộng sự (2018) sau này [3 - 5]. Cũng theo hướng quy đổi TLD thành TMD, Yu (1997) đề xuất một hình nhằm mô phỏng sự làm việc của TLD tương đương TMD trong trường hợp xét dao động sóng TLD phi tuyến [6]. Mô hình này có thể mô tả ứng xử TLD dưới hầu hết các biên độ lực kích thích khác nhau. Sau đó, Reed và cộng sự (1998) kiểm chứng lại mô hình của Yu(1997) bằng cách tập trung vào biên độ kích thích lớn đến 40mm, bằng phương pháp số và thí nghiệm [7].

Trong nghiên cứu này, tác giả tiến hành đánh giá ảnh hưởng của bể chứa chất lỏng đến mức độ giảm chấn cho công trình nhà cao tầng bằng cách xác định chu kỳ dao động của công trình bằng phần mềm ETABS phiên bản 2021, trong hai trường hợp có và không có bể nước, từ đó căn cứ vào TCVN 9386 - 2012 để đánh giá hiệu quả giảm chấn của TLD.[10]

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Mô hình phân tích bể chứa chất lỏng của SUN (phương pháp sử dụng phương trình động lực học chất lỏng)

Tác giả Sun và cộng sự (1992) [8], [9] đã giới thiệu mô hình để giải quyết phương trình phi tuyến Navier - Stokes và phương trình liên tục, là sự kết hợp giữa lý thuyết lớp biên và lý thuyết sóng suy giảm đã được giải quyết bằng phương pháp số. Một điểm quan trọng của mô hình này là coi sóng vỡ dưới tác động của kích thích lớn bằng hai hệ số thực nghiệm.

Xét bể nước hình chữ nhật được ngàm cứng thể hiện trong hình với chiều dài bể 2a, chiều rộng b, chiều cao mực nước trong bể h, gây ra chuyển vị xs ở phía trên. Các chuyển động chất lỏng được giả định chỉ phát triển trong mặt phẳng x - z. Nó cũng là giả định rằng các chất lỏng không nén, không xoay và áp lực là không đổi trên bề mặt tự do của chất lỏng.



Hình 2. Sơ đồ TLD cho chuyển động ngang

- Phương trình liên tục (vi phân):

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

- Phương trình chuyển động theo Navier's stokes theo 2 phương u, w:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \ddot{X} s$$
(2)

$$\frac{\partial \mathbf{w}}{\partial t} + u \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial x} + \mathbf{w} \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + v \left(\frac{\partial^2 \mathbf{w}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{w}}{\partial z^2} \right) - g$$
(3)

trong đó:

u(x,t) và w(x,t): Lần lượt là vận tốc tương đối của chất lỏng ứng với 2 phương x, z của bể chữ nhật;

g: Gia tốc trọng trường;

p: Áp lực của chất lỏng;

v : Độ nhớt của chất lỏng;

 ρ : Mật độ chất lỏng;

Chất lỏng bên ngoài lớp ranh giới được xem là dòng chảy tiềm năng và vận tốc dòng chảy được xác định bởi Sun (1991):

$$\Phi_{(x,z,t)} = -\frac{gH \operatorname{Cosh}(k(h+z))}{2\omega \operatorname{Cosh}(kh)} \operatorname{Cos}(kx - \omega t)$$
(4)

trong đó: k là số sóng của chất lỏng;

H được xác định bởi công thức:

$$H = \frac{2\eta}{\sin\left(kx - \omega t\right)} \tag{5}$$

Dựa trên lý thuyết sóng nước nông, hàm Φ được giả định là:

$$\Phi_{(\mathbf{x},\mathbf{z},t)} = \Phi_{(\mathbf{x},t\pi)} \operatorname{Cosh}(k(h+z))$$
(6)

Căn cứ vào các điều kiện biên, tác giả đưa ra công thức xác định tần số dao động cơ bản của TLD:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi g}{2a}} \tanh\left(\frac{\pi h}{2a}\right) \tag{7}$$

trong đó: g là gia tốc trọng trường

2a là chiều dài bể theo hướng chuyển động của sóng nước

Căn cứ vào các nghiên cứu phân tích ảnh hưởng của các thông số tỷ lệ khối lượng, tỷ lệ tần số và tỷ số cản của ba mô hình Sun (1992) [8], Yu (1999)[11], Xin (2009)[12] đã đưa ra kết quả TLD có hiệu quả cao nhất khi tỷ lệ tần số trọng khoảng từ 0,8 đến 1,2; tỷ lệ khối lượng nước và khối lượng kết cấu là 1 đến 5%.

2.2. Tải trọng động đất theo TCVN 9386 - 2012

2.2.1. Tổng quát

Trong phạm vi tiêu chuẩn này, chuyển động động đất tại một điểm cho trước trên bề mặt được biểu diễn bằng phổ phản ứng gia tốc đàn hồi, được gọi tắt là "Phổ phản ứng đàn hồi". Dạng của phổ phản ứng đàn hồi được lấy như nhau đối với hai mức tác động động đất

giới thiệu trong 2.1 (1)P và 2.2.1(1)P (TCVN 9386 - 2012, 2012) với yêu cầu không sụp đổ (trạng thái cực hạn - tác động động đất thiết kế) và đối với yêu cầu hạn chế hư hỏng.

Tác động động đất theo phương nằm ngang được mô tả bằng hai thành phần vuông góc được xem là độc lập và biểu diễn bằng cùng một phản ứng.

Đối với ba thành phần của tác động động đất, có thể chấp nhận một hoặc nhiều dạng khác nhau của phổ phản ứng, phụ thuộc vào các vùng nguồn và độ lớn động đất phát sinh từ chúng.

Ở những nơi chịu ảnh hưởng động đất phát sinh từ các nguồn khác nhau, khả năng sử dụng nhiều hơn một dạng phổ phản ứng phải được xem xét để có thể thể hiện đúng tác động động đất thiết kế. Trong những trường hợp như vậy, giá trị của ag cho từng loại phổ phản ứng và từng trận động đất sẽ khác nhau.

Đối với các công trình quan trọng ($\gamma_1 > 1$) cần xét các hiệu ứng khuếch đại địa hình (tham khảo phụ lục A, phần 2 (TCVN 9386 - 2012, 2012)).Có thể biểu diễn chuyển động động đất theo hàm thời gian (xem 3.2.3 (TCVN 9386 - 2012, 2012)).Đối với một số loại công trình, có thể xét sự biến thiên của chuyển động nền đất trong không gian cũng như theo thời gian.

2.2.2. Phổ phản ứng đàn hồi theo phương ngang

 $T_{P} \leq T \leq T_{C}$:

Với các thành phần nằm ngang của tác động động đất, phổ phản ứng đàn hồi $S_e(T)$ được xác định bằng công thức (8) đến (11)

$$0 \le T \le T_B$$
: $S_e(T) = a_g . S. \left[1 + \frac{T}{T_B} . (\eta.2, 5 - 1) \right]$ (8)

$$S_e(T) = a_e . S. \eta. 2, 5$$
 (9)

$$T_{C} \leq T \leq T_{D}: \qquad S_{e}\left(T\right) = a_{g}.S.\eta.2, 5\left[\frac{T_{C}}{T}\right] \qquad (10)$$

$$T_D \le T \le 4s: \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2, 5 \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T}\right]$$
(11)

trong đó: $S_e(T)$ phổ phản ứng đàn hồi; T: là chu kỳ dao động của hệ tuyến tính một bậc tự do; a_s : là gia tốc nền thiết kế trên nền loại A ($a_s = \gamma I.a_s R$); T_B : là giới hạn dưới của chu kỳ, ứng với đoạn nằm ngang của phổ phản ứng gia tốc; T_C : là giới hạn trên của chu kỳ, ứng với đoạn nằm ngang của phổ phản ứng gia tốc; T_D : là giá trị xác định điểm bắt đầu của phần phản ứng dịch chuyển không đổi trong phổ phản ứng; S: là hệ số nền; η : là hệ số điều chỉnh độ cản với giá trị tham chiếu $\eta = 1$ đối với độ cản nhớt 5%.



Hình 3. Phổ phản ứng đàn hồi (độ cản 5%)

Giá trị của chu kỳ *T_B*, *T_C*, *T_D* và hệ số nền *S* (Bảng 1) mô tả dạng phổ phản ứng đàn hồi phụ thuộc vào loại nền đất, nếu không xét đến địa chất tầng sâu (xem 3.1.2(1) (TCVN 9386 - 2012, 2012).

Loại nền đất	S	<i>T</i> _B (s)	<i>T</i> _C (s)	<i>T</i> _D (s)
А	1,0	0,15	0,4	2,0
В	1,2	0,15	0,5	2,0
С	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Bảng 1. Giá trị của các tham số mô tả các phổ phản ứng đàn hồi

Hệ số điều chỉnh độ cản η có thể xác định bằng biểu thức:

$$\eta = \frac{10}{5 + \xi} \ge 0,55 \tag{12}$$

trong đó: ζ tỷ số cản nhớt của kết cấu, tính bằng phần trăm.

Trường hợp đặc biệt, khi dùng tỷ số cản nhớt khác 5%, giá trị này được cho trong phần có liên quan của tiêu chuẩn này.

Phổ phản ứng chuyển vị đàn hồi $S_{De}(T)$, nhận được bằng cách biến đổi trực tiếp phổ phản ứng gia tốc đàn hồi $S_e(T)$ theo biểu thức sau:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \cdot \left[\frac{T}{2.\pi}\right]^2 \tag{13}$$



Hình 4. Phổ phản ứng đàn hồi cho tất cả các loại đất nền từ A đến E (độ cản 5%)

Thông thường, cần áp dụng biểu thức (13) cho các chu kỳ dao động không vượt quá 4,0s. Đối với các kết cấu có chu kỳ dao động lớn hơn 4,0s có thể dùng một định nghĩa phổ chuyển vị đàn hồi hoàn chỉnh hơn.

3. Xây dựng mô hình mô phỏng số

3.1. Số liệu hình học

- Vị trí xây dựng: Quận Đống Đa, TP Hà Nội $(a_{gr} = 0.0983 \text{ m/s}^2)$;
- Đất nền loại B, công trình 15 tầng có hệ số tầm quan trọng $\gamma_1 = 1,25$; hệ số ứng xử q = 3,9;
- Mặt bằng kết cấu: công trình nhà BTCT toàn khối 15 tầng với mặt bằng đối xứng. Hệ kết

cấu khung BTCT chịu lực. Kích thước mặt bằng: $LxB = 24 \times 18m$; theo phương Ox gồm 5 trục, theo phương Oy gồm 4 trục (Hình 2.1). Chiều cao tầng điển hình 3,3m; chiều cao tầng 1 là 3,3m.

- Kích thước cấu kiện chính:
- + Tiết diện dầm Dầm chính: 250 x 600mm;
- + Tiết diện cột: 700 x 700mm;
- + Chiều dày sàn: 150mm;
- + Chiều dày thành bể nước: 300mm.



Hình 5. Mặt bằng kết cấu



Hình 6. Mô hình 3D của kết cấu

3.2. Vật liệu sử dụng

Bảng 2. Thông số vật liệu

Vật liệu	Thông số	Giá trị
Bâ tông B25	E _b	$25 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$
De tong D25	Trọng lượng riêng	25 kN/m ³
	Es	$2,1x10^8$ kN/m ²
Cốt thép	Trọng lượng riêng	76,59 kN/m ³
	Hệ số poisson	0,3

3.3. Tải trọng

- Tải trọng tác dụng: Sàn các tầng có tải trọng các lớp cấu tạo là 1,5 kN/m²; hoạt tải truyền lên sàn lấy bằng 2 kN/m². Tải trọng các cấu kiện được chương trình tự động tính toán.

- Tải trọng động đất tính toán theo TCVN 9386 - 2012, với khối lượng tham gia dao động:

Các hiệu ứng quán tính của tác động động đất thiết kế phải được xác định có xét đến các khối lượng liên quan tới tất cả các lực trọng trường xuất hiện trong tổ hợp tải trọng sau:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{E,I} Q_{k,i} \tag{14}$$

trong đó:+ $\Psi_{E,I}$ là hệ số tổ hợp tải trọng đối với tác động thay đổi thứ i, được xác định từ công thức:

$$\Psi_{E,I} = \varphi.\Psi_{2,i} = 0, 8.0, 3 = 0, 24 \tag{15}$$

+ $\Psi_{2,i}$ là hệ số tổ hợp cho giá trị được coi là lâu dài của tác động thay đổi i, đối với nhà ở, văn phòng làm việc: $\Psi_{2,i} = 0,3$;

+ $\varphi = 0.8$ với nhà ở, văn phòng làm việc có các tầng được sử dụng đồng thời;

3.4. Kết quả dao động và thảo luận

3.4.1. Xác định khối lượng của bể nước

Bảng 3. Giá trị khối lượng kết cấu công trình

Tầng	Khối lượng tầng	Tổng khối lượng tầng
	Kg	kg
Story16	0	0
Story15	395644,01	395644,01
Story14	453743,85	849387,86
Story13	453743,85	1303131,71
Story12	453743,85	1756875,56
Story11	453743,85	2210619,41
Story10	453743,85	2664363,26
Story9	453743,85	3118107,11
Story8	453743,85	3571850,96
Story7	453743,85	4025594,81
Story6	453743,85	4479338,66
Story5	453743,85	4933082,51
Story4	453743,85	5386826,36
Story3	453743,85	5840570,2
Story2	453743,85	6294314,05
Story1	453743,85	6748057,9

Từ kết quả tính toán bằng phần mềm Etabs, ta tính được tổng khối lượng công trình: $P_{congtrinh} = 6748057,9 \text{ Kg}$ Căn cứ vào các nghiên cứu phân tích ảnh hưởng của các thông số tỷ lệ khối lượng, tỷ lệ tần số và tỷ số cản của ba mô hình Sun (1992) [7], Yu (1999)[8], Xin (2009) [9] đã đưa ra kết quả TLD có hiệu quả cao nhất khi tỷ lệ tần số trọng khoảng từ 0,8 đến 1,2; tỷ lệ khối lượng nước và khối lượng kết cấu là 1 đến 5%. Theo các kết quả nghiên cứu trên, cho thấy mức độ giảm chấn của bể chứa đến kết cấu không chỉ phụ thuộc vào thông số bể chứa mà còn phụ thuộc vào bản chất làm việc của kết cấu. Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của bể chứa đến kết cấu trong trường hợp khối lượng bể nước nước bằng 1% khối lượng kết cấu:

 $P_{water} \approx 1\% P_{congtrinh} = 70(T)$

Chọn bể nước kích thước: BxLxH = 12x6x3 m

Phương pháp thu gọn bể chứa chất lỏng được đề xuất bởi Housner (1963) trong đó thành bể chứa được giả thiết tuyệt đối cứng. Áp lực động lên chất lỏng được chia làm hai phần (1) thành phần xung cứng và (2) thành phần xung đối lưu do sóng bề mặt chất lỏng gây ra. Áp lực xung cứng tỷ lệ thuận với gia tốc dao động của bể chứa, nhưng ngược hướng. Áp lực của xung đối lưu thì liên quan đến chiều cao sóng chất lỏng và tần số dao động sóng. Vì vậy cả hai thành phần của áp lực động có thể được mô phỏng bằng hai khối lượng tương đương. Hình 7 mô tả sự quy đổi theo phương pháp khối lượng thu gọn, trong đó M_0 đặc trưng cho khối lượng xung cứng và liên kết cứng vào thành bể tại cao độ H_0 , M_1 đặc trưng cho thành phần đối lưu liên kết với bể qua lò xo có độ cứng k tại cao độ H_1 .



Hình 7. Mô hình quy đổi bể chứa chất lỏng

trong đó các giá trị được tính toán như sau:

$$M_{o} = \frac{\tanh(1, 7x(L/2)/h_{f})}{1, 7x(L/2)/h_{f}} m_{f}$$
(16)

$$M_{1} = 0.93x \frac{\tanh(1.6xh_{f}/(L/2))}{1.6xh_{f}/(L/2)} m_{f}$$
(17)

$$H_0 = 0.38 x h_f x \left[1 + \alpha \left(\frac{m_f}{M_0} - 1 \right) \right]$$
(18)

$$H_{1} = h_{f} x \left[1 - 0.33x \frac{m_{f}}{M_{1}} \left(\frac{L/2}{h_{f}} \right)^{2} + 0.63x \beta x \frac{(L/2)}{h_{f}} x \sqrt{0.28x \left(\frac{m_{f} x L/2}{M_{1} x h_{f}} \right)^{2} - 1} \right]$$
(19)

- Độ cứng lò xo:

$$k = \frac{3gM_1^2 h_f}{m_f L^2}$$
(20)

Với m_f là tổng khối lượng nước trong bể, $\beta = 2.0$ và $\alpha = 1.33$ lần lượt là hệ số do mô men uốn và áp lực thuỷ động tác dụng lên chân bể, h_f là chiều cao chất lỏng.

- Hệ số cản:

$$c = \sqrt{\frac{v_f \omega_f}{2}} \left[1 + \left(2\frac{h_f}{b} \right) + S \right] \frac{L}{h_f \sqrt{g h_f}}$$
(21)

Với hệ số S = 1.

Với $h_f = 1$ m Căn cứ ta tính tính được thông số bể chất lỏng quy đổi:

Thông số	M ₀ (T) M ₁ (T)		$H_0(m)$	H ₁ (m)	k(kN)	С	
	13,69	26,47	1,22	1,861	424,9	0,03	

Bảng 4. Thông số TLD quy đổi

3.4.2. Ảnh hưởng của bể nước đến phản ứng động của kết cấu

Sử dụng phần mềm Etabs mô tả dao động của kết cấu đã bảo gồm bể nước, ta có bảng tham số động lực học của công trình khi không có bể nước và có bể nước (Phụ lục)

	Chu kỳ dao động										
Mode	Không bể nước	Có bể nước	Sai khác								
	T(s)	T(s)	%								
1	2.766	2.817	1.84%								
2	2.669	2.716	1.76%								
3	2.257	2.29	1.46%								
4	0.897	0.913	1.78%								
5	0.869	0.885	1.84%								
6	0.74	0.751	1.49%								
7	0.508	0.516	1.57%								
8	0.496	0.505	1.81%								
9	0.429	0.436	1.63%								
10	0.346	0.352	1.73%								
11	0.339	0.345	1.77%								
12	0.294	0.299	1.70%								

Bảng 5. So sánh giá trị chu kỳ dao động khi không có và có bể nước

- **Nhận xét:** Căn cứ vào kết quả phân tích động lực học của công trình, ta thấy khi công trình có thêm kết cấu bể nước thì chu kỳ dao động của công trình tăng lên, điều này là do xuất hiện bể chứa nước làm tăng trọng lượng của công trình dẫn đến chu kỳ dao động tăng lên. Điều này làm cho phản ứng của công trình khi chịu động đất sẽ giảm đi. Đây là yếu tố quan trọng giúp giảm tải trọng động đất tác động lên công trình.

1016

	0 1	•		0		
	Chuyển vị ((mm)	Sai	Chuyển vị ((mm)	Sai
Tầng	Không bể	có bể	- Sai khác	Không bể	có bể	5ai khác
	nước	nước	KIIAU	nước	nước	KIIat
15	108,494	106,714	- 2%	108,18	104,451	- 3%
14	105,884	104,405	- 1%	105,449	102,302	- 3%
13	102,319	100,639	- 2%	101,678	98,936	- 3%
12	97,604	95,571	- 2%	96,71	94,405	- 2%
11	91,827	89,371	- 3%	90,584	88,792	- 2%
10	85,013	82,219	- 3%	83,43	82,203	- 1%
9	77,566	74,708	- 4%	75,597	74,773	- 1%
8	69,633	66,857	- 4%	67,699	67,558	0%
7	61,323	58,365	- 5%	59,427	60,046	1%
6	52,622	49,358	- 6%	50,49	51,627	2%
5	43,437	40,746	- 6%	41,019	42,395	3%
4	33,689	31,612	- 6%	31,654	32,53	3%
3	23,468	22,031	- 6%	22,01	22,351	2%
2	13,267	12,46	- 6%	12,404	12,453	0%
1	4,398	4,132	- 6%	4,09	4,07	0%
0	0	0	0%	0	0	0%

3.4.3. Ảnh hưởng của bể nước đến phản ứng của công trình Bảng 6. Kết quả chuyển vị tầng khi có và không có bể nước

Bảng 7. Kết quả lực cắt tầng khi có và không có bể nước

_	Lực cắt tầng theo phương X		Sai	Lực cắt tầng the	Sai	
Tầng	Không bể nước	có bể nước	khác	Không bể nước	có bể nước	khác
15	1008,3099	1219,8068	21%	916,2113	1204,0867	31%
14	1940,4709	2084,881	7%	1814,6744	2071,3934	14%
13	2745,708	2801,9959	2%	2584,593	2787,9304	8%
12	3359,9687	3294,7539	- 2%	3132,1694	3281,11	5%
11	3788,3247	3719,9771	- 2%	3525,7847	3530,1126	0%
10	4049,9134	4139,0312	2%	3951,3332	3876,7624	- 2%
9	4163,1155	4361,1402	5%	4192,876	4058,1743	- 3%
8	4444,781	4358,7565	- 2%	4217,7103	4043,5527	- 4%
7	4890,2111	4563,3773	- 7%	4314,2295	3913,7934	- 9%
6	5187,2532	4834,0826	- 7%	4604,9156	4151,8832	- 10%
5	5329,2902	4950,9759	- 7%	4736,7693	4293,3319	- 9%
4	5345,5302	4944,9916	- 7%	4739,715	4303,9787	- 9%
3	5350,1034	4874,3086	- 9%	4673,0226	4360,8553	- 7%
2	5404,1616	4871,0996	- 10%	4673,5647	4527,0012	- 3%
1	5418,0428	4933,2078	- 9%	4734,5654	4646,169	- 2%
0	0	0	0%	0	0	0%
Lực cắt đáy	62425,1846	59952,386	- 4%	56812,1344	55050,1352	- 3%

Nhận xét: Căn cứ vào kết quả phân tích, ta thấy:

 - Khi kết cấu công trình có thêm bể nước thì chuyển vị các tầng giảm (nhiều nhất 6%) so với khi không có bể nước.

- Mặc dù khối lượng công trình tăng lên tuy nhiên lực cắt đáy khi chịu động đất giảm (nhiều nhất 4%) khi kết cấu có bể nước.

Từ đó cho thấy tác động của động đất lên kết cấu công trình giảm đi khi kết cấu bao gồm hệ giảm chấn chất lỏng TLD.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này đã phân tích phản ứng động của kết cấu chịu tải trọng động đất khi có và không có bể nước. Đối với dao động của tự nhiên của kết cấu, chu kỳ dao động của kết cấu công trình tăng lên khi có thêm bể nước, điều này là do khi có thêm bể chứa làm tăng khối lượng dao động của kết cấu dẫn đến chu kỳ tăng lên. Điều này làm cho giá trị phổ phản ứng giảm xuống làm cho lực động đất tác dụng lên kết cấu giảm xuống. Chuyển vị của kết cấu khi có bể nước nhỏ hơn khi không có bể nước (nhỏ nhất 6%). Khối lượng kết cấu khi có bể nước (nhiều nhât 4%). Kết quả phân tích trên chứng tỏ hiệu quả của hệ giảm chấn chất lỏng TLD với kết cấu nhà cao tầng chịu tác dụng của động đất.

Tài liệu tham khảo:

- L. M. Sun, Y. Fujino, P. Chaiseri, and B. M. Pacheco, (1995), "The properties of tuned liquid dampers using a TMD analogy", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 24, pp. 967 - 976.
- [2]. L. M. Sun, Y. Fujino, and K. Koga, (1995), "A model of tuned liquid damper for suppressing pitching motions of structures", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 24, pp. 625 - 636.
- [3]. S. D. Xue, J. M. Ko, and Y. L. Xu, (1999), "Experimental Study on Performance of Tuned Liquid Column Damper in Suppressing Pitching Vibration of Structures", *Journal* of Intelligent Material Systems and Structures, vol. 10, pp. 386 - 396.
- [4]. Y. Chang, A. Noormohamed, and O. Mercan, (2018),"Analytical and experimental investigations of modified tuned liquid dampers (MTLDs)", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 428, pp. 179 - 194..
- [5]. A. Samanta and P. Banerji, (2010),"Structural vibration control using modified tunedliquid dampers",*The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, vol.3, pp. 14 27.
- [6]. J. K. Yu, (1997), "Nonlinear characteristics of tuned liquid dampers", University of Washington.
- [7]. D. Reed, J. Yu, H. Yeh, and S. Gardarsson, (1998), "Investigation of Tuned Liquid Dampers under Large Amplitude Excitation", *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 124, pp. 405 - 413.

- [8]. Y. Fujino, L. Sun, B. M. Pacheco, and P. Chaiseri, (1992),"Tuned Liquid Damper (TLD) for Suppressing Horizontal Motion of Structures", *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 118, pp. 2017 - 2030.
- [9]. G. W. Housner, (1963), "The dynamic behavior of water tanks", *Bulletin of theseismological society of America*, vol. 53, pp. 381 387.
- [10]. TCVN 9386 2012 (2012). Thiết kế công trình chịu động đất. Hà Nội: Bộ Xây Dựng.
- [11]. J. K. Yu, T. Wakahara, and D. A. Reed, (1999), "A non linear numerical model of thetuned liquid damper", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol.28, pp. 671 - 686.
- [12]. Y. Xin, G. Chen, and M. Lou, (2009), "Seismic response control with density variabletuned liquid dampers", *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, vol. 8, pp. 537 - 546.

Abstract:

This article studies the effects of liquid damping devices (TLDs) on the level of damping for high rise buildings made of reinforced concrete (RC). Based on Sun's analytical model (using fluid dynamic equations) to analyze liquid tanks, the simulation model is built on Etabs finite element analysis software. The model provides results of dynamic analysis of the building (oscillation frequency, displacement) and results of internal forces in the building structure with and without TLD equipment. From there, evaluate the effectiveness of the water tank on the level of damping for high - rise buildings subjected to earthquakes

Keywords: Tuned liquid damper (TLD), structural Tall Buildings, earthquake load.

Một số vấn đề về sử dụng màn khói và các dạng son khí để ngụy trang mục tiêu trong chiến tranh

Nguyễn Lâm Tới

Học viện Kỹ thuật quân sự Email; Tel:<u>lamnguyen.mta@gmail.com</u>; 0976.360.035

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu và trình bày tổng quan về màn khói và các dạng son khí cũng như ứng dụng chúng để ngụy trang các mục tiêu quân sự trong chiến tranh hiện đại. Nghiên cứu và đề xuất một số phương án tính toán, sử dụng và bố trí màn khói để ngụy trang các mục tiêu trong tác chiến.

Từ khóa: Màn khói; son khí; ngụy trang; nghi trang; trinh sát.

1. Mở đầu

Màn khói là một loại màn che quang học đặc biệt, nó ứng dụng tính chất hấp thụ và tán xạ mạnh mẽ bức xạ quang của môi trường son khí để che dấu và chống phát hiện mục tiêu. Môi trường son khí là môi trường không khí có chứa các loại hạt có khả năng tán xạ hoặc hấp thụ ánh sáng. Do đó, màn khói có thể ngăn chặn hoặc làm suy yếu việc truyền tải một phần riêng biệt hoặc toàn bộ quang phổ điện từ trong môi trường. Các hạt này có thể tồn tại ở thể rắn hoặc thể lỏng với kích thước hạt $10^{-7} \div 10^{-5}$ cm.

Chiến tranh trong tương lai có thể xảy ra với tính chất và mức độ khốc liệt tỷ lệ thuận với khả năng sát thương của các loại vũ khí công nghệ cao. Việc đảm bảo bí mật, an toàn cho các mục tiêu quân sự là một yêu cầu cấp thiết của các đơn vị trong tác chiến. Nghiên cứu đa dạng các giải pháp ngụy trang, nghi trang thích nghi với yêu cầu ngày càng cao của chiến tranh hiện đại là một trong những nhiệm vụ quan trọng hiện nay. Trong đó, sử dụng màn khói và các dạng son khí để ngụy trang mục tiêu là một trong những vấn đề cần được nghiên cứu và đưa vào ứng dụng rộng rãi trên chiến trường. Bài báo giới thiệu tổng quan về màn khói và các dạng son khí cũng như khả năng ứng dụng chúng trong ngụy trang các mục tiêu trong tác chiến.

2. Tổng quan về màn khói và các dạng son khí

2.1. Đặc điểm chung của màn khói và các dạng son khí

Sự che khuất trên chiến trường xuất hiện khi có một giải pháp ngụy trang, che dấu làm giảm bớt hay hạn chế chức năng tìm kiếm, nhận biết và phát hiện mục tiêu của các thiết bị, phương tiện trinh sát. Các loại son khí và khói, bản thân chúng không trực tiếp gây tử vong trên chiến trường. Tuy nhiên, khi được sử dụng đồng bộ và hợp lí chúng có thể tạo ra một khu vực che khuất rộng lớn góp phần che dấu lực lượng, bảo vệ mục tiêu và giảm hiệu quả sát thương để đối phó với tình báo và các phương tiện thu thập thông tin chiến trường của đối phương.

Nhìn chung, son khí là tổng hợp của rất nhiều các hạt nhỏ lơ lửng trong không khí. Các hạt này có mức tán xạ và hấp thụ khác nhau đối với quang phổ điện từ của bức xạ. Sự hấp thụ này làm giảm bớt mức độ truyền nhiệt của bức xạ qua màn khói. Khi mật độ của son khí giữa thiết bị trinh sát với mục tiêu vượt lên một ngưỡng giá trị nhất định thì đối tượng được xem là có hiệu quả che khuất.

Màn khói hay các dạng son khí đặt giữa mục tiêu và phương tiện trinh sát có thể làm giảm hiệu quả trinh sát bằng cách can thiệp vào những bức xạ điện từ được phản chiếu. Lượng son khí cần thiết để đạt hiệu quả che khuất đối với thiết bị trinh sát phụ thuộc vào độ cao, điều kiện khí tượng, địa hình, ánh sáng tự nhiên, khả năng hiển thị và hiệu ứng hấp thụ những hạt tự nhiên trong khí quyển [1].

Đối với màn khói và các dạng son khí, hiệu quả của sự che khuất phụ thuộc chủ yếu vào những đặc trưng về kích thước, số lượng và màu sắc của các hạt khói. Trong phạm vi nhìn thấy được của ánh sáng, khói màu đen hấp thụ một tỷ lệ lớn các sóng điện từ. Khi có ánh sáng chúng ta cần nồng độ cao hơn của khói đen để có hiệu quả che khuất bởi vì các hạt khói đen phân tán rải rác. Vào ban đêm hay trong điều kiện hạn chế tầm nhìn lượng khói đen cần thiết là thấp hơn đáng kể.

Với khói trắng hay khói xám mờ có thể nhìn thấy bằng cách phản chiếu hoặc tán xạ ánh sáng tạo để tạo ra một ánh sáng chói. Trong ánh sáng mặt trời, cần một nồng độ thấp hơn khói trắng so với khói đen để đạt hiệu quả che khuất mục tiêu. Vào ban đêm hay khi tầm nhìn hạn chế lượng khói xám hay khói trắng cần thiết nhiều hơn đáng kể so với lượng khói đen cần thiết.

Những nghiên cứu về khói trắng và công nghệ khói trắng đã cho thấy nó có hiệu quả cao hơn so với khói đen trong hầu hết các ứng dụng trên chiến trường. Có nhiều sản phẩm khói trắng có sẵn hoặc sản xuất gồm phốt pho trắng (WP), phốt pho đỏ (RP), HC (HC là sản phẩm mà thành phần gồm, kẽm oxit hexanhlorocthanic và bột nhôm). WP, HC và RP là các hydrocopic, chúng có thể hút nước từ khí quyển, chính điều này làm tăng đường kính hạt và làm chúng trở nên hiệu quả hơn trong việc tán xạ ánh sáng [2].

Sử dụng màn khói và các dạng son khí có thể che dấu được một khu vực mục tiêu rộng lớn trong thời gian ngắn mà các giải pháp ngụy trang khác khó có thể thực hiện được. Ngoài ra, thời gian tạo khói nhỏ, hình dáng màn khói dễ điều chỉnh và có thể tạo ra màn khói ngay trên khu vực đối phương cũng là những ưu điểm vượt trội của màn khói trong tác chiến. Tuy nhiên, màn khói và các dạng son khí chỉ có thể tồn tại được trong một thời gian ngắn. Khả năng sử dụng phụ thuộc vào các yếu tố ngoại cảnh như: điều kiện khí tượng, thời tiết, địa hình. Bên cạnh đó, bản thân màn khói cũng trực tiếp gây ra dấu lộ cho khu vực có mục tiêu. Do đó, việc sử dụng màn khói và các dạng son khí cần được nghiên cứu, tính toán trong từng trường hợp cụ thể cho phù hợp và hiệu quả.

2.2. Một số loại son khí điển hình

2.2.1. Son khí tự nhiên

Son khí tự nhiên là các loại son khí có sẵn hoặc được sinh ra trực tiếp từ tự nhiên. Chúng là các loại son khí không kiểm soát được và cũng có thể trợ giúp hoặc gây bất lợi cho cả ta và đối phương. Chúng ta có thể sử dụng chúng để tạo ra lợi thế trên chiến trường nếu chúng ta dự báo chính xác được các đặc điểm của hoạt động thiên nhiên hoặc thời tiết sinh ra các dạng son khí này cũng như nắm chắc những tác động của chúng đối với các hoạt động trên chiến trường. Các loại son khí tự nhiên sẽ tạo ra những dấu hiệu nhận dạng lớn và hàng loạt các vấn đề lớn khác. Các loại son khí trong tự nhiên điển hình là: bóng tối, sương mù, lượng mưa, bão cát...

2.2.2. Son khí nhân tạo

Chúng ta không thể kiểm soát hoạt động của các loại son khí tự nhiên với các mức độ cần thiết để đánh bại các nỗ lực trinh sát của kẻ thù. Trong khi các loại son khí tự nhiên hay sản phẩm chỉ ngăn chặn hay làm yếu đi những thành phần của quang phổ điện từ thì chúng ta phải sản xuất các loại son khí nhân tạo để tấn công các hệ thống điện - quang của kẻ thù. Son khí

nhân tạo có thể phân loại thành các nhóm như: Son khí trực quan, bispectral, đa quang phổ và các loại son khí đặc biệt...

2.3. Khả năng ứng dụng của màn khói và các dạng son khí

Trên chiến trường, những mục tiêu có thể bị phát hiện và nhận biết thì cũng có thể bị đối phương tấn công và tiêu diệt. Chúng ta có thể sử dụng màn khói và các dạng son khí để che dấu mục tiêu, làm mất hoặc giảm hiệu quả các thiết bị trinh sát của đối phương như: máy ảnh, ống nhòm, các hệ thống ngắm của vũ khí, các thiết bị quan sát ban đêm, các thiết bị tìm kiếm dùng laser, ra đa... Màn khói và các dạng son khí có thể được sử dụng để đạt được những mục đích cụ thể sau:

- Làm suy giảm khả năng của quan sát của đối phương;
- Gây rối khả năng trao đổi, liên lạc của đối phương;
- Che giấu lực lượng của ta;
- Nghi binh, đánh lừa kẻ thù.

Tuy nhiên, hiệu quả ngụy trang của màn khói và các dạng son khí trong từng vùng phổ, đối với từng loại thiết bị trinh sát cần phải được nghiên cứu và tính toán. Màn khói thường được sử dụng trong các trường hợp sau:

- Ngụy trang các mục tiêu có thời gian yêu cầu ngụy trang ngắn. Chẳng hạn như ngụy trang hành động bộ đội trong tấn công, phòng ngự, hành quân, vượt sông...

- Ngụy trang chống đánh phá cho các mục tiêu lớn. Với các mục tiêu này các giải pháp ngụy trang khác không hiệu quả. Ví dụ ngụy trang cầu phao, ngụy trang kho tàng, nhà máy..

- Màn khói còn được sử dụng tiện lợi để nghi binh lừa địch.

3. Sử dụng màn khói và các dạng son khí để ngụy trang mục tiêu

3.1. Nguyên lí của sự che khuất bởi màn khói và các dạng son khí

Trước hết ta xét sự truyền lan của chùm ánh sáng đơn sắc qua lớp khói có bề dày *l*. Gọi $B_0(\lambda)$ là độ chói ở lối vào, $B(\lambda)$ - là độ chói ở lối ra lớp khói, ta có[1],[3]:

$$B(\lambda) = B_0(\lambda).e^{-(\alpha_1 + \alpha_2)l} = B_0(\lambda).e^{-l.\alpha} = B_0(\lambda).T^l$$
(3.1)

trong đó:

 α_1 -là chỉ số hấp thụ;

 α_2 -là chỉ số tán xạ;

 $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ - là hệ số suy giảm;

 $T = e^{-(\alpha 1 + \alpha 2)} = e^{-\alpha}$ được gọi là độ trong suốt của lớp khói.

Qua biểu thức (3.1) ở trên ta thấy $B(\lambda) < B_0(\lambda)$ nghĩa là lớp khói làm giảm bức xạ quang truyền trong nó. Mặt khác, lớp khói thực hiện tán xạ ánh sáng mặt trời. Một phần năng lượng tán xạ này $B_k(\lambda)$ truyền tới thiết bị trinh sát gây ra nhiễu loạn và giảm cự ly tác dụng của thiết bị trinh sát. Như vậy, độ chói tổng cộng qua màn khói là: $B(\lambda)+B_k(\lambda)$.

Giả sử bề mặt phông nền và mục tiêu có độ chói $B_{\phi}>B_{mt}$. Qua màn khói ta có:

 $B'_{\phi} = B_{\phi}. \ T^l + B_k$

$$\mathbf{B'}_{\mathrm{mt}} = \mathbf{B}_{\mathrm{mt}} \cdot \mathbf{T}^l + \mathbf{B}_{\mathrm{k}}$$

Tương phản độ chói giữa mục tiêu và phông nền K' có giá trị:

$$K' = \frac{B'_{\phi} - B'_{mt}}{B'_{\phi}} = \frac{K}{1 + x_K}$$
(3.2)

trong đó:

$$K = \frac{B_{\phi} - B_{mt}}{B_{\phi}} \tag{3.3}$$

là hệ số tương phản độ chói trước màn khói;

$$x_{K} = \frac{B_{K}}{B_{\phi} T^{l}}$$
(3.4)

là hệ số giảm độ tương phản độ chói.

Ta có nhận xét:

 $B_{k}\uparrow \rightarrow x_{K}\uparrow \rightarrow K'\downarrow$ $T\downarrow \rightarrow x_{K}\uparrow \rightarrow K'\downarrow$

Từ đó ta thấy rằng, màn khói và các dạng son khí hấp thụ và tán xạ bức xạ quang truyền trong nó. Nhờ đó, làm giảm độ trong suốt T và tăng độ chói mù B_K dẫn tới giảm hệ số tương phản độ chói K' giữa mục tiêu và phông nền khiến cho mục tiêu khó bị trinh sát và phát hiện hơn so với các mục tiêu không được che giấu bằng màn khói. Ở một phạm vi giới hạn, màn khói và các dạng son khí có thể che dấu hoàn toàn mục tiêu. Phạm vi giới hạn đó được gọi là tầm nhìn khí tượng của màn khói. Tầm nhìn khí tượng được xác định bằng khoảng cách lớn nhất trong màn khói, mà ở khoảng cách đó mắt người bình thường còn phát hiện được vật đen tuyệt đối có kích thước đủ lớn.

$$S_M = \frac{4,4}{\alpha} \quad (m) \tag{3.5}$$

Với α hệ số suy giảm của màn khói, trị số S_M càng lớn thì có thể nhận thấy màn khói càng loãng. Ngược lại trị số S_M càng nhỏ màn khói càng dày đặc. Như vậy, khi kích thước màn khói theo hướng quan sát lớn hơn S_M, màn khói che dấu hoàn toàn mục tiêu. Khi khoảng cách này nhỏ hơn S_M, mục tiêu có bị phát hiện hay không còn tuỳ thuộc vào tương phản độ chói giữa mục tiêu và nền. Trong trường hợp này có thể xem là màn khói có tác dụng giảm lộ [3].

3.2. Ảnh hưởng của một số yếu tố khí tượng điển hình đến màn khói

Ở mục này, ta xét những yếu tố khí tượng chính ảnh hưởng tới sự hình thành màn khói. Những yếu tố đó gồm có: hướng gió và tốc độ gió, nhiệt độ, độ ẩm và lượng mưa.

3.2.1. Gió

Khói phát ra từ khí tài xả khói sẽ bay theo chiều gió. Vì vậy, gió là yếu tố quyết định tới hình thành màn khói. Hướng gió quyết định vị trí đặt hộp khói. Còn tốc độ gió quyết định khoảng cách giữa các hộp khói và khoảng cách từ hộp khói đến mục tiêu [1].

- Khi vận tốc gió nhỏ quá v < 1,5 m/s màn khói không lan rộng ra mà tụ lại quanh điểm phát khói. Vì vậy, diện tích che phủ nhỏ.

- Khi vận tốc gió lớn quá v > 8 m/s màn khói lan nhanh, chóng tan và thường đứt đoạn.

- Điều kiện tốt nhất cho tạo khói là hướng gió ổn định, tốc độ gió v = $2 \div 5$ m/s. Trong điều kiện này, kích thước màn khói tuỳ thuộc vào trọng lượng hộp khói và tốc độ gió. Hộp khói

càng lớn thì màn khói càng lớn. Tốc độ gió càng lớn thì bề ngang màn khói càng hẹp còn chiều dài màn khói càng lớn. Vì vây, khi bố trí hộp khói phải căn cứ vào hướng gió và tốc đô gió để bố trí cho thích hợp, vừa bảo đảm tiết kiệm hộp khói vừa bảo đảm tạo màn khói che kín khu vực mục tiêu.



Hình 1. Ảnh hưởng của gió đến màn khói

3.2.2. Sự chênh lệch nhiệt độ

Bản thân nhiệt độ không có quan hệ trực tiếp đến hiệu quả sử dụng màn khói. Tuy nhiên, nó có mối liên hệ gián tiếp thông qua sự chênh lệch về nhiệt độ. Chênh lệch nhiệt độ được xác định bằng cách so sánh nhiệt độ không khí ở độ cao 0,5m và nhiệt độ ở độ cao 4m so với mặt đất. Ba trạng thái chênh lệch nhiệt độ ảnh hưởng đến màn khói là: không ổn định, trung tính, và ổn đinh [2].

- Không ổn định: Trang thái không ổn định tồn tại khi nhiệt đô không khí giảm xuống khi lên cao. Điều kiện này đặc trưng bởi dòng không khí theo chiều dọc tức thời và sự bất ổn. Do đó, màn khói có xu hướng chia nhỏ và khuếch tán.

- Trung bình: Trạng thái trung bình tồn tại khi nhiệt độ không khí thay đổi rất ít hoặc không thay đổi khi lên cao. Ở trạng thái này, dòng không khí theo chiều dọc là rất hạn chế. Đây là điều kiên tốt nhất cho màn sương và màn khói che phủ. Tuy nhiên, đây không phải là chênh lệch nhiệt đô thuận lợi cho màn khói.

- Ôn định: Trạng thái ổn định tồn tại khi nhiệt độ không khí tăng khi lên cao. Trạng thái này hạn chế dòng không khí theo chiều dọc. Đám khói được sinh ra trong điều kiện ổn định sẽ nằm thấp dưới mặt đất và tạo ra sự che khuất hiệu quả cho mục tiêu.

Điều kiện khí tượng thời tiết	Hiệu ứng chênh lệch nhiệt độ	Trạng thái màn khói (hướng gió ->)
 Tốc độ gió nhỏ hơn 2,5m/s. Đám mây che phủ nhỏ hơn 30%. 	Ôn định (lí tưởng)	
 Tốc độ gió là 2,5m/s hay hơn. Đám mây che phủ là >= 30%. 	Trung bình (thuận lợi)	
 Tốc độ gió nhỏ hơn 2,5m/s. Đám mây che phủ nhỏ hơn 30 %. 	Không ổn định (trôi đi)	

Bảng 1. Hiệu ứng chênh lệch nhiệt độ và trạng thái màn khói

3.2.3. Độ ẩm và lượng mưa

Thực tế là tất cả các phân tử khói hấp thu hơi ẩm trong không khí. Độ ẩm làm tăng kích thước phân tử, mật độ và làm cho màn khói có hiệu quả hơn. Hầu hết các loại đạn khói tạo ra màn khói dày đặc hơn khi độ ẩm cao. Do vậy, độ ẩm thường là thuận lợi cho việc sử dụng màn khói trên chiến trường.

Độ ẩm tương đối	НС	WP
%	Hiệu quả (Tỉ lệ %)	Hiệu quả (Tỉ lệ %)
0	100	100
10	146	353
20	152	372
30	159	391
40	173	411
50	189	434
60	211	465
70	240	510
80	325	588
90	572	785

Bảng 2. Hiệu quả sử dụng khói WP và HC trong các điều kiện độ ẩm khác nhau

*HC: Hỗn hợp tạo khói gồm kẽm oxit hexanlorocthanic và bột nhôm *WP: Phốt pho trắng

Khi có mưa, khả năng hiển thị bị giảm xuống nên màn khói ít được sử dụng để ngụy trang khi có mưa. Mưa lớn và tuyết hạn chế nhiều về khả năng hiển thị cho nên rất hiếm khi cần phải ngụy trang trong những điều kiện này. Khi được sử dụng trong thời gian có lượng mưa thì màn khói vẫn có xu hướng gần mặt đất và trải rộng trên một khu vực rộng lớn.

3.3. Tính toán và bố trí màn khói để ngụy trang mục tiêu

3.3.1. Các yêu cầu khi sử dụng màn khói

- Bố trí mục tiêu thích hợp trong màn khói, diện tích màn khói phải lớn hơn diện tích mục tiêu từ 5 ÷ 10 lần.

- Mục tiêu không ở tâm màn khói, hình dáng màn khói không được lặp lại hình dáng mục tiêu. Che dấu mục tiêu phải đồng thời phải che dấu các vật chuẩn định vị tới mục tiêu.



Hình 2. Vị trí mục tiêu trong màn khói

 Màn khói phải bảo đảm che dấu mục tiêu khi hướng gió, tốc độ gió thay đổi. Bảo đảm thời cơ xả khói.

- Với màn khói nghi binh: phải bảo đảm thời cơ phát khói, địa hình phát khói, diện tích màn khói. Địa hình phát khói phải vừa bảo đảm hiệu quả nghi binh vừa bảo đảm an toàn cho các mục tiêu thực kế cận.

3.3.2. Tính toán bố trí màn khói

Tính toán, bố trí màn khói theo các bước cơ bản sau:

a) Xác định diện tích màn khói

Diện tích này xác định căn cứ vào diện tích mục tiêu, hình dáng mục tiêu, vị trí các điểm chuẩn cần che dấu. Theo yêu cầu thứ nhất về bố trí màn khói thì diện tích màn khói phải nằm trong khoảng 5 - 10 lần diện tích mục tiêu. Hình dạng màn khói có thể là chữ nhật hoặc bất kì. Khi hình dạng vùng tạo khói là bất kì, ta có thể chia gần đúng vùng tạo khói thành nhiều hình chữ nhật và xem xét bố trí màn khói cho từng hình chữ nhật riêng biệt. Gọi L và B là các cạnh theo chiều dài và chiều rộng màn khói do từng điểm phát khói tạo nên.

b) Xác định chiều dài và rộng của mỗi màn khói (do 1 hộp khói) l_{max} và b. Khi quan sát một điểm phát khói riêng biệt ta thấy tại điểm phát khói bề rộng b của màn khói rất nhỏ, đồng thời nồng độ khói rất lớn. Càng xa điểm phát khói thì bề rộng màn khói càng lớn, đồng thời nồng độ khói càng giảm. Đến một lúc nào đó nồng độ khói không còn bảo đảm che dấu mục tiêu và ta xác định được chiều dài cực đại của màn khói l_{max} . Trị số của bề rộng b và chiều dài lmax được tra trong các sổ tay công binh, hoặc sổ tay hoá học. Khi có điều kiện thì tiến hành thực nghiệm để xác định l_{max} và b trong các điều kiện khí tượng khác nhau.

c) Tính toán số lượng điểm phát khói n theo biểu thức [1]:

$$n = \frac{B_{\max}}{b} \cdot \frac{L_{\max}}{l} \cdot \frac{T}{t} \cdot K$$
(3.6)

trong đó: B_{max} - chiều rộng diện tích phát khói ;

L_{max} - chiều dài diện tích phát khói;

T - thời gian yêu cầu tồn tại màn khói;

t - thời gian làm việc của 1 hộp khói ;

 $K = 1,15 \div 1,2 - hệ số dự trữ.$

d) Bố trí các hộp khói và bình khói theo tính toán lên thực địa

3.3.3. Tính toán bố trí màn khói theo bảng tra

Bên cạnh việc tính toán và bố trí màn khói theo các bước cơ bản đã trình bày trong mục 3.3.2 có thể sử dụng bảng tra nhanh số lượng và khoảng cách bố trí các bình khói, hộp khói trên chiến trường. Các bảng tra thực nghiệm được xác định trên cơ sở thời gian tạo khói cũng như các đặc điểm về địa hình, thời tiết, khí tượng tại khu vực bố trí màn khói [6].

a) Bảng tra khoảng cách bố trí giữa các bình, hộp khói

			Kho	ång		
Tốc độ gió	Chênh lệch	Địa hình	cách	(m)	Khoảng cách	
(Km/h)	nhiệt độ	Dia mun	Surong	Che	đến mục tiêu	
			mù	phủ		
	Mọi trường hợp	Trống trải hay mặt nước	50	25	250	
1 85 - 12 06	Ôn định		60	30	300	
1,03712,90	Không ổn định và trung tính	Cây cối	70	35	350	
14,82÷24,07	Mọi trường hợp	Trống trải hay mặt nước	40	20	200	
		Cây cối	50	25	250	
25,93÷31,48	Mọi trường hợp	Trống trải hay mặt nước	30	15	150	
		Cây cối	40	20	200	

Bảng 3. Khoảng cách bố trí giữa các bình (hộp) khói

	Số lượng bình (hộp) khói												
Khoảng cách giữa các bình	15m				20m			25m			30m		
Chiều dài (m) Thời gian	100	500	1000	100	500	1000	100	500	1000	100	500	1000	
15 phút	12	51	102	9	13	77	8	32	62	6	27	51	
30 phút	24	102	204	18	78	153	15	63	123	12	48	102	
1 giờ	48	204	612	36	156	306	30	126	246	24	108	204	
3 giờ	144	612	1224	108	468	918	90	378	738	72	324	612	
Khoảng cách giữa các bình	40m		50m			60m			70m				
(L) (T)	100	500	1000	100	500	1000	100	500	1000	100	500	1000	
15 phút	б	21	39	5	17	32	5	14	27	3	12	23	
30 phút	12	42	78	9	33	63	9	27	48	6	24	45	
1 giờ	24	84	156	18	66	126	18	54	108	12	48	90	
3 giờ	72	252	468	54	198	373	54	162	324	36	144	270	

b) Bảng tra khối lượng sử dụng các bình, hộp khói

4. Ứng dụng và sự phát triển của màn khói trong tương lai

Khoa học công nghệ và ứng dụng của các thành tựu khoa học đã đem đến những cải tiến lớn về khả năng che giấu và quá trình phát tán, sử dụng màn khói trên chiến trường. Sự phát triển và ứng dụng của màn khói có liên quan trực tiếp đến lĩnh vực nghiên cứu khoa học trên toàn bộ quang phổ điện từ. Các quốc gia trên khắp thế giới đã nhận ra rằng việc kiểm soát được quang phổ điện từ là điều bắt buộc để đảm bảo thành công cho các hoạt động quân sự. Trong khi cả lực lượng đồng minh và quân địch đều cạnh tranh để giành quyền kiểm soát quang phổ điện từ trong không gian chiến đấu, thì công nghệ có thể là yếu tố tạo nên sự khác biệt.

Trên thực tế, các phi công của Mỹ trong chiến dịch "Bão táp sa mạc" đã chỉ ra rằng màn khói và các màn che kể cả tự nhiên và nhân tạo đều có thể ảnh hưởng lớn đến tầm bắn và khả năng sát thương của nhiều loại đạn dẫn đường bằng laser và đường ngắm của họ [4]. Ngay cả khi số lượng vũ khí thông minh trên chiến trường ngày càng tăng, việc sử dụng màn khói và các dạng son khí có thể nâng cao khả năng sống sót của các mục tiêu và đồng thời làm suy giảm khả năng sống sót của đối phương.

Các kết quả thử nghiệm của Hải quân Mỹ chỉ ra rằng màn khói và các dạng son khí hay các loại màn che có thể có hiệu quả trong việc bảo vệ các tàu thuyền nhỏ chống lại vũ khí dẫn đường, thiết bị tìm kiếm hình ảnh trực quan và kể cả vũ khí điều khiển bằng laser [5]. Màn khói và các dạng son khí có thể hữu ích trong việc che giấu những chiếc thuyền nhỏ trước sự trinh
sát bởi con người và các phương tiện trinh sát từ trên bờ, từ các tàu khác và thậm chí kể cả sự trinh sát từ trên không được thực hiện bởi các máy bay trinh sát. Ngoài ra, màn khói và các dạng son khí có thể gây thêm sự nhầm lẫn cho các thiết bị radar.[5] Do đó, có thể thấy rằng màn khói và các dạng son khí không chỉ sử dụng hiệu quả che giấu mục tiêu trên bộ, trên không mà còn có thể có hiệu quả trên biển. Đây là ưu điểm mà màn khói và các dạng son khí vuợt trội so với các giải pháp ngụy trang và nghi trang khác.

Sự phát triển khoa học công nghệ và tác động của nó đối với quá trình nghiên cứu các loại màn khói cũng như màn che khác sẽ ảnh hưởng đáng kể đến điều kiện tác chiến trên chiến trường trong những năm tiếp theo.

4. Kết luận

Sự che khuất trên chiến trường là một khái niệm phức tạp, được nghiên cứu bởi sự kết hợp các yếu tố khoa học vật liệu, khí tượng học, điện quang, vật lý đa pha, toán học, hóa học, khoa học máy tính và công nghệ cảm biến... Sự phát triển của khoa học công nghệ đã tạo ra màn khói và các loại màn che đặc biệt không chỉ che dấu được mục tiêu trước các phương tiện trinh sát thông thường mà còn có thể được sử dụng để đánh bại các hệ thống vũ khí tiên tiến. Các ứng dụng của màn khói trong ngụy trang mục tiêu trên chiến trường đã đạt được bước nhảy vọt về hiệu quả nhờ nghiên cứu và phát triển các thành tựu khoa học công nghệ. Bài báo đã trình bày một số vấn đề cơ bản về màn khói và các dạng son khí cũng như ứng dụng, sử dụng nó trong ngụy trang mục tiêu khi tác chiến.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Quốc Bảo, Trần Nhất Dũng, Vũ Đức Hiếu, Nguyễn Lâm Tới (2012). Giáo trình Nguy trang. NXB Quân đội nhân dân.
- [2]. Nguyễn Quốc Bảo (2014). Giáo trình Giải pháp hạn chế hiệu quả của vũ khí sát thương đối với công trình. NXB Quân đội nhân dân.
- [3]. JW Ramana Jao (1999), Introduction to Camouflage and Deception. Defence Research & Development organisation Ministry of Defence Newdelhi
- [4]. Friel, Major General George E., Commander Chemical and Biological Defense Command. Keynote Address, 25 June 1996. Proceedings of the Smoke/Obscurants Symposium XIX Volume I, 1997.
- [5]. Grant, US, Quoted in General William W. Hartzog, Commander, US Army Training and Doctrine Command, *Force XXI:* Land Combat in the 21st Century, Ft. Monroe, VA: Headquarters, Training and Doctrine Command.
- [6]. FM 3-50 Smoke Operations United State Washington, 4 December 1990.

Using smoke and aerosols to camouflage in war

Abstract:

The article introduces and presents an overview of smoke and aerosols application to camouflage military targets in war. Research and propose a number of plans to calculate, use and arrange smoke to camouflage targets in combat.

Keywords: smokes; aerosols; camouflage; deception; reconnaissance.

Phân tích tĩnh kết cấu tấm sandwich làm bằng vật liệu có cơ tính biến thiên trên nền đàn hồi Pasternak

Nguyễn Văn Trường^{1,*}, Đào Công Bình¹, Dương Thành Huân² và Lê Vũ Quân²

¹Viện Kỹ thuật Công trình Đặc biệt, Học viện Kỹ thuật Quân sự ²Khoa Cơ-Điện, Học viện Nông nghiệp Việt Nam *Email: truongmta1994@gmail.com

Tóm tắt

Trong bài báo này, lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất (FSDT) của Reissner-Mindlin được sử dụng để thiết lập lời giải giải tích phân tích tĩnh kết cấu tấm chữ nhật dạng sandwich làm bằng vật liệu có cơ tính biến thiên. Tấm gồm có ba lớp: hai lớp bề mặt là vật liệu có cơ tính biến thiên theo phương chiều dày theo qui luật hàm mũ (P-FGM), lớp lõi được làm bằng vật liệu rỗng (metal foam). Hệ phương trình cân bằng của tấm bốn biên tựa khớp đặt trên nền đàn hồi Pasternak và chịu tải trọng phân bố đều vuông góc với mặt trung bình được giải theo nghiệm Navier. Tính chính xác và độ tin cậy của mô hình được khẳng định thông qua các ví dụ kiểm chứng, so sánh kết quả tính toán với kết quả đã công bố trên các tạp chí có uy tín của các tác giả khác. Ảnh hưởng của các tham số vật liệu, kích thước hình học và hệ số nền đến độ võng và các thành phần ứng suất của tấm sàn chữ nhật dạng sandwich được khảo sát và thảo luận chi tiết trong các ví dụ số.

Từ khóa: Vật liệu có cơ tính biến thiên (FGM); Tấm sandwich; Lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất (FSDT); Phân tích tĩnh; Nền đàn hồi Pasternak.

1. Mở đầu

Vật liệu có cơ tính biến thiên (FGM) là loại vật liệu composite thế hệ mới được cấu tạo từ hai hoặc nhiều hơn các loại vật liệu khác nhau. Do có cơ tính biến đổi trơn và liên tục theo một phương ưu tiên nên FGM tránh được sự tập trung ứng suất và không xảy ra sự bong tách lớp. Vật liêu FGM tân dung được lợi thế của các vật liêu thành phần: khả năng chiu nhiệt và chiu ăn mòn tốt của gốm (ceramic); đô bền dẻo của kim loại (metal), vì vây có nhiều đặc tính ưu việt hơn so với loại vật liệu đồng nhất có thành phần cấu tạo tượng tự. Kết cấu sandwich là dạng kết cấu gồm ba lớp, trong đó hai lớp ở bên ngoài được gọi là lớp bề mặt, thường được làm từ vật liêu cường đô cao, đóng vai trò chiu lực chính,lớp ở giữa goi là lớp lõi và thường được tạo thành từ vật liệu có khả năng chịu lực không cao và trọng lượng nhỏ. Lớp lõi đóng vai trò cấu tao, giữ ổn đinh cho các lớp bề mặt và đảm bảo yêu cầu cách âm, cách nhiệt. Với cấu trúc dạng này tấm sandwich được sản xuất từ vật liệu có tính chất cơ tính biến đổi (FGMSW) có nhiều tiềm năng được ứng dụng ở những nơi có sự thay đổi nhiệt độ lớn, đảm bảo ổn định hình dạng, chịu va chạm, mài mòn hay rung động. Đối với ngành xây dựng tấm FGMSW có thể được ứng dụng làm móng máy, tấm sàn, vách cách âm cách nhiệt, vòm che, mái che... Đặc biệt trong lĩnh vực xây dựng công trình quốc phòng vật liệu FGM có thể được ứng dung làm các tấm chắn đan của công sư.

Hiện nay, nhiều tác giả nổi tiếng và các nhóm nghiên cứu đã tập trung vào việc khám phá kết cấu của tấm FGMSW. Các tác giả đã áp dụng nhiều lý thuyết và phương pháp phân tích để nâng cao hiểu biết về tính chất cơ học của chúng. Dựa trên lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất, Yang và đồng nghiệp [1] đã thực hiện phân tích phi tuyến tĩnh của tấm FGMSW trên nền đàn hồi. Ngược lại, Kurpa và Shmatko [2] tập trung vào việc phân tích dao động tự do của tấm FGMSW. Bessaim và đồng nghiệp [3] đã sử dụng lý thuyết biến dạng cắt bậc cao để khảo sát, tính toán độ võng, ứng suất của tấm FGMSW. Mahi và đồng nghiệp [4]đã mở rộng phạm vi nghiên cứu bằng cách sử dụng lý thuyết biến dạng cắt hyperbol bậc năm, dựa trên nghiệm Navier, để phân tích các tấm FGMSW. Một hướng tiếp cận khác là của Akavci, người đã sử dụng SDT hyperbol để phân tích tĩnh, dao động tự do và mất ổn định của tấm FGMSW chịu uốn trên nền đàn hồi [5]. Singh và đồng nghiệp [6] đã khảo sát đáp ứng động của tấm FGMSW trên nền đàn hồi Pasternak bằng cách sử dụng lý thuyết biến dạng cắt bậc cao.

Ở Việt Nam, có một số nghiên cứu điển hình như: Nguyễn Thành Tấn [7] phân tích dao động tự do và ổn định tấm FGMSW sử dụng lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất. Tác giả Nguyễn Hữu Khôi [8] phân tích tĩnh tấm FGMSW trên nền đàn hồi sử dụng phương pháp không lưới và lý thuyết biến dạng cắt bậc cao thu gọn. Tác giả Cao Hữu Lợi [9] phân tích ổn định tấm FGMSW có lỗ rỗng trên nền đàn hồi bằng phương pháp không lưới (MKI). Tác giả Phạm Anh Tú [10] phân tích dao động tự do của tấm FGMSW có lỗ rỗng đặt trên nền đàn hồi bằng phương pháp không lưới sử dụng hàm nội suy (MKI-Moving Kriging).

Nghiên cứu tổng quan cho thấy, ứng xử cơ học của kết cấu tấm sandwich làm bằng vật liệu có cơ tính biến thiên đang là chủ đề hấp dẫn thu hút sự quan tâm nghiên cứu của các nhà khoa học. Tuy nhiên, theo hiểu biết của tác giả hiện chưa có nghiên cứu nào phân tích độ võng, ứng suất trong tấm sandwich 3 lớp trong đó lớp lõi là vật liệu rỗng và hai lớp bề mặt là vật liệu FGM đặt trên nền đàn hồi Pasternak. Do đó, mục đích của bài báo là thiết lập các hệ thức, các phương trình chủ đạo của tấm FGMSW tựa trên nền đàn hồi Pasternak theo lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất. Dạng nghiệm theo Navier được sử dụng nhằm xác định chuyển vị, ứng suất của kết cấu tấm FGMSW có điều kiện biên tựa khớp trên bốn cạnh. Độ tin cậy của mô hình được kiểm chứng qua so sánh với kết quả của một số tác giả đã công bố trên các tạp chí có uy tín. Ảnh hưởng của các tham số vật liệu, kích thước hình học và hệ số nền đến độ võng và các thành phần ứng suất của tấm FGMSW được khảo sát và thảo luận chi tiết thông qua các ví dụ số cụ thể.

2. Phương pháp

2.1. Mô hình tấm sandwich 3 lớp có cơ tính biến thiên

Xét tấm sàn (Hình 1) dạng sandwich 3 lớp: lớp trên và lớp dưới có chiều dày là h_f và được làm bằng vật liệu FGM, lớp lõi có chiều dày là h_c được làm bằng vật liệu rỗng (metal foam). Tấm có chiều dài a, chiều rộng b và tổng chiều dày $h = h_c + 2h_f$. Theo phương chiều dày, các lớp được phân biêt theo các tọa độ từ $h_1 = -h/2$, $h_2 = -h_c/2$, $h_3 = h_c/2$ và $h_4 = h/2$. Tấm được đặt trên nền đàn hồi với hai hệ số là K_w và K_{si} .



Hình 1. Mô hình tấm sandwich có cơ tính biến thiên trên nền đàn hồi

2.2. Mô hình vật liệu

Mô đun đàn h ồi kéo (nén) của hai lớp bề mặt FGM được xác định theo công thức sau[11]:

$$E(z) = E_m V_m + E_c V_c \tag{1}$$

Trong đó, E_c và E_m lần lượt là mô đun đàn hồi của các vật liệu thành phần là gốm và kim loại. Với giả thiết, biến thiên tính chất vật liệu tuân theo qui luật hàm mũ nên tỷ lệ thể tích của gốm V_c và kim loại V_m được tính như sau:

- *Lóp 1* (lóp dưới, $h_1 \le z \le h_2$):

$$V_c = \left(\frac{z - h_2}{h_1 - h_2}\right)^p; \quad V_m = 1 - V_c$$
 (2)

- *Lóp 3* (lóp trên, $h_3 \le z \le h_4$):

$$V_{c} = \left(\frac{z - h_{4}}{h_{3} - h_{4}}\right)^{p}; \quad V_{m} = 1 - V_{c}$$
(3)

Trong đó, p là chỉ số tỷ lệ thể tích và là một số không âm.

- *Lóp 2* (lóp lõi, $h_2 \le z \le h_3$):

Để tính chất vật liệu của tấm được liên tục, lớp lõi của tấm được cấu tạo bởi vật liệu rỗng với nền là kim loại giống như trong hai lớp bề mặt. Mô đun đàn hồi của lớp lõi được xác định như sau:

$$E(z) = E_m \left[1 - e_0 \cos\left(\frac{\pi z}{h_3 - h_2}\right) \right]$$
(4)

với e_0 là hệ số biểu thị mật độ lỗ rỗng.



Hình 2. Biến thiên của mô đun đàn hồi vật liệu trên các lớp theo chiều dày tấm $(p=5, e_0 = 0, 5, [1-2-1])$

Hình 2 minh họa biến thiên mô đun đàn hồi của tấm theo chiều dày với chỉ số tỷ lệ thể tích p = 5, hệ số lỗ rỗng $e_0 = 0,5$, tỷ lệ giữa chiều dày các lớp là[1-2-1]. Từ hình vẽ có thể thấy mô đun đàn hồi của tấm là liên tục và đối xứng theo chiều dày tấm, mô đun đàn hồi có giá trị lớn nhất tại hai mặt ngoài của tấm và có giá trị nhỏ nhất trên mặt trung bình.

2.3. Lý thuyết tấm Reissner-Mindlin

2.3.1.Các thành phần chuyển vị

Theo lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất Reissner – Mindlin, trường chuyển vị được giả thiết dưới dạng sau [12, 13]:

$$u(x, y, z) = u_0(x, y) + z\theta_x(x, y);$$

$$v(x, y, z) = v_0(x, y) + z\theta_y(x, y);$$

$$w(x, y, z) = w_0(x, y).$$
(5)

trong đó, w_0, u_0, v_0 là các thành phần chuyển vị của điểm trên mặt trung bình theo các phương *x*, *y*, *z*; θ_x, θ_y là các góc xoay so với phương ban đầu của pháp tuyến mặt trung bình tại điểm đang xét quanh các trục *y*, *x*.

2.3.2.Các thành phần biến dạng

Trường biến dạng được suy ra từ trường chuyển vị bằng cách sử dụng quan hệ chuyển vị - biến dạng trong lý thuyết đàn hồi:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u_0}{\partial x} + z \frac{\partial \theta_x}{\partial x};$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial v_0}{\partial y} + z \frac{\partial \theta_y}{\partial y};$$

$$\gamma_{xy} = 2\varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = \left(\frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x}\right) + z \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial x}\right);$$

$$\gamma_{xz} = 2\varepsilon_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial w_0}{\partial x} + \theta_x;$$

$$\gamma_{yz} = 2\varepsilon_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\partial w_0}{\partial y} + \theta_y.$$
(6)

2.3.3.Các thành phần ứng suất

Theo định luật Hooke, quan hệ ứng suất - biến dạng được xác định theo công thức sau:

$$\begin{cases} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{yz} \end{cases} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{66} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{66} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} \end{bmatrix} \begin{cases} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{cases}$$
(7)

trong đó,
$$C_{11} = \frac{E(z)}{1 - v^2}$$
; $C_{12} = \frac{vE(z)}{1 - v^2}$; $C_{44} = C_{55} = C_{66} = \frac{E(z)}{2(1 + v)}$

2.3.4. Các thành phần nội lực

Thay các thành phần biến dạng trong (6) vào (7) rồi thực hiện tích phân theo chiều dày tấm thu được quan hệ giữa các thành phần nội lực và biến dạng như sau:

$$\begin{cases} N_{xx} \\ N_{yy} \\ N_{xy} \\ M_{xy} \\ M_{yy} \\ M_{xy} \\ Q_{xz} \\ Q_{yz} \\ Q_{yz} \\ Q_{yz} \\ Q_{yz} \\ Q_{yz} \end{cases} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 & B_{11} & B_{12} & 0 & 0 & 0 \\ A_{12} & A_{11} & 0 & B_{12} & B_{11} & 0 & 0 & 0 \\ A_{12} & A_{11} & 0 & B_{12} & B_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{66} & 0 & 0 & B_{66} & 0 & 0 \\ B_{11} & B_{12} & 0 & D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 \\ B_{12} & B_{11} & 0 & D_{12} & D_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B_{66} & 0 & 0 & D_{66} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \kappa A_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \kappa A_{55} \\ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx}^{0} \\ \varepsilon_{yy}^{0} \\ \gamma_{xy}^{0} \\ \kappa_{x} \\ \kappa_{y} \\ \gamma_{xz}^{0} \\ \gamma_{yz}^{0} \\ \gamma_{yz}^{0} \\ \end{pmatrix}$$
(8)

trong đó, (N_{xx}, N_{yy}, N_{xy}) , (M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}) và (Q_{xz}, Q_{yz}) lần lượt là các thành phần lực màng, các thành phần mô men và các thành phần lực cắt; $\kappa = 5/6$ là hệ số hiệu chỉnh cắt; A_{ii}, B_{ii}, D_{ii} là các ma trận hệ số vật liệu và được tính theo công thức sau:

$$\left(A_{ij}, B_{ij}, D_{ij}\right) = \int_{-h/2}^{h/2} C_{ij}\left(1, z, z^{2}\right) dz$$
(9)

2.3.5.Hệ phương trình cân bằng tĩnh theo chuyển vị

Xét một phân tố tấm đặt trên nền đàn hồi Pasternak và chịu tác dụng của tải trọng phân bố p(x; y) có phương vuông góc với bề mặt tấm. Lần lượt khảo sát điều kiện cân bằng của phân tố tấm lần theo các phương *x*, *y* và *z* và cân bằng momen theo các trục *x* và *y* nhận được hệ phương trình cân bằng tĩnh theo chuyển vị như sau:

$$A_{11}\frac{\partial^{2} u_{0}}{\partial x^{2}} + A_{66}\frac{\partial^{2} u_{0}}{\partial y^{2}} + (A_{12} + A_{66})\frac{\partial^{2} v_{0}}{\partial x \partial y} + B_{11}\frac{\partial^{2} \theta_{x}}{\partial x^{2}} + B_{66}\frac{\partial^{2} \theta_{x}}{\partial y^{2}} + (B_{12} + B_{66})\frac{\partial^{2} \theta_{y}}{\partial x \partial y} = 0$$
(10a)

$$A_{11}\frac{\partial^2 v_0}{\partial y^2} + A_{66}\frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2} + (A_{12} + A_{66})\frac{\partial^2 u_0}{\partial x \partial y} + B_{11}\frac{\partial^2 \theta_y}{\partial y^2} + B_{66}\frac{\partial^2 \theta_y}{\partial x^2} + (B_{12} + B_{66})\frac{\partial^2 \theta_x}{\partial x \partial y} = 0$$
(10b)

$$A_{44}\left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} + \frac{\partial \theta_x}{\partial x}\right) + A_{55}\left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} + \frac{\partial \theta_y}{\partial y}\right) + K_w w_0 + K_s\left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2}\right) + q(x, y) = 0$$
(10c)

$$B_{11}\frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} + B_{66}\frac{\partial^2 u_0}{\partial y^2} + (B_{12} + B_{66})\frac{\partial^2 v_0}{\partial x \partial y} + D_{11}\frac{\partial^2 \theta_x}{\partial x^2} + D_{66}\frac{\partial^2 \theta_x}{\partial y^2} - A_{44}\theta_x$$

$$+ (D_{12} + D_{66})\frac{\partial^2 \theta_y}{\partial x \partial y} - A_{44}\frac{\partial w_0}{\partial x} = 0$$
(10d)

$$B_{11}\frac{\partial^2 v_0}{\partial y^2} + B_{66}\frac{\partial^2 v_0}{\partial x^2} + (B_{12} + B_{66})\frac{\partial^2 u_0}{\partial x \partial y} + D_{11}\frac{\partial^2 \theta_y}{\partial y^2} + D_{66}\frac{\partial^2 \theta_y}{\partial x^2} - A_{55}\theta_y + (D_{12} + D_{66})\frac{\partial^2 \theta_x}{\partial x \partial y} - A_{55}\frac{\partial w_0}{\partial y} = 0$$
(10e)

2.4. Lời giải theo nghiệm Navier

Trong nghiên cứu này, xét tấm sandwich được khảo sát có liên kết tựa bản lề trên chu vi với các điều kiện biên như sau [14]:

$$w_{0}(0, y) = 0, w_{0}(a, y) = 0, w_{0}(x, 0) = 0, w_{0}(x, b) = 0;$$

$$\theta_{y}(0, y) = 0, \theta_{y}(a, y) = 0, \theta_{x}(x, 0) = 0, \theta_{x}(x, b) = 0;$$

$$M_{x}(0, y) = 0, M_{x}(a, y) = 0, M_{y}(x, 0) = 0, M_{y}(x, b) = 0.$$
(11)

Navier giả thiết các thành phần chuyển vị, tải trọng ngang phân bố dưới dạng chuỗi lượng giác kép sao cho thỏa mãn các điều kiện biên. Hàm chuyển vị, tải trọng ngang phân bố được giả thiết dưới dạng [14]:

$$u_{0}(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} u_{0mn} \cos \alpha x \sin \beta y; \quad v_{0}(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} v_{0mn} \sin \alpha x \cos \beta y;$$

$$w_{0}(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{0mn} \sin \alpha x \sin \beta y; \quad \theta_{x}(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \theta_{0xmn} \cos \alpha x \sin \beta y; \quad (12)$$

$$\theta_{y}(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \theta_{0ymn} \sin \alpha x \cos \beta y; \quad q(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} q_{mn} \sin \alpha x \sin \beta y.$$

Thay các thành phần chuyển vị từ (12) vào hệ phương tình cân bằng theo chuyển vị (10) và thực hiện các biến đổi toán học, nhận được hệ phương trình sau:

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 & S_{14} & S_{15} \\ S_{21} & S_{22} & 0 & S_{24} & S_{25} \\ 0 & 0 & S_{33} & S_{34} & S_{35} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} & S_{45} \\ S_{51} & S_{52} & S_{53} & S_{54} & S_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{0mn} \\ v_{0mn} \\ \theta_{0mn} \\ \theta_{0m$$

Giải hệ phương trình (13) ta nhận được các hệ số $u_{0mn}, v_{0mn}, w_{0mn}, \theta_{0mn}, \theta_{0mn}$. Từ đó, có thể tính được các thành phần chuyển vị, các thành phần biến dạng và các thành phần ứng suất mong muốn.

1034

3. Kết quả và thảo luận

Trên cơ sở lý thuyết đã trình bày, tác giả viết các chương tình máy tính theo l ời giải giải tích trên nền Matlab để tính toán Độ võng và các thành phần Ứng suất của tấm.Chương trình tính được thực hiện theo các bước như được trình bày trên các lưu đồ như trên Hình 3.



Hình 3. Lưu đồ thực hiện bài phân tích độ võng và ứng suất tấm Sandwich

Trong phần này, sau khi kiểm chứng sự chính xác của lời giải và chương tình tính các ví dụ số được thực hiện để khảo sát ảnh hưởng của các tham số vật liệu, kích thước hình học đến độ võng và ứng suất của tấm. Các công thức không thứ nguyên sau đây được sử dụng trong các khảo sát số [15]:

$$K_{0} = \frac{K_{w}a^{4}}{E_{0}h^{3}}; \quad J_{0} = \frac{K_{sx}a^{2}}{E_{0}h^{3}} = \frac{K_{sy}b^{2}}{E_{0}h^{3}}; \quad \bar{w} = \frac{100D_{0}}{q_{0}a^{4}}w\left(\frac{a}{2},\frac{b}{2}\right);$$

$$D_{0} = \frac{E_{c}h^{3}}{12(1-\nu)}; \quad \bar{\sigma}_{xx} = -\frac{h^{2}}{q_{0}a^{2}}\sigma_{xx}\left(\frac{a}{2},\frac{b}{2},-\frac{h}{2}\right);$$

$$\bar{\sigma}_{yy} = -\frac{h^{2}}{q_{0}a^{2}}\sigma_{yy}\left(\frac{a}{2},\frac{b}{2},-\frac{h}{2}\right); \quad \bar{\sigma}_{xy} = \frac{h^{2}}{q_{0}a^{2}}\sigma_{xy}\left(0,0,-\frac{h}{2}\right).$$
(14)

3.1. Bài toán kiểm chứng

Xét tấm chữ nhật có a/b = 3, a/h = 10 được làm bằng vật liệu đẳng hướng có E = 380GPa, v = 0,3 chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều. Độ võng và ứng suất của tấm được tính toán và so sánh với các kết quả tính theo lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất đơn giản 4 ẩn số chuyển vị (FSDT4) của Thai và Choi [15] trong Bảng 1.

Bảng so sánh cho thấy chênh lệch giữa kết quả tính từ mô hình mà bài báođã thi ết lập về độ võng, ứng suất theo lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất và kết quả công bố bởi Thai và Choi là không đáng kể. Cụ thể, chênh lệch lớn nhất về độ võng so với các nghiên cứu Thai & Choi là 2,59%, chênh lệch lớn nhất về ứng suất là 4,09%, điều đó thể hiện nghiệm giải tích và chương trình tính được xây dựng trong bài báo là chính xác và đáng tin cậy.

Hệ số nền			Đô võng		Úng suất		
K_0	J_0	— Mô hình	\overline{w}	$\overline{\sigma}_{\scriptscriptstyle XX}$	$ar{\sigma}_{_{yy}}$	$ar{\sigma}_{\scriptscriptstyle xy}$	
		Thai & Choi [15]	1,2583	0,7160	0,2447	0,2890	
0	0	Bài báo	1,2583	0,7124	0,2418	0,2802	
		Sai lệch (%)	0,00	0,51	1,20	3,14	
		Thai & Choi [15]	1,2260	0,6969	0,2375	0,2840	
100	0	Bài Báo	1,2259	0,6933	0,2346	0,2752	
		Sai lệch (%)	0,01	0,52	1,24	3,20	
		Thai & Choi [15]	1,1662	0,6618	0,2245	0,2744	
0	100	Bài Báo	1,1972	0,6900	0,2337	0,2735	
		Sai lệch (%)	2,59	4,09	3,94	0,33	
100		Thai & Choi [15]	1,1382	0,6452	0,2183	0,2700	
	100	Bài Báo	1,1680	0,6721	0,2270	0,2688	
		Sai lệch (%)	2,55	4,00	3,83	0,45	

Bảng 1. Độ võng và ứng suất không thứ nguyên của tấm đẳng hướng đặt trên nền đàn hồi dưới tác dụng của tải trọng phân bố đều.

3.2. Các ví dụ khảo sát

Trong mục này, ảnh hưởng của chỉ số tỷ lệ thể tích p, hệ số mật độ lỗ rỗng e0 và tỷ số chiều dày a/h đến độ võng và các thành phần ứng suất được khảo sát và thảo luận. Tấm được khảo sát được làm từ vật liệu gốm và kim loại có tính chất cơ học như sau: $E_c = 380$ GPa, $E_m = 210$ GPa, v = 0,3.

3.2.1. Ảnh hưởng của chỉ số tỷ lệ thể tích p

Môt tham số quan trong của vật liệu P-FGM chính là chỉ số tỷ lệ thể tích p, khi chỉ số tỷ lệ thể tích p thay đổi tức là phân bố vật liệu trong tấm thay đổi. Nói cách khác, khi c**h** số tỷ lệ thể tích thay đổi thì tỷ lệ vật liệu thành phần sẽ thay đổi và do đó sẽ ảnh hưởng đến ứng xử của tấm. Vì vậy, trong phần này, ảnh hưởn g của chỉ số tỷ lệ thể tích đến độ võng và ứng suất của tấm FGMSW sẽ được khảo sát. Xét tấm vuông có cạnh a, tấm có cấu hình là [1-2-1], hệ số lỗ rỗng $e_0 = 0.5$, tấm chịu tải trọng phân bố đều với $q_0 = 10^4$ (Pa), tấm đặt trên nền đàn hồi có $K_0 = 100$, $J_0 = 100$. Kết quả tính độ võng tại các điểm trên đường thẳng x = a/2 với các chỉ số tỷ lệ thể tích khác nhau được trình bày trên Hình 4.



Hình 4. Ảnh hưởng của chỉ số tỷ lệ thể tích đến độ võng \overline{w} của tấm FGMSW

Bên cạnh đó, ảnh hưởng của chỉ số tỷ lệ thể tích đến ứng suất $\overline{\sigma}_{xx}$ và $\overline{\sigma}_{yy}$ tại điểm giữa tấm (*a*/2, *b*/2) cũng được tính toán và trình bày trong Hình 5.



Hình 5. Ảnh hưởng của chỉ số tỷ lệ thể tích p đến các thành phần ứng suất

Từ kết quả trên Hình 4 có thể thấy rằng khi chỉ số tỷ lệ thể tích tăng lên thì độ võng của tấm cũng tăng lên. Cụ thể với các số liệu khảo sát thì độ võng của tấm nhỏ nhất khi p = 0 và lớn nhất khi p = 10. Kết quả này là do khi p = 0 thì hai bể bề mặt của tấm hoàn toàn được làm bằng gốm nên tấm có độ cứng lớn nhất do đó độ võng của tấm nhỏ nhất, khi p tăng dần lên thì tỷ lệ gốm giảm đồng thời tỷ lệ kim loại tăng lên dẫn đến độ cứng của tấm giảm, kết quả là độ võng của tấm tăng. Hình 5 cho thấy ứng suất pháp phân bố theo phương chiều dày tấm là phi tuyến và đối xứng qua mặt trung bình. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với qui luật phân bố mô đun đàn hồi của tấm.

3.2.2. Ảnh hưởng của hệ số lỗ rỗng e_0

Ånh hưởng da hệ số lỗ rỗng đến độ võng bơn nhất của tấm FGMSW được trình bày trên Hình 6. Từ kết quả trên Hình 6 cho thấy khi lỗ rỗng nhiều hơn độ cứng của lớp lõi sẽ giảm xuống và do đó độ cứng tổng thể của cả tấm cũng giảm, kết quả là độ võng của tấm tăng lên. Cụ thể, với các số liệu khảo sát trong ví dụ này, khi $e_0=0,7$ độ võng của tấm tăng lên xấp xỉ ba lần so với khi không có lỗ rỗng.



Hình 6. Ảnh hưởng của hệ số lỗ rỗng đến độ võng tấm FGMSW

3.2.3. Ảnh hưởng của tỷ lệ a/h

Ånh hưởng của tỷ lệ a/h đến độ võng của tấm được trình bày trong Bảng 2 và Hình 7a. Từ bảng kết quả và đồ thị nhận thấy rằng độ võng không thứ nguyên \overline{w} của tấm giảm nhanh khi tỷ số a/h tăng lên trong khoảng từ 10 đến 30, sau đó giảm dần trong khoảng từ 30 đến 60 và gần như không đổi khi a/h > 60.

		voi cuc chi s	so iy iệ a/n inay a	01			
y/b —	Tỷ lệ <i>a/h</i>						
	<i>a/h</i> =10	<i>a/h</i> =20	<i>a/h</i> =30	<i>a/h</i> =50	a/h =100		
0	0	0	0	0	0		
0,1	0,2104	0,1979	0,1956	0,1944	0,1939		
0,2	0,3882	0,3681	0,3643	0,3623	0,3615		
0,3	0,5210	0,4962	0,4915	0,4891	0,4881		
0,4	0,6020	0,5749	0,5697	0,5671	0,5660		
0,5	0,6294	0,6014	0,5962	0,5934	0,5923		
0,6	0,6020	0,5749	0,5697	0,5671	0,5660		
0,7	0,5210	0,4962	0,4915	0,4891	0,4881		
0,8	0,3882	0,3681	0,3643	0,3623	0,3615		
0,9	0,2104	0,1979	0,1956	0,1944	0,1939		
1	0	0	0	0	0		

Bảng 2. Độ võng không thứ nguyên của tấm vuông FGM tại mặt cắt x = a/2với các chỉ số tỷ lệ a/h thay đổi

Hình 7b biểu diễn biến thiên ứng suất không thứ nguyên $\overline{\sigma}_{xx}$ theo tỷ số a/h của tấm. Từ đồ thị có thể thấy rằng giá trị của thành phần ứng suất không thứ nguyên $\overline{\sigma}_{xx}$ tăng lên theo tỷ số a/h. Kết quả này phù hợp với các qui luật của cơ học nói chung, khi tỷ số a/h lớn, tấm mỏng hơn và khả năng chịu lực của tấm cũng nhỏ hơn thể hiện ở kết quả ứng suất lớn hơn xuất hiện trong tấm.





b) Ứng suất $\sigma_{xx}(c \acute{o}$ thứ nguyên)

Hình 7. Biến thiên của độ võng và ứng suất theo tỉ lệ a/h

3.2.4. Ảnh hưởng của độ cứng nền

Ånh hưởng của độ cứng nền đến độ võng và ứng suất của tấm FGMSW được xem xét thông qua hai hệ số nền K_0 và J_0 , kết quả được trình bày trên Hình 8.



a) Độ võng không thứ nguyên $ar{w}$ b) Ứng suất không thứ nguyên $ar{\sigma}_{xx}$

Hình 8. Ảnh hưởng của độ cứng nền đến độ võng và ứng suất của tấm FGMSW

Từ kết quả trên đồ thị Hình 8a, b cho thấy độ cứng nền có ảnh hưởng đáng kể đến độ võng và ứng suất của tấm. Cụ thể, khi các hệ số nền K_0 và J_0 tăng lên thì độ võng và ứng suất trong tấm đều giảm. Ảnh hưởng của sự gia tăng hệ số nền K₀ là đáng kể hơn so với J₀.

4. Kết luận

Bài báo đã đưa ra lời giải giải tích dựa trên lý thuyết tấm bậc nhất (FSDT) để phân tích độ võng và ứng suất của tấm sandwich đặt trên nền đàn hồi, có điều kiện biên là tựa khớp trên bốn cạnh. Độ tin cậy của mô hình lý thuyết thiết lập đã được khẳng định thông qua ví dụ kiểm chứng. Một vài ví dụ khảo sát số đã được đưa ra để đánh giá sự ảnh hưởng của các tham số vật liệu (chỉ số tỉ lệ thể tích p, hệ số lỗ rỗng e_0), kích thước hình học tấm (tỉ số a/h), độ cứng nền (hệ số K₀, J₀) đến độ võng và ứng suất trong kết cấu tấm sàn sandwich. Kết quả đưa ra trong bài báo hi vọng sẽ là nguồn tham khảo hữu ích cho các nghiên cứu sau này có liên quan đến phân tích ứng xử cơ học tĩnh của kết cấu tấm sandwich đặt trên nền đàn hồi.

Tài liệu tham khảo

- Yang, J., S. Kitipornchai, and K.M. Liew. (2008). Nonlinear local bending of FGM sandwich plates. Journal of Mechanics of Materials and Structures, 3(10), p. 1977-1992.
- [2]. Kurpa, L. and T. Shmatko. (2021). Buckling and free vibration analysis of functionally graded sandwich plates and shallow shells by the Ritz method and the *R*-functions theory. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 235(20), p. 4582-4593.
- [3]. Bessaim, A., et al. (2013). A new higher-order shear and normal deformation theory for the static and free vibration analysis of sandwich plates with functionally graded isotropic face sheets. Journal of Sandwich Structures & Materials, **15**(6), p. 671-703.
- [4]. Mahi, A. and A. Tounsi. (2015). A new hyperbolic shear deformation theory for bending and free vibration analysis of isotropic, functionally graded, sandwich and laminated composite plates. Applied mathematical modelling, **39**(9), p. 2489-2508.
- [5]. Akavci, S. (2016). *Mechanical behavior of functionally graded sandwich plates on elastic foundation*. Composites Part B: Engineering, **96**, p. 136-152.

1039

- [6]. Singh, S.J., C. Nataraj, and S.P. Harsha. (2021). *Nonlinear dynamic analysis of a sandwich plate with S-FGM face sheets and homogeneous core subjected to harmonic excitation.* Journal of Sandwich Structures & Materials, **23**(6), p. 1831-1869.
- [7]. Tấn, N.T. (2013). Phân tích dao động tự do và ổn định đàn hồi tấm sandwich chức năng FGM sử dụng lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Trường ĐHBK, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh.
- [8]. Khôi, N.H. (2020). Phân tích ĩnh tấm sandwich FGM trên nền đàn hồi sử dụng phương pháp không lưới và lý thuyết biến dạng cắt bậc cao thu gọn. Luận văn thạc sĩ, Trường đại học kiến trúc TP Hồ Chí Minh.
- [9]. Lợi, C.H. (2021). Phân tích ổn định tấm sandwich FGM có lỗ rỗng trên nền đàn hồi bằng phương pháp không lưới MKI. Luận văn thạc sĩ, Trường đại học Kiến trúc TP Hồ Chí Minh.
- [10]. Tú, N.A. (2021). Phân tích dao động tự do của tấm sandwich có lỗ rỗng đặt trên nền đàn hồi sử dụng phương pháp không lưới MKI. Luận văn thạc sĩ, Trường đại học Kiến trúc TP Hồ Chí Minh.
- [11]. Reddy, J. (2000). *Analysis of functionally graded plates*. International Journal for numerical methods in engineering, **47**(1-3), p. 663-684.
- [12]. Reissner, E. (1945). The effect of transverse shear deformation on the bending of elastic plates.
- [13]. Mindlin, R. (1951). Influence of rotatory inertia and shear on flexural motions of *isotropic*, elastic plates.
- [14]. Thai, H.-T. and D.-H. Choi. (2013). A simple first-order shear deformation theory for the bending and free vibration analysis of functionally graded plates. Composite Structures, 101, p. 332-340.
- [15]. Thai, H.-T. and D.-H. Choi. (2011). A refined plate theory for functionally graded plates resting on elastic foundation. Composites Science and Technology, 71(16), p. 1850-1858.

Static analysis of FG sandwich plate resting on Pasternak elastic foundation

Abstract:

In this paper, Reissner-Mindlin's first-order shear deformation theory (FSDT) is used to establish analytical solutions for static analysis of simply-supported rectangular sandwich plate structures resting on a Pasternak elastic foundation. The plate consists of three layers: two surface layers are materials with functionally graded materials that vary along the thickness direction according to the exponential law (P-FGM), the core layer is made of porous material. The system of equilibrium equations of the sandwich plate subjected to a uniformly distributed load perpendicular to the mean surface is solved according to the Navier solution. The results of the study are compared with the available published literature. The effects of material parameters, geometric dimensions and foundation coefficients on deflections and stress components of rectangular sandwich plate are investigated in detail in parametric examples.

Keywords:Functionally graded materials (FGM); Sandwich plate; First-order shear deformation theory (FSDT); Static analysis; Elastic foundation.

Nhận dạng vị trí hư hỏng trong kế cấu dạng dầm thông qua sự thay đổi tần số dao động riêng và dạng dao động riêng

Tạ Đức Tuân, Lê Anh Tuấn

Học viện Kỹ thuật quân sự Email: ductuan.mta@gmail.com; Tel: 0944588388

Tóm tắt

Hiện nay các phương pháp nhận dạng hư hỏng trong kết cấu công trình dựa trên việc phân tích đữ liệu rung động đang được phát triển mạnh mẽ. Tần số dao động riêng và dạng dao động riêng là các tham số dao động tổng thể của kết cấu. Sự thay đổi của chúng có thể cho thấy sự hiện diện của hư hỏng trong kết cấu. Bài báo trình bày một phương pháp xác định vị trí hư hỏng bằng cách sử dụng sự thay đổi tần số dao động riêng và dạng dao động. Hiệu quả của quy trình đề xuất được xác nhận thông qua mô phỏng số và phân tích thực nghiệm trong phòng thí nghiệm. **Từ khóa**: hư hỏng, tần số dao động riêng, dạng dao động riêng, dầm.

1. Giới thiệu chung

Phát hiện hư hỏng là một trong thành phần thiết yếu nhất trong quá trình đánh giá trạng thái kỹ thuật của một công trình. Hư hỏng được hiểu là sự thay đổi về đặc tính hình học hoặc vật liệu có thể ảnh hưởng xấu đến hiệu suất, độ an toàn và tuổi thọ của công trình [1]. Sự cố công trình có thể gây nên những thiệt hại đáng kể nếu không được phát hiện và sửa chữa kịp thời. Vì vậy, việc phát hiện hư hỏng là rất cần thiết, đặc biệt các hư hỏng được phát hiện sớm, để tránh sự cố đột ngột và nâng cao độ an toàn cũng như tuổi thọ của kết cấu.

Các phương pháp phát hiện hư hỏng thông qua phân tích sự thay đối các đặc tính động học như tần số dao động, dạng dao động và hệ số cản được thực hiện trong nhiều nghiên cứu [2, 3]. So với tần số dao động và dạng dao động, hệ số cản ít được sử dụng để phát hiện hư hỏng vì nó nhạy cảm với các yếu tố môi trường như độ ẩm và nhiệt độ.

Tần số dao động có thể được đo đạc dễ dàng và chính xác hơn dạng dao động và hệ số cản. Vì vậy, các phương pháp nhận dạng hư hỏng dựa trên sự thay đổi tần số đã được áp dụng trong nhiều nghiên cứu [4 - 10]. Lee và Chung [4] đã xác định được hư hỏng trong dầm, trong đó vị trí vết nứt được ước lượng bằng phương pháp sắp xếp thứ hạng của Armon thông qua sử dụng bốn tần số đầu tiên. Patil và Maiti [5] phát triển một kỹ thuật phát hiện hư hỏng dựa trên tần số dao động đo được, với vết nứt được xem như một lò xo cuộn. Gillich và Praisach [6] đề xuất một phương pháp nhận dạng bằng cách so sánh sự thay đổi tần số đo được với các giá trị giải tích và sau đó vị trí hư hỏng được xác định thông qua bài toán nhận dạng mô hình. Vị trí hư hỏng được xác định dựa trên việc xác định điểm giao nhau của các đường cong hệ số hư hỏng [7 - 8]. Shaetal [9] phát triển một phương pháp pháp nhận dạng.

Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào sự thay đổi dạng dao dao động hoặc đạo hàm bậc hai của dạng dao động [11 - 15]. Những thay đổi này được chứng minh là nhạy cảm với hư hỏng nên chúng có thể cung cấp trực tiếp thông tin vị trí hư hỏng. Các phương pháp này về cơ bản dựa trên sự thay đổi dạng dao động giữa trạng thái bình thường và trạng thái hư hỏng. Tuy nhiên, chúng yêu cầu số lượng phép đo lớn ở nhiều vị trí khác nhau.

Ngoài ra, những tiến bộ về tính toán và công nghệ cảm biến đã cho phép ứng dụng kỹ thuật học máy trong phát hiện hư hỏng. Lee [16] đã xây dựng một tập hợp mẫu để phát hiện hư hỏng trong các dầm dạng ống bằng cách sử dụng những thay đổi trong tần số dao động. Các phương pháp khác như thuật toán Bee [17], các dạng tối ưu hóa [18, 19] đã được áp dụng để phát hiện hư hỏng. Các phương pháp ứng dụng kỹ thuật học máy này nhìn chung có hiệu quả nhưng yêu cầu khối lượng tính toán lớn.

Các kỹ thuật phát hiện hư hỏng nêu trên nhìn chung có khả năng phát hiện các vị trí hư hỏng trong kết cấu. Tuy nhiên, chúng vẫn có những hạn chế nhất định như yêu cầu khối lượng tính toán lớn hoặc khó khăn trong việc mô hình hóa hư hỏng. Để khắc phục hạn chế này, bài báo đề xuất một phương pháp để phát hiện hư hỏng bằng cách sử dụng sự thay đổi tần số dao động.

Trình tự của bài báo được bố cục như sau. Đầu tiên, tổng quát về động lực học công trình và nhận dạng hư hỏng được trình bày trong mục 2. Phân tích hư hỏng và đề xuất quy trình xác định vị trí hư hỏng được giới thiệu trong mục 3. Các thử nghiệm số và thử nghiệm được thảo luận ở mục 4 và mục 5. Kết luận của bài báo được trình bày ở mục 6.

2. Động lực học công trình và nhận dạng hư hỏng

2.1. Tổng quát về động lực học công trình

Xem xét một dầm Euler - Bernoulli bỏ qua ảnh hưởng của lực dọc:

$$EI\frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + \mu \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = 0$$
(1)

trong đó y(x,t) là chuyển vị của dầm tại vị trí x vào thời điểm t. μ , EI tương ứng là khối lượng trên một đơn vị chiều dài và độ cứng của dầm.

Thành phần chuyển vị có thể được biểu diễn thành hai phần: phần thứ nhất phụ thuộc và vị trí x, thành phần thứ hai phụ thuộc vào thời gian t:

$$y(x,t) = \phi(x)\cos(\omega t + \theta)$$
(2)

Thay thế (2) vào (1) và thực hiện một số biến đổi, thu được phương trình sau:

$$\frac{\partial^4 \theta(x)}{\partial x^4} - \frac{\mu \omega^2}{EI} \theta(x) = 0$$
(3)

Nghiệm của phương trình trên được biểu diễn như sau:

 $\theta(x) = \alpha_1 \sin(\alpha x) + \alpha_2 \cos(\alpha x) + \alpha_3 \sinh(\alpha x) + \alpha_4 \cosh(\alpha x)$ (4)

trong đó các hệ số $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ phụ thuộc và điều kiện biên, hệ số

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{\mu\omega^2}{EI}}$$
(5)

Đạo hàm bậc hai dạng dao dao động có dạng như sau:

$$\theta''(x) = \alpha^2 \left[-\alpha_1 \sin(\alpha x) - \alpha_2 \cos(\alpha x) + \alpha_3 \sinh(\alpha x) + \alpha_4 \cosh(\alpha x) \right]$$
(6)

Đối với một dầm công xôn : $\phi(0) = 0, \phi'(0) = 0, \phi''(L) = 0$ và $\phi''(L) = 0$, các hệ số $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ nhận được như sau:

$$\alpha_1 = -\alpha_3, \alpha_2 = -\alpha_4, \alpha_1 = -\alpha_2 \frac{\cos(\alpha L) + \cosh(\alpha L)}{\sin(\alpha L) + \sinh(\alpha L)}$$
(7)

Giá trị α cho mỗi mode được xác định từ nghiệm của phương trình đặc trưng:

$$1 + \cos(\alpha L)\cosh(\alpha L) = 0$$

Từ năm nghiệm đầu tiên của phương trình trên, năm dạng dao động tương ứng và đạo hàm bậc hai của chúng được thể hiện trên Hình 1.

(8)



Hình 1. Năm dạng dao động riêng (trái) và đạo hàm bậc hai của chúng (phải)

2.2. Hư hỏng trong kết cấu dầm

Sự thay đổi tần số dao động trong kết cấu đã được chứng minh phụ thuộc vào sự thay đổi độ cứng và/hoặc khối lượng [6 - 8].



Figure 2. Một dầm công xôn và hư hỏng tại vị trí x_d

Trong trường hợp có sự thay đổi độ cứng do hư hỏng tại vị trí x_d (Hình 2) và bỏ qua ảnh hưởng của sự thay đổi khối lượng, sự thay đổi tần số dao động có thể được biểu diễn như sau [9]:

$$\frac{\Delta f_i}{f_i} = \frac{f_i - \overline{f_i}}{f_i} \approx \zeta_d \phi_i^{*2}(x_d)$$
(9)

trong đó f_i , $\overline{f_i}$ lần lượt là tần số tự nhiên của mode thứ i của trạng thái bình thường và hư hỏng; ϕ_i , $\phi_i^{"}$ là dạng dao động và đạo hàm bậc hai của mode thứ i; ζ_d biểu thị cho hệ số hư hỏng (phụ thuộc vào mức độ thay đổi độ cứng trong kết cấu).

Tần số dao động riêng ở trạng thái hư hỏng phụ thuộc vào hệ số hư hỏng ζ_d và vị trí hư hỏng x_d . Mối quan hệ này có thể được thể hiện như trên Hình 3.

1043



Figure 3. Tần số dao động thay đổi khi thay đổi vị trí hư hỏng và mức độ hư hỏng.

3. Quy trình nhận dạng hư hỏng

Như phân tích ở trên, sự thay đổi tần số dao động là một hàm của dạng dao động. Do đó, vị trí hư hỏng có thể được xác định dựa vào dạng dao động và sự thay đổi tần số tự nhiên. Quy trình nhận dạng hư hỏng được đề xuất như sau:

Bước 1. Xác định các tần số dao động f_i ở trạng thái ban đầu

Bước 2. Xác định các tần số dao động $\overline{f_i}$ ở trạng thái hư hỏng

Bước 3. Tính toán sự thay đổi tần số tương đối đối với các mode:

$$\overline{\Delta f}_i = \frac{\Delta f_i}{f_i} = \frac{f_i - \overline{f_i}}{f_i} \tag{10}$$

Và chuẩn hóa giá trị này về khoảng [0 1]:

$$\xi_f^i = \frac{\overline{\Delta f}_i}{\max\left(\overline{\Delta f}_i\right)} \tag{11}$$

Bước 4. Tính toán bình phương của đạo hàm bậc hai dạng dao động và chuẩn hóa chúng về khoảng [0 1]:

$$\xi_{\phi}^{i}(x) = \frac{\phi_{i}^{"2}(x)}{\max\left(\phi_{i}^{"2}(x)\right)}$$
(12)

Bước 5. Xác định sự sai khác giữa $\xi_{\phi}^{i}(x)$ và ξ_{f}^{i} cho tất cả các vị trí trên dầm.

$$\xi^i(x) = \xi^i_\phi(x) - \xi^i_f \tag{13}$$

Bước 6. Xác định vị trí hư hỏng thông qua kỹ thuật bình phương tối thiểu.

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^{n} \left[\xi^{i}(x) \right]^{2} \tag{14}$$

$$x_{d} = agr\min_{x} \left(\varepsilon\right) = agr\min_{x} \sum_{i=1}^{n} \left[\zeta_{\phi}^{i}\left(x\right) - \zeta_{f}^{i}\right]^{2}$$
(15)

trong đó n là số lượng mode dao động.

Vị trí hư hỏng x_d là vị trí mà ở đó ε đạt giá trị nhỏ nhất.

4. Mô phỏng số

Phần mềm ANSYS được sử dụng cho mô phỏng trong nghiên cứu này. Bốn trường hợp được xem xét với các vị trí hư hỏng khác nhau trên dầm công xôn. Các thông số vật lý của dầm thép: chiều dài 800mm, chiều rộng 40mm, chiều cao 6mm, mô đun đàn hồi 200GPa và khối lượng riêng 7850 kg/m3.



Hình 4. Trường hợp nguyên vẹn và hư hỏng được mô phỏng bằng ANSYS.

Các trường hợp hư hỏng được trình bày trong Bảng 2. Năm tần số đầu tiên của dầm nguyên vẹn và dầm bị hư hỏng đạt được thông qua phân tích kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn (Bảng 1).

Tuudang hom	Vị trí		Hz)			
i rương nộp	(mm)	Mode 1 Mode		Mode 3	Mode 4	Mode 5
Nguyên vẹn	-	7.685	48.149	134.79	264.08	436.47
Hư hỏng 1	200	7.6447	48.145	134.33	263.03	436.12
Hư hỏng2	300	7.6375	47.838	133.83	263.86	431.64
Hư hỏng3	600	7.6820	47.753	131.69	258.98	434.50
Hư hỏng4	700	7.6847	48.112	134.10	260.75	427.79

Bảng 1. Tần số dao động của dầm ở một số trường hợp hư hỏng

Thực hiện nhận dạng hư hỏng như đã đề xuất ở phần trước. Kết quả cho tất cả các trường hợp thu được bằng cách phân tích năm mode dao động đầu tiên được hiển thị trong Hình 5. Các đường đứt nét màu đỏ đánh dấu các vị trí hư hỏng được mô phỏng. Kết quả cho thấy các vị trí được nhận dạng (điểm màu đỏ) gần với vị trí mô phỏng với sai số dưới 3% (Bảng 2).



Figure 5. Identified results for the numerical tests.

Trường họp	1	2	3	4
Vị trí mô phỏng x _d (m)	0.200	0.300	0.600	0.700
Kết quả nhận dạng (%)	0.194	0.299	0.598	0.695
Sai số (%)	3.0	0.3	0.3	0.7

Bảng2. Kết quả nhận dạng thu được với các mô phỏng số.

5. Thực nghiệm

Trong phần này, hai trường hợp được nghiên cứu để đánh giá tính hiệu quả của phương pháp đề xuất ở các vị trí hư hỏng cũng như vật liệu khác nhau.

5.1. Thực nghiệm 1

Thí nghiệm trên một dầm nhôm được lấy từ tài liệu tham khảo [9]. Các thông số vật lý của dầm thử nghiệm: chiều dài 480mm, chiều rộng 15mm, dày 2mm, mô đun đàn hồi 70GPa và mật độ 2700 kg/m3. Hư hỏng được tạo ra bằng vết cắt ở khoảng cách 161 mm từ đầu cố định. Bảng 3 trình bày năm tần số dao động đầu tiên được đo cho trạng thái nguyên vẹn và hư hỏng dầm.

Trường	Vi trí (mm)		Tần số dao động (Hz)				
hợp	vi un (mm)	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	
Nguyên vẹn	-	7.04	44.07	123.44	241.41	423.29	
Hư hỏng	0.161	6.88	43.52	120.32	240.63	418.75	

Bảng 3. Tần số dao động của dầm nhôm khi nguyên vẹn và hư hỏng.

Bằng cách sử dụng các tần số dao động trên và quy trình nhận dạng đề xuất, đồ thị thể hiện vị trí hư hỏng được được nhận dạng (điểm màu đỏ) như trên Hình 7. So với chỉ báo thiệt hại xác suất sử dụng phản ứng tổng hợp dữ liệu Bayesian [9], phương pháp đề xuất đơn giản hơn và có độ chính xác tương tự (sai số nhận dạng nhỏ hơn 5% như trên Bảng 5).

5.2. Thực nghiệm 2

Một thí nghiệm khác được xây dựng để xác nhận khả năng xác định hư hỏng của phương pháp được đề xuất. Kết cấu thí nghiệm là dầm thép. Kích thước của dầm với chiều dài 1005mm, chiều rộng 42mm và dày 10mm. Một hư hỏng được tạo ra bằng một vết cắt ở vị trí 400mm như trong hình 6. Bảng 4 trình bày vị trí hư hỏng và tần số dao động đo được của các dầm nguyên vẹn và hư hỏng.



Hình 6.Quá trình tạo hư hỏng trên dầm.

Trueàng hơn	Vi trí (m)	Tần số dao động (Hz)				
Trường nộp	vi ui (iii)	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 3 Mode 4	Mode 5
Nguyên vẹn	-	7.685	48.077	134.532	263.404	434.959
Hư hỏng	0.400	7.673	47.969	134.353	263.230	433.780

Table 4. Tần số dao động của dầm thép khi nguyên vẹn và hư hỏng.

Vị trí hư hỏng được nhận dạng như trên Hình 7. Kết quả nhận dạng (điểm màu đỏ) rất gần với vị trí hư hỏng thực (đường đứt nét màu đỏ) với sai số xấp xỉ 1,5% (Bảng 5).



Hình 7. Kết quả nhận dạng hư hỏng: thử nghiệm 1 (trái) và thử nghiệm 2 (phải).

Trường họp	Thử nghiệm 1	Thử nghiệm 2
Vị trí hư hỏng x _d (m)	0.161	0.400
Kết quả nhận dạng (m)	0.155	0.406
Sai số (%)	4.9	1.5

Bảng5. Kết quả nhận dạng thu được với các thực nghiệm.

6. Kết luận

Bài báo trình bày một quy trình nhận dạng vị trí hư hỏng trong các kết cấu dạng dầm. Dựa trên mối tương quan giữa vị trí hư hỏng trong kết cấu so với sự thay đổi tần số dao động và đạo hàm bậc hai của dạng dao động, nghiên cứu đề xuất một quy trình phát hiện nhanh vị trí hư hỏng trong các kết cấu dạng dầm bằng cách phân tích sự thay đổi tần số dao động giữa các trạng thái ban đầu và sau khi xuất hiện hư hỏng trên kết kết. Các mô phỏng số và thực nghiệm đã được sử dụng để xác nhận hiệu quả phương pháp đề xuất.

Tài liệu tham khảo

- [1]. H. P. Chen, Y. Q. Ni (2018). Structural Health Monitoring of Large Civil Engineering Structures, *John Wiley & Sons Ltd*, UK.
- [2]. S. W. Doebling, C. R. Farrar, M. B. Prime, D. W. Shevitz (1996). Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: a literature review, *Technical Report*.
- [3]. O. Avci, O. Abdeljaber, S. Kiranyaz, M. Hussein, M. Gabbouj, D. J. Inman (2021). A review of vibration based damage detection in civil structures: From traditional

methods to machine learning and deep learning applications, Mechanical Systems and Signal Processing 147.

- [4]. Y. S. Lee, M. J. Chung (2000). A study on crack detection using eigenfrequency test data, *Computers & Structures* 77, p327 342.
- [5]. D. Patil, S. Maiti (2005). Experimental verification of a method of detection of multiple cracks in beams based on frequency measurements, *Journal of Sound and Vibration 281*.
- [6]. G. R. Gillich, Z. I. Praisach (2014). Modal identification and damage detection in beam - like structures using the power spectrum and time - frequency analysis, *Signal Processing* 96, p29 - 44.
- [7]. M. Dahak, N. Touat, M. Kharoubi (2018). Damage detection in beam through change in measured frequency and undamaged curvature mode shape, *Inverse Problems in Science and Engineering* 27, p1 - 26.
- [8]. Ta, D. T., Le, T. P., & Burman, M. (2023). An enhanced single damage identification in beams using natural frequency shifts and analytic modal curvatures. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (JSTCE) - HUCE*, 17(1), p1 - 15.
- [9]. G. Sha, M. Radzie'nski, M. Cao, W. Ostachowicz (2019). A novel method for single and multiple damage detection in beams using relative natural frequency changes, *Mechanical Systems and Signal Processing* 132, p335 352.
- [10]. C. Surace, A. Bovsunovskii (2019). The use of frequency ratios to diagnose structural damage in varying environmental conditions, *Mechanical Systems and Signal Processing 136*.
- [11]. E. Carden, P. Fanning (2004). Vibration based conditioning monitoring: a review, *Structural Health Monitoring* 3, p355 377.
- [12]. A. Pandey, M. Biswas, M. Samman (1991). Damage detection from changes in curvature mode shapes, *Journal of Sound and Vibration145*, p321 332.
- [13]. M. M. A.Wahab, G. D. Roeck (1999). Damage detection in bridges using modal curvatures: Application to a real damage scenario, *Journal of Sound and Vibration 226*, p217 - 235.
- [14]. R. Gorgin (2020). Damage identification technique based on mode shape analysis of beam structures, *Structures* 27, p2300 2308.
- [15]. D. Capecchi, J. Ciambella, A. Pau, F. Vestroni (2016). Damage identification in a parabolic arch by means of natural frequencies, modal shapes and curvatures, *Meccanica 51*, p467 476.
- [16]. J. W. Lee (2016). Crack identification method for tapered cantilever pipe type beam using natural frequencies, *International Journal of Steel Structures 16*, p467 476.
- [17]. M. T. Vakil Baghmisheh, M. Peimani, M. H. Sadeghi, M. M. Ettefagh (2008). Crack detection in beam - like structures using genetic algorithms, *Applied Soft Computing* 8, p1150 - 1160.
- [18]. S. A. Moezi, E. Zakeri, A. Zare (2018).Structural single and multiple crack detection in cantilever beams using a hybrid cuckoo - nelder - mead optimization method, *Mechanical Systems and Signal Processing 99*, p805 - 831.

[19]. S. Khatir, K. Dekemele, M. Loccufier, T. Khatir, M. Abdel Wahab (2018). Crack identification method in beam - like structures using changes in experimentally measured frequencies and particle swarm optimization, *Comptes Rendus Mecanique* 346, p110 - 120.

Identifying damage locations in beam structures using changes in natural frequencies and mode shapes

Nghiên cứu ảnh hưởng của khối lượng thuốc nổ và khoảng cách nổ đến biến dạng của mố trụ cầu vượt ở Việt Nam bằng phần mềm ANSYS Nguyễn Quốc Tuấn, Nguyễn Chí Thọ, Lê Hồng Hải

Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt

Trong những năm gần đây, tại các đô thị lớn như Hà Nội, TP Hồ Chí Minh... hàng loạt các cây cầu vượt cạn đã được đầu tư, xây dựng. Thiết kế các công trình chịu tải trọng nổ thường được xem xét cho các tòa nhà thuộc các cơ quan Đảng, Quốc hội và Chính phủ, các công trình quân sự và một số công trình đặc biệt khác. Tuy nhiên, một xe bom hoặc khối thuốc nổ được đặt một cách có mục đích trên một cây cầu vượt quan trọng hoặc gần các mố trụ cầu vượt có thể dẫn đến phá hoại các bộ phận kết cấu của cây cầu, gây ra hậu quả thiệt hại nghiêm trọng về tính mạng của nhân dân, thiệt hại nghiêm trọng về kết cấu của cầu vượt và gây ảnh hưởng đến nền kinh tế cũng như tâm lý người dân. Bài báo nhằm phân tích ảnh hưởng của khối lượng thuốc nổ và khoảng cách nổ lên mố trụ cầu vượt tại Việt Nam.

Từ khóa: Cầu vượt; trụ cầu vượt; khối lượng thuốc nổ; khoảng cách nổ; mố trụ.

1. Đặt vấn đề

Thiết kế các kết cấu chống tác dụng của các vụ nổ được phát triển tập trung vào các tòa nhà thuộc các cơ quan Đảng, Quốc hội và Chính phủ, các công trình quân sự và một số công trình đặc biệt khác. Có ít các thiết kế đặc biệt chống tác dụng của vụ nổ dành cho các cây cầu đặc biệt là những cây cầu vượt tại các giao lộ và các nhà thiết kế không cần phải xem xét tính bảo đảm an toàn đối với các vụ nổ trong quá trình thiết kế các cây cầu vượt.

Tuy nhiên, sự gia tăng gần đây về tần suất và cường độ của các cuộc tấn công khủng bố đối với các cây cầu vượt đã làm nổi bật sự cần thiết của phải đảm bảo an toàn cho các cây cầu vượt ngay từ khâu thiết kế. Hiện nay, có rất nhiều vụ tấn công khủng bố trên toàn thế giới nhằm vào các mục tiêu giao thông đặc biệt là các cây cầu vượt. Vì những cây cầu vượt thường là điểm nghẽn trong mạng lưới giao thông, việc phá hủy một hoặc một số cây cầu vượt quan trọng có thể gây ra gây ra những hậu quả nặng nề cho cả hệ thống giao thông và nền kinh tế.



Hình 1.Mố trụ cầu đường vành đai 3 - Hà Nội Mố trụ cầu là bộ phận quan trọng trong công trình cầu, có chức năng đỡ kết cấu nhịp,

truyền các tải trọng thẳng đứng và ngang xuống đất nền. Mố cầu còn là bộ phận chuyển tiếp và đảm bảo xe chạy êm thuận từ đường vào cầu. Trụ cầu còn có tác dụng phân chia nhịp cầu. Về mặt kinh tế, mố trụ cầu chiếm một tỷ lệ đáng kể, đôi khi đến 50% vốn đầu tư xây dựng công trình. Mố trụ cầu là công trình thuộc kết cấu phần dưới, nằm trong vùng ẩm ướt, dễ bị xâm thực, xói lở, bào mòn, việc xây dựng, thay đổi, sửa chữa rất khó khăn nên khi thiết kế cần chú ý sao cho phù hợp với địa hình, đ ịa chất, các điều kiện kỹ thuật khác và dự đoán trước sự phát triển tải trọng các vụ nổ phá hoại (nếu có). Vì thế, các nhà thiết kế cần nghiên cứu ảnh hưởng của khối lượng thuốc nổ và khoảng cách nổ lên mố trụ cầu vượt tại Việt Nam để giảm nguy cơ các cuộc tấn công khủng bố nhằm vào các cây cầu vượt quan trọng.



Hình 2. Một cây cầu ở Iraq bị hư hại bởi một số lượng tương đối nhỏ chất nổ được đặt trong một cuộc tấn công khủng bố.

Tải trọng nổ cực kỳ ảnh hưởng đến công trình và thậm chí một lượng nhỏ chất nổ cũng có thể gây ra tác hại nguy hiểm cho công trình. Đôi khi, tác hại nghiêm trọng này có thể dẫn đến sự phá vỡ toàn bộ cấu trúc trên cây cầu.

2. Nghiên cứu vụ nổ trên cầu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu về phản ứng kết cấu và vật liệu của cầu dưới tác dụng của tải trọng nổ được thực hiện bằng thực nghiệm hoặc mô phỏng số. Tuy nhiên, các thực nghiệm khó được thực hiện ở quy mô đầy đủ và tốn kém để thực hiện. Ngoài ra, yếu tố quan trọng khác là khó khăn trong việc đo lường các thông số khác nhau tại hiện trường đối với các vụ nổ ở cự ly gần, nơi thiết bị thường bị phá hủy và quá trình hư hỏng khó ghi lại. Do đó, các giải pháp số được coi là một cách tiếp cận dễ dàng hơn để đánh giá phản ứng của cây cầu đối với các vụ nổ và rất quan trọng để hỗ trợ bất kỳ thí nghiệm nổ nào trên cầu.

2.2. Mục tiêu nghiên cứu

1. Nghiên cứu ảnh hưởng của khối lượng thuốc nổ, khoảng cách nổ và mô hình hư hỏng của vụ nổ trên trụ cầu

2. Phân tích trụ cầu với mặt cắt ngang hình trònsử dụng phần mềm ANSYS.

2.3. Mô hình nghiên cứu

Tải trọng tác động phụ thuộc vào hai điểm trung tâm được đặc trưng bởi kích thước bom hoặc trọng lượng điện tích W và khoảng cách tác động (R) giữa nguồn tác động và mục tiêu. Xem xét các cấu trúc tiếp xúc như khối tỷ lệ thuận với khối lượng TNT ở một khoảng cách tác động cụ thể. Do tính chất nhiều mặt của vật liệu tạo thành mố trụ như xi măng, sắt thép ... Sử dụng mô hình Han-Linhai là hợp lý và có cơ sở tin cậy.



Thông số cụ thể:

- Loại kết cấu: Kết cấu cầu;
- Chiều cao cầu: 5 m;
- Tổng nhịp: 19 m;
- Chiều rộng: 12 m;
- Trụ tròn đường kính: 1m;
- Trọng lượng thuốc nổ: 200kg, 500kg, 800kg, 1000kg.
- 2.4. Kết quả

2.4.1. Mô hình ANSYS cho mố trụ tròn



Hình 4. Mô hình hóa trong ANSYS

- Sử dụng phần mềm ANSYS để khảo sát số xác định tổng biến dạng của nhóm trụ cầu dưới tác dụng của vụ nổ với khối lượng thuốc nổ là 200kg, 500kg, 800kg, 1000kg.

2.4.2. Kết quả khảo sát

TỔNG BIẾ	TỔNG BIẾN DẠNG DƯỚI TÁC DỤNG KHỐI THUỐC NỔ 200 KG							
Khoảng cách (m) Thời gian (š)	4.572 m	9.144 m	15.24 m	30.48 m				
0.1	0	0	0	0				
0.2	0.01332	0.01047	0.00314	0.00523				
0.3	0.02663	0.02093	0.00628	0.00105				
0.4	0.03995	0.0314	0.00942	0.00157				
0.5	0.05327	0.04186	0.01256	0.00209				
0.6	0.06659	0.05233	0.0157	0.00262				
0.7	0.0799	0.06279	0.01884	0.00314				
0.8	0.09322	0.07326	0.02198	0.00366				
0.9	0.10654	0.08373	0.02512	0.00419				
1	0.11985	0.09419	0.02825	0.00471				

Bảng 1: Tổng biến dang cho khối thuốc nổ 200kg



Hình 5. Đồ thị 1 - Tổng biến dạng cho khối thuốc nổ 200kg

TỔNG BIẾN DẠNG DƯỚI TÁC DỤNG KHỐI THUỐC NỔ 500 KG						
K ho ng cách (m) Thời gian (s)	4.572 m	9.144 m	15.24 m	30.48 m		
0.1	0	0	0	0		
0.2	0.01332	0.01132	0.00419	0.00084		
0.3	0.02663	0.02264	0.00837	0.00167		
0.4	0.03995	0.03396	0.01256	0.00251		
0.5	0.05327	0.04528	0.01674	0.00335		
0.6	0.06659	0.0566	0.02093	0.00419		
0.7	0.0799	0.06792	0.02512	0.00502		
0.8	0.09322	0.07924	0.0293	0.00586		
0.9	0.10654	0.09056	0.03349	0.0067		
1	0.11985	0.10187	0.03767	0.00753		

Bảng 2. Tổng biến dạng cho khối thuốc nổ 500 kg



Hình 6. Đồ thị 2 - Tổng biến dạng cho khối thuốc nổ 500kg

TỔNG BIẾN DẠNG DƯỚI TÁC DỤNG KHỐI THUỐC NỖ 800KG							
Khoảng cách (m) Thời gian (s)	4.572 m	9.144 m	15.24 m	30.48 m			
0.1	0	0	0	0			
0.2	0.02131	0.02094	0.00837	0.00094			
0.3	0.04262	0.04187	0.01675	0.00188			
0.4	0.06392	0.0628	0.02512	0.00283			
0.5	0.08523	0.08374	0.03349	0.00377			
0.6	0.10654	0.10467	0.04186	0.00471			
0.7	0.12784	0.12561	0.05023	0.00566			
0.8	0.14915	0.14654	0.05861	0.00659			
0.9	0.17046	0.16748	0.06698	0.00753			
1	0.19177	0.18841	0.07535	0.00848			

Bảng 3. Tổng biến dạng cho khối thuốc nổ 800kg



Hình 7. Đồ thị 3 - Tổng biến dạng cho khối thuốc nổ 800kg

TỔNG BIẾ	N DẠNG DƯỚI	TÁC DỤNG KH	ÓI THUỐC NỔ 1	1000KG
K họ ng cách (m) Thời gian (s)	4.572 m	9.144 m	15.24 m	30.48 m
0.1	0	0	0	0
0.2	0.02131	0.01811	0.00942	0.00157
0.3	0.04262	0.03622	0.01884	0.00314
0.4	0.06392	0.05433	0.02826	0.00471
0.5	0.08523	0.07245	0.03768	0.00628
0.6	0.10654	0.09056	0.0471	0.00785
0.7	0.12784	0.10866	0.05651	0.00942
0.8	0.14915	0.12678	0.06593	0.01099
0.9	0.17046	0.14489	0.07535	0.01256
1	0.19177	0.16301	0.08477	0.01413

Bảng 4. Tổng biến dạng cho khối thuốc nổ 1000kg



Hình 8. Biểu đồ 4 - Tổng biến dạng cho khối thuốc nổ 1000kg

3. Kết luận

Qua kết quả khảo sát số thấy rằng trong trụ tròn, biến dạng tối đa thu được ở khoảng cách nổ là 4,572m và biến dạng tối thiểu ở khoảng cách nổ là 30,48m. Cũng quan sát thấy rằng đối với tất cả trọng lượng của vụ nổ, có một số giảm biến dạng, biến dạng bình thường, biến dạng tương đương, năng lượng biến dạng và ứng suất bình thường. Quakết quả khảo sát trên, trụ cầu chống lại tác động của chất nổ cần được tính toán thiết kế theo cả quan điểm kiến trúc, cấu trúc và các kỹ thuật phân tích cần được thực hiện. Vì vậy, cần thiết kế các cây cầu quan trọng chịu tải trọng vụ nổ.

Tuy nhiên, đối với khoảng cách là 4,572m và 30,48m, các giá trị biến dạng gần như giống nhau ở trụ cầu tròn dưới tác dụng của lượng nổ 800kg. Mố trụ hình tròn có tổng biến dạng tối đa ở khoảng cách4,572m và có tổng biến dạng tối thiểu ở khoảng cách 30,48m. Mặt khácmố trụ biến dạng nhiều hơn khi khoảng cách tác động của vụ nổ gần cầu.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Trí Tá, Vũ Đình Lợi, Đặng Văn Đích (2008), Giáo tình công sự tập I, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [2]. Đặng Văn Đích, Vũ Đình Lợi (2000), Giáo trình công sự tập II, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [3]. Nguyễn Trí Tá (2010), Giáo trình công sự dã chiến, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [4]. Bộ Tư lệnh Công binh/BQP Sổ tay sĩ quan Công binh, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân - Hà Nội, 2006.
- [5]. Sổ tay thiết kế công trình quốc phòng/BTL Công binh/1969/NXB QĐND
- [6]. Nguyễn Quang Trung, Võ Thanh Tùng, Lê Hồng Đức (1998), Giáo trình Công tác nổ tập 1,2, Học viện kỹ thuật quân sự, Hà Nội
- [7]. Phan Quốc Bảo (2015), Thiết kế Mố trụ cầu, NXB Giao thông vận tải.
- [8]. Nguyễn Viết Trung, Nguyễn Thị Tuyết Trinh, Nguyễn Đức Thị Thu Định, Trần Anh Đạt (2010), Giáo trình thiết kế các phương án Cầu, NXB Xây dựng.
- [9]. "Explosion Resistant Buildings" by T. Bangash, M.Y.Bangash
- [10]. AASHTO (2002).Standard Specifications for Highway Bridges, AmericanAssociation of State Highway and Transportation Officials, Washingtong, D.C.
- [11]. AASHTO. (2003)"Guide ManuaL for Condition Evaluation and Load and Resistance Factor Rating (LRFR) of Highway Bridges."AASHTO, 448
- [12]. Shuichi Fujikura and Michel Bruneau (2011) "Arch Experimental Investigation of Seismically Resistant Bridge Piers under Blast Loading", Journal of Bridge Engineering, Vol.16(6) 63-71.
- [13]. ZeynepKoccaz, FatihSutcu, NecdetTorunbalci(October 12-17, 2008). Architectural And Structural Design for Blast Resistant Buildings, The 14th World Conference on Earthquake
- [14]. Z. Yi, A. K. Agrawal, M. Ettouney, and S. Alampalli (2014)"Blast Load Effects on Highway Journal ofBridge Engineering, Vol.19(4).
- [15]. Eric B. Williamson, OguzhanBayrak, Carrie Davis and G. Daniel Williams (2011)"Performance of Bridge Columns Subjected to Blast Loads. I: Experimental Program" Journal of Bridge Engineering, Vol.16.

- [16]. Eric B. Williamson, OguzhanBayrak, Carrie Davisand G. Daniel Williams (2011) "Performance of Bridge Columns Subjected to Blast Loads. II: Results and Recommendations" Journal of Bridge Engineering, Vol.16(6).
- [17]. Kiger, Sam A., Hani A. Salim, and Ahmed Ibrahim(2011) "Bridge Vulnerability Assessment and Mitigation against Explosions", LSU, IOT
- [18]. ManmohanDassGoel and Vasant A. Matsagar(2014)"Blast-Resistant Design of Structures", COEP, 2014
- [19]. S.K. Hashemi, M.A. Bradford ↑, H.R. Valipour(2016) 'Dynamic response of cable-stayed bridge under blast load 'Engineering Structures 127(2016),719-735
- [20]. S.K. Hashemi, M.A. Bradford ↑, H.R. Valipour(2017), 'Dynamic response and performance of cable-stayed bridges under blast load: Effects of pylon geometry' Engineering Structures 137(2017),50-66
- [21]. Yuxin Pan, Carlos E. Ventura a, Moe M.S. Cheung (2017), 'Performance of highway bridges subjected to blast loads'Engineering Structures 151(2017),788-801
- [22]. Mohamed H. Mussa, Azrul A. Mutalib, Roszilah Hamid, Sudharshan R. Naidu(2017), "Assessment of damage to an underground box tunnel by a surface explosion "Science Direct 66(2017) 64-76
- [23]. S. Chung Kim Yuena, A. Butlera, H. Bornsteinb, A. Choletc(2018), 'The influence of orientation of blast loading on quadrangular plates', Thin-walled structures 131(2018) 827-837

Analyze the effects of blast loads on overpass abutments in Viet nam Studying the effect of explosive volume and explosion distance on the deformation of overpass abutments in Viet Nam using ansys software

Abstract:

In recent years, in large cities such as Hanoi, Ho Chi Minh City... a series of overpasses have been invested and built. Designing structures to withstand explosive loads is often considered for buildings belonging to Party, National Assembly and Government agencies, military projects and some other special projects. However, a car bomb or explosives placed purposefully on an important overpass or near overpass abutments can lead to damage to the bridge's structural components, causing serious consequences. Serious loss of people's lives, serious damage to the structure of the overpass and affecting the economy as well as people's psychology. This article aims to analyze the effects of explosive volume and explosion distance on overpass abutments in Vietnam.

Keywords: Overpass; overpass piers; explosive volume; blast distance; abutment.

Một số giải pháp đảm bảo ổn định trong quá trình thi công công sự dìm sâu tại đảo X xa bờ ở Việt Nam Vương Hữu Ước^{1*}, Nguyễn Chí Thọ¹, Nguyễn Đức Thắng²

¹ Học viện Kỹ thuật quân sự ² Viện Kỹ thuật công binh, Binh chủng Công binh * Vương Hữu Ước: Email - vuonghuuuoc@gmail.com

Tóm tắt:

Để giải quyết vấn đề cấp bách về thi công các công sự dìm sâu trong môi trường san hô tại đảo X xa bờ. Thi công các công sự dìm sâu trong điều kiện nền san hô không đặc chắc, ngập nước tại đảo X xa bờ đối mặt nguy cơ mất ổn định dẫn đến nhiều hậu quả nghiêm trọng như sụt lún lớn, đẩy nổi công trình. Bài báo phân tích về ổn định trong quá trình thi công công sự dìm sâu trong điều kiện tại đảo X xa bờ. Tác giả đề xuất một số giải pháp nhằm đảm bảo ổn định quá trình thi công cho các công sự dìm sâu tại đảo X xa bờ ở Việt Nam.

Từ khóa: ổn định trong thi công; công sự dìm sâu; đảo xa bờ; ngập nước, không đặc chắc.



z .

Hình 1. Mô phỏng công trình đang nghiên cứu

1. Đặt vấn đề

Trên khu vực Quần đảo Y, hiện tại mới chỉ có các công sự kiểu đào thi công trên các đảo san hô. Thiết kế và công nghệ thi công không khác nhiều so với các công trình thi công trong đất liền. Các công sự dìm sâu trong môi trường san hô, có khả năng chịu tác dụng của bom đạn cỡ lớn chưa được thiết kế và xây dựng tại các đảo xa bờ thuộc khu vực Quần đảo Y. Chúng ta mới xây dựng một số công trình ngầm cho nhu cầu an ninh quốc phòng trên các đảo gần bờ điều kiện địa chất không giống như khu vực Quần đảo Y nên trên thực tế chúng ta chưa có nhiều kinh nghiệm gì về công nghệ thi công công sự dìm sâu trong điều kiện nền san hô không đặc chắc, ngập nước. Thiết bị thi công hiện có trong quân đội cũng như ngoài quân đội chưa hoàn toàn phù hợp với yêu cầu thi công công sự dìm sâu trên các đảo xa bờ ở Quần đảo Y. Do vậy, đảm bảo ổn định quá trình thi công là quan trọng và mang tính chất quyết định đối với sự thành công của công trình. Nội dung bài báo trình bày đề xuất một số biện pháp đảm bảo ổn định trong quá trình thi công CSDS.

2. Mô tả công trình

Công trình mà bài báo nói đến là công trình hình trụ tròn nằm ngang, các mô đun được liên kết với nhau bằng phương pháp hàn, công trình được thiết kế tại cao độ -10m so với nền hiện trạng. Công trình được thi công trên hệ thống cột chống và giàn giáo đến khi hoàn thiện thì được đưa xuống vị trí hố đào đã được đào sẵn trước đó.

Với địa chất ngoài đảo xa bờ là nền đá san hô không đặc chấc và ngập nước nên hố đào của công trình sẽ ngập nước bằng với mực nước ngầm của đảo. Mực nước ngầm ngoài đảo X chính là mực nước của thủy triều của đảo X. Do vậy trong quá trình hạ đặt công trình xuống vị trí cố định cos -10m chúng ta phải tính toán đến áp lực đẩy nổi của nước lên công trình. Để giữ ổn định toàn bộ công trình để tiếp tục thi công các công việc tiếp theo khi chưa thể lấp hố đào xong được ngay. Và cố định công trình trong suốt quá trình khai thác sử dụng công trình sao cho công trình chuyển vị ở mức thấp nhất với các phương pháp đơn giản sử dụng ít máy móc và ít tốn kém nhất.



Hình 4. Các mặt cắt mà bài báo lựa chọn



Hình 5. mặt bằng hố đào bài báo lựa chọn



Hình 7. Mặt cắt hố đào 1-1





3. Các phương án giải pháp giữ ổn định cho công sự trong quá trình thi công và trong thời gian khai thác sử dụng

1062









Thứ nhất để giữ ổn định trong quá trình thi công (hạ đặt) công sự dìm sâu điều quan tâm đầu tiên là hố đào ngập nước. Công trình sẽ chịu lực đẩy nổi của nước lên chúng ta cần tính toán và đưa ra phương án thi công hợp lý trong quá trình hạ bể để đưa công trình vào vị trí, tránh các va chạm công trình với các thiết bị thi công đảm bảo ổn định nhất có thể.

Thứ hai để đảm bảo ổn định của công trình trong suốt quá trình khai thác sử dụng chúng ta cần lưu ý và tính toán đến áp lực của mực nước ngầm tác động lên công trình. Do áp lực của mực nước ngầm thay đổi liên tục theo thủy triều tác dụng lên công trình, công trình được làm bằng thép thân có hình trụ nên rất dễ gây chuyển vị đặc biệt là chuyển vị phần cửa ra vào.

Một số phương án chọn lựa nhằm ổn định cho công trình trong quá trình thi công và chống chuyển vị khi đưa vào khai thác sử dụng.
1064

 a) Dần tải công trình đến vị trí các khối bê tông đúc sẵn có hình dạng phù hợp đặt dưới công trình và sử dụng cáp để neo giữ công trình



Hình 12. Các mặt cắt công trình sử dụng phương án A

Đây là phương án thi công sử dụng các khối đế bằng bê tông cốt thép và neo để giữ ổn định công trình. Với các khối đế được đúc sẵn ở trên và đưa xuống lắp ghép trước khi thi công xong phần bể.

b) Dằn tải công trình đến vị trí thiết kế neo giữ công trình bằng cọc và neo cáp



Hình 13. Các mặt cắt công trình sử dụng phương án B

Đây là phương án khá phổ biến khi thi công các hạng mục đưới lòng đất như bể nước ngầm. Tuy nhiên với điều kiện địa chất là đá san hô có các tính chất cơ lý hoàn toàn khác như ở trong đất liền. Hơn nữa điều kiện thi công ngoài đảo xa bờ hạn hẹp với phương án này thì cần các máy móc và thiết bị chuyên dụng mới có thể thi công

c) Đổ bê tông phần không gian không sử dụng phần dưới của công trình



Hình 14. Các mặt cắt công trình sử dụng phương án C

Đây là phương án sử dụng khoảng không trong công trình không sử dụng tới có thể sử dụng để đổ bê tông nâng trọng lượng bản thân công trình. Đây là phương án dễ thi công tiết kiệm chi phí, tuy nhiên khoảng không gian trong công trình nên được tối ưu trong việc thiết kế các tiện ích trong sử dụng khai thác để đảm bảo cho bộ đội, nâng cao an toàn của công trình lên mức cao nhất.

4. Nội dung tính toán và một số vấn đề lưu ý để giữ ổn định cho công sự dìm sâu tại đảo X xa bờ trong quá trình thi công và trong quá trình khai thác sử dụng

a) Tính toán tải trọng công trình Trong lực của công trình:

1065

 $P = P_1 + P_2 + P_3;$ $P_1 = 7, 4T$; $P_2 = 46,22T$; $P_3 = 16,74T$; P = 70,36T: $F_{p} = 70,36KN$. b) Tính toán áp lực đẩy nổi của nước (lực đẩy Ác-si-mét) lên công trình Lưc đẩy Ác-si-mét có công thức tính như sau: FA = d.V.trong đó: FA: Lực đẩy Ác-si-mét (N) d: Trọng lượng riêng của chất lỏng (N/m²) V: Thể tích của phần chất lỏng bi vật chiếm chỗ (m³) d nước biển = 1020 N/m³ = 1,02 Kn/m³ $V = V_1 + V_2 + V_3 = 155,29m^3$ Fa = 1,02 * 155, 29 = 158, 4KN

So sánh trọng lực bản thân của công trình đối với lực đẩy nổi thấy rằng lực đẩy nổi lớn hơn nhiều so với trọng lực của công trình cho nên trong quá trình hạ đặt công trình chúng ta phải gia tăng tải trọng (dần tải) cho công trình hoặc sử dụng phương pháp khác như tời điện để dìm công trình xuống vị trí thiết kế. Dần tải là biện pháp đơn giản hiệu quả, một số biện pháp để tăng tải trọng cho công trình như chất tải bằng những bao cát san hô lên công trình hoặc bơm nước vào trong công trình

c) Tính toán trọng tâm nổi (trọng tâm bồng bềnh) của công trình theo phương hạ đặt công trình



Hình 15. Ví dụ trọng tâm nổi công trình

Khi thiết kế và thi công các công sự dìm sâu tại các đảo xa bờ khác nhau, tùy thuộc vào từng địa hình địa vật mà các công trình có các hình dạng khác nhau khi đó trọng tâm nổi không nằm trên mặt phẳng tâm của thân bể. Chúng ta ngoài gia tải cho công trình phải tiến hành neo kéo tránh công trình bị nghiêng ngả cho đến khi xuống vị trí thiết kế để neo giữ cố định.

d) Áp lực mực nước ngầm tác động đến công trình

Do thủy triều lên xuống liên tục tính theo từng ngày cho nên áp lực của mực nước ngầm cũng thay đổi liên tục. Đây là vấn đề cần lưu ý (về dòng chảy, về áp lực) có thể coi như tải trọng động tác động lên công trình. Vấn đề giữ ổn định cho công trình trong quá trình khai thác sử dụng hạn chế tối đa chuyển vị, ta chọn lựa phương án lắp dựng khối đế có bề mặt tiếp xúc là mặt phẳng có diện tích tiếp xúc lớn, đủ trọng lượng cần thiết và chịu nén tốt.

5. Kết quả

Với các giải pháp nhằm giữ ổn định cho công trình và cơ sở tính toán trên ta chọn lựa phương án A: dẳn tải công trình đến vị trí các khối bê tông đúc sẵn có hình dạng phù hợp đặt dưới công trình và sử dụng cáp để neo giữ công trình.

Hạ đặt khối bê tông đúc sẵn khi đào xong hố đào: Ta sử dụng cần cầu và sà lan Ponton có tải trọng được tính toán.



Hình 17. Mô phỏng hạ đặt khối đế BTCT

Với phương pháp hạ đặt khối để bằng sà lan và cần cẩu thì chúng ta sẽ hạn chế được tối đa việc các thiết bị thi công va đập làm sạt lở hố đào.

6. Kết luận và kiến nghị

Kết luận

Để đáp ứng được yêu cầu giữ ổn định công trình trong quá trình thi công và khi đưa vào khai thác sử dụng. Lựa chọn phương án A: dằn tải công trình đến vị trí các khối bê tông đúc sẵn có dình dạng phù hợp đặt dưới công trình và sử dụng cáp để neo giữ công trình. Sử dụng sà lan poton và cần cẩu để hạ đặt khối đế BTCT.

Với phương án này thì trong thi công cần lưu ý là gia tải cho công trình tránh đột ngột, cần có thời gian để bể lấy cân bằng chìm từ từ xuống khối đế.

Quá trình gia tải kết hợp neo giữ ở hai bên thân bể tránh trường hợp bể bị xô lệnh nghiêng vào hệ thống giàn cột chống đỡ.

Kiến nghị

Khi tiến hành lấp hố đào cần gia cố cho cát san hô để tăng kết dính cho lớp đất đá quanh thân bể.

Trong quá trình thiết kế các công sự dìm sâu ở các đảo khác nhau tối ưu việc sử dụng hình dạng của bể có trục đối xứng là mặt phẳng đứng qua tâm của thân bể.

1067

Tài liệu tham khảo

- Nguyễn Trí Tá, Vũ Đình Lợi, Đặng Văn Đích (2008), Giáo trình công sự tập I, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [2]. Đặng Văn Đích, Vũ Đình Lợi (2000), Giáo trình công sự tập II, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [3]. Nguyễn Trí Tá (2010), Giáo trình công sự dã chiến, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [4]. Bộ Tư lệnh Công binh/BQP Sổ tay sĩ quan Công binh, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân - Hà Nội, 2006.
- [5]. Sổ tay thiết kế công trình quốc phòng/BTL Công binh/1969/NXB QĐND
- [6]. TS. Đỗ Đình Đức, PGS.TS Lê Kiều, TS LÊ Anh Dũng và công sự (2013), "Giáo trình kỹ thuật thi công", NXB Xây Dựng.
- [7]. GS. TSKH Nguyễn Hoa Thịnh (1991-1995), Đề tài NCKH cấp Nhà nước "Luận chứng khoa học kỹ thuật cho một số vấn đề cấp bách về xây dựng công trình và cải tạo môi sinh vùng quần đảo Trường Sa".
- [8]. GS.TS Hoàng Xuân Lượng (2001-2005), Đề tài "Nghiên cứu các đặc điểm địa chất công trình của nền san hô một số vùng trọng điểm và các giải pháp thích hợp cho các công trình biển phục vụ phát triển kinh tế và quốc phòng trong vùng đảo Trường Sa".
- [9]. GS.TS Vũ Đình Lợi, mã số KC.09.06/11-15, Đề tài" Nghiên cứu cơ sở khoa học cho các giải pháp xây dựng công trình an ninh quốc phòng trên các đảo thuộc quần đảo Trường Sa".
- [10]. Vũ Minh Tuấn Nguyễn Viết Thanh Nguyễn Anh Dân, Công nghệ xây dựng công trình biển, NXB Giao thông vận tải.
- [11]. PGS.TS Đinh Quang Cường (2018), Thi công công trình biển trọng lực bê tông, NXB Xây dựng.
- [12]. Design of coastal revetments, seawalls, and bulkheads. US Army Corps of Engineers1994.
- [13]. Shigeo Takahashi Design of Vertical Breakwaters, 2001.
- [14]. Yoshimi Goda Random seas and Design of Maritime Structures, 3rd Edition.
- [15]. Grantz WC. Steel-shell immersed tunnels: forty years of experience. Tunn Undergr Space Technol 1997;12(1):23-31.
- [16]. Rasmussen NS. Concrete immersed tunnel: forty years of experience. Tunn Undergr Space Technol 1997;12(1):33-46.
- [17]. Janssen WPS, Lykke S. The fixed link across the Øresund: tunnel section under the Drogden. Tunn Undergr Space Technol 1997;12(1):5-14.
- [18]. Shioi Y, Arakawa T. Man-made islands, Trans-Tokyo Bay Highway, Japan. Struct Eng Int 1993;3(3):155-7.

1068

Some solutions to ensure stability during the construction of deep fortifications on offshore island X in Vietnam

Abstract:

To solve the urgent problem of constructing deep fortifications in the coral environment on offshore island X. Construction of deep fortifications in the condition of unstable and submerged coral foundation on offshore island This article analyzes stability during the construction of deep-seated fortifications under conditions at offshore island X. The author proposes some solutions to ensure stability in the construction process for deep fortifications on offshore island X in Vietnam *Keywords:* stability in construction; deep fortifications; offshore islands; flooded, not solid.

Phản ứng phi tuyến của kết cấu nhà nhiều tầng bê tông cốt thép với bê tông cột bị hạn chế Phùng Văn Long^{1*}, Nguyễn Văn Tú¹, Nguyễn Xuân Đại¹

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự *Email<u>longpv2298@gmail.com</u>; Tel: 0985113613

Tóm tắt

Miền bê tông bị hạn chế trong tiết diện cột có tác động đáng kể đến phản ứng phi tuyến của kết cấu, đặc biệt là trong phân tích công trình chịu động đất. Bài báo này nhằm nghiên cứu phản ứng của kết cấu nhà nhiều tầng bê tông cốt thép chịu động đất có kể đến bê tông cột bị hạn chế với sự xuất hiện của các khớp dẻo theo mô hình biến dạng dẻo tập trung. Quan hệ ứng suất – biến dạng của vật liệu bê tông tính toán theo mô hình của Kent and Park, cốt thép biến dạng theo mô hình Clough. Phản ứng động đất của kết cấu khi tính theo mô hình bê tông bị hạn chế được so sánh với trường hợp không kể đến vùng bê tông bị hạn chế và trường hợp phân tích tuyến tính. Kết quả cho thấy, mô hình bê tông bị hạn chế giúp tăng khả năng biến dạng dẻo cho kết cấu dẫn đến làm tăng chuyển vị, biến dạng, đồng thời làm giảm nội lực trong cột.

Từ khóa: Bê tông bị hạn chế; bê tông không bị hạn chế; phân tích phi tuyến theo thời gian; phân tích động đất.

1. Đặt vấn đề

Trong thiết kế kết cấu bê tông cốt thép, việc đồng nhất hóa vật liệu bê tông và cốt thép thường được áp dụng nhằm đơn giản hóa quá trình phân tích. Khi đó, quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu thường được thể hiện dưới dạng đàn hồi tuyến tính[1, 3]. Do đó, vai trò của cốt thép thường không được kể đến trong các đặc tính cơ học (độ cứng) của kết cấu. Thực tế kết cấu bê tông cốt thép luôn tồn tại phần bê tông bị hạn chế bởi cốt thép đai, cốt thép, tại đó cường độ chịu nén của bê tông trong vùng này tăng đáng kể.

Dưới tác động của lực nén, bê tông có khuynh hướng nở ngang theo các phương vuông góc với phương tác động lực. Nếu biến dạng ngang này bị cản trở, độ bền cũng như tính biến dạng của bê tông được gia tăng một cách rất đáng kể [4]. Trạng thái ứng suất - biến dạng này tương tự như trường hợp bê tông chịu nén theo cả ba chiều. Trong thực tế điều kiện chất tải tương đương với áp lực thuỷ tĩnh này được tạo ra khi các cốt thép ngang dưới dạng cốt đai kín hoặc cốt đai xoắn dạng lò xo ngăn cản "sự nở ngang" của cấu kiện chịu nén dọc trục. Phần bê tông chịu ảnh hưởng có lợi này của cốt thép ngang được gọi là phần bê tông bị hạn chế. Áp lực bó hoặc áp lực hạn chế biến dạng ngang của bê tông tỷ lệ thuận với ứng suất kéo trong cốt thép đai và gia tăng cùng với biến dạng nở ngang của bê tông. Hiện tượng hạn chế này có thể được xem là thụ động, bởi vì khi bê tông không bị nở ngang thì trong cốt thép đai sẽ không tồn tại bất kỳ ứng suất bó nào.



Hình 1. Các đồ thị ứng suất - biến dạng của bê tông với các kiểu hạn chế khác nhau

Có rất nhiều thí nghiệm nghiên cứu vai trò của việc hạn chế bê tông đã được thực hiện. Điển hình là các thí nghiệm của Park và Paulay (1975), Aoyama và Noguchi (1979), Sakai và Sheikh (1989)[5, 6]. Các kết quả nghiên cứu cho thấy các cốt thép đai dạng lò xo bó bê tông hiệu quả hơn các cốt đai kín dạng khung chữ nhật hoặc vuông. Hình 1 cho chúng ta một hình ảnh định tính về hiệu quả của các cách thức bó bê tông. Qua hình này ta thấy khi dùng cốt thép đai tròn dạng lò xo, sự làm việc của bê tông bị bó gần tương tự như khi chịu áp lực thuỷ tĩnh vừa phải. Sở dĩ đạt được hiệu quả này là do cốt đai lò xo tạo ra được một áp lực nén liên tục σ_t dọc theo toàn bộ chu vi của nó lên bê tông (Hình 2a), trong khi các cốt đai dạng khung kín hình chữ nhật hoặc vuông chỉ gây ra áp lực lớn tại các góc (Hình 2b). Vì vậy tại các vùng nằm xa góc khung cốt đai, sự giãn nở của bê tông sẽ làm cho cốt đai bị đẩy ra phía ngoài và làm cho một phần bê tông trở thành không bị bó (phần gạch chéo trong Hình 2b). Phần bê tông không bị bó này thậm chí còn lớn hơn tại các tiết diện nằm giữa hai lớp cốt đai như trong Hình 2b.





Mục tiêu của bài báo nghiên cứu phản ứng của kết cấu nhà nhiều tầng bê tông cốt thép chịu động đất có kể đến bê tông cột bị hạn chế, cho phép xuất hiện khớp dẻo theo mô hình biến dạng dẻo tập trung bằng phương pháp phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian sử dụng phần mềm Etabs. Mô hình phi tuyến của Kent and Park được ứng dụng để mô tả ứng xử chịu nén của bê tông bị hạn chế (bỏ qua ứng xử chịu kéo) [7] và mô hình Clough được sử dụng để mô tả ứng xử của cốt thép, như thể hiện trong Hình 3.



Hình 3. Mô hình ứng suất - biến dạng (a) bê tông bị hạn chế và không bị hạn chế (Kent & Park's); (b) cốt thép (Clough) **2. Phương pháp luân của nghiên cứu**

Trên cơ sở kết quả thực nghiệm, Dufley Charles Kent và Robert Park đề xuất đường cong thể hiện trong Hình 3 thể hiện rõ mối quan hệ ứng suất - biến dạng đối với bê tông không bị hạn chế và bị hạn chế [7]. Các đặc điểm của đường cong tổng hợp như sau:

Vùng AB: Phần tăng dần của đường cong sẽ được biểu thị bằng một parabol bậc hai. Đối với bê tông có thép hạn chế, điều này giả định rằng loại thép đó không ảnh hưởng đến hình dạng của phần đường cong này. Đây là một giả định hợp lý vì có nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng biến dạng bên hông có thể gây ra ứng suất đáng kể cho vòng đai chỉ xảy ra khi ứng suất bê tông gần như đạt đến mức tối đa.

$$f_{c} = f_{c} \left[\frac{\varepsilon_{c}}{\varepsilon_{o}} - \left(\frac{\varepsilon_{c}}{\varepsilon_{o}} \right)^{2} \right]$$
(1)

Cũng có thể giả định rằng ứng suất uốn tối đa đạt được bởi cả bê tông không giới hạn và bê tông bị giới hạn là như nhau và ứng suất này là cường độ của mẫu hình trụ f_c'.

Biến dạng ở ứng suất cực đại sẽ được giả sử là $\varepsilon_0 = 0,002$. Đây là giả định được chấp nhận rộng rãi đối với bê tông không cốt thép.

Vùng BC sẽ được giả định là tuyến tính và độ dốc của nó sẽ được xác định bằng cách xác định biến dạng khi ứng suất bê tông giảm xuống 0,5 ứng suất cực đại, theo đề xuất của Roy và Sozen.

 ϵ_{50u} được xác định theo công thức:

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0.002 f_c'}{f_c' - 1000} \tag{2}$$

trong đó: fc' tính bằng đơn vị pounds per square inch (psi).

 ϵ_{50h} được xác định theo công thức:

$$\varepsilon_{50h} = \frac{3}{4} p'' \sqrt{\frac{b''}{s}}$$

$$\tag{3}$$

trong đó: A_s " là diện tích mặt cắt ngang của cốt đai; b" và d" lần lượt là bề rộng và chiều cao của lõi giới hạn; s là bước đai.

$$p'' = \frac{2(b'' + d'')A_s''}{b''d''s}$$
(4)

Vùng CD: Giả định rằng bê tông có thể chịu được ứng suất đến $0,2f_c$ ' từ ε_{20c} đến vô cùng (Hình 3).

3. Nghiên cứu số

3.1. Mô tả hệ kết cấu công trình

Công trình được lựa chọn phân tích là nhà 9 tầng với mặt bằng đối xứng, kết cấu hỗn hợp [xem Hình 4(a)]. Chiều cao tầng 1 là 4,2m, các tầng còn lại cao 3,9m.

- Khung: Dầm kích thước 25x40 cm. Tiết diện các cột chịu lực từ tầng 1 đến 4 là 40x40 cm; tầng 5 đến 9 là 35x35cm.

- Cột được gán khớp dẻo dạng Interacting P-M2-M3; Dầm được gán khớp dẻo dạng Moment M3 [xem Hình 5(a)].

- Sàn: Toàn bộ sàn BTCT dày 15cm.

- Bê tông cấp độ bền B25 (M350). Cốt thép chịu lực CB300-V; cốt thép đai CB240-T.

Tải trọng tác dụng:

- Tải trọng thẳng đứng: Gồm Tĩnh tải là tải trọng các lớp cấu tạo sàn (130 daN/m²), không bao gồm trọng lượng bản thân các cấu kiện. Hoạt tải tác dụng đối với các sàn là 200 daN/m² và 90 daN/m² với sàn mái.



Hình 5. Khớp dẻo trên kết cấu công trình BTCT **3.2. Tính toán các tham số của mô hình Kent & Park's**

- Lớp bê tông bảo vệ (không bị hạn chế) có: $E_b = 30$ GPa; f'_c = 18,5MPa; $\varepsilon_{c0} = 0.002$

- Bê tông bị hạn chế có: $E_b = 30$ GPa. Trên cơ sở mô hình Kent & Park và các thông số kích thước và vật liệu kết cấu, áp dụng các công thức tính toán ở trên, ta xác định được các tham số của mô hình như trong Bảng 1

- Các tham số của thép trong mô hình ứng suất - biến dạng dựa trên cơ sở mô hình Clough, với E = 200GPa; f_y = 300MPa đối với thép CB 300-V; f_y = 240MPa đối với thép CB 240-T; hệ số độ cứng b = 0,02.

Tiết diện	Cốt dọc	Cốt đai	fc' (MPa)	0,5fc' (MPa)	0,2fc' (MPa)	Eo	850u	850h	E50c	E20c
C400x400	8d18	2d8a150	18,5	9,25	3,7	0,002	0,00497	0,09177	0,01415	0,02144
C350x350	8d16	2d8a150	18,5	9,25	3,7	0,002	0,00497	0,09991	0,01496	0,02274

Bång 1. Tham số của mô hình Kent & Park's











Cột C350x350

Cột C400x400





Hình 8. Ứng xử của bê tông không bị hạn chế khai báo trong Etabs

3.3. Tải trọng động đất tác dụng

Xem xét công trình đặt trên nền đất loại B, tỷ số cản 5%, tính toán với gia tốc nền tham chiếu tại Thanh Xuân, Hà Nội. Phổ phản ứng gia tốc được tính toán theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9386:2012[2], thể hiện như trong Hình 9.

Động đất	Trạm đo	Mw	Khoảng cách tới tâm chấn (km)	PGA (g)
Kobe, 16-01-1995	Nishi-Akashi, Japan	6,9	19,9	0,509
El Centro, 19-05-1940	CA - Array Sta 9; Imperial Valley Irrigation District	6,9	12,2	0,522
Northridge, 17-01-1994	Castaic-Old Ridge Rte, CSMIP station 24278	6,7	41,0	0,568

Bảng 2. Thông tin về các bản ghi gia tốc gốc

Để tiến hành phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian, bộ 03 bản ghi gia tốc động đất thực được lựa chọn để gán vào mô hình tính. Thông tin về các bản ghi gia tốc gốc được thể hiện trong Bảng 2.

Các giản đồ gia tốc được hiệu chỉnh theo phương pháp tuyến tính một hệ số nhằm khớp phổ phản ứng bằng phần mềm SeismoMatch, kết quả phổ phản ứng gia tốc đàn hồi sau hiệu chỉnh được thể hiện trong Hình 9 cho thấy điều kiện khớp phổ phản ứng được đảm bảo.



Hình 9. Giản đồ gia tốc được hiệu chỉnh

Khối lượng tham gia giao động giao động được xét đến trong tính toán tải trọng động đất gồm: 1,0.TT + 0,24.HT.

3.4. Kết quả và bình luận

Tiến hành phân tích kết cấu với 02 trường hợp: phân tích tuyến tính, phân tích phi tuyến với 02 mô hình vật liệu bê tông cột khác nhau: mô hình kể đến ảnh hưởng của bê tông cột bị hạn chế và mô hình không kể đến ảnh hưởng của bê tông cột bị hạn chế.

Kết quả cho thấy, trường hợp phân tích phi tuyến, kết cấu hình thành khớp dẻo ở trạng thái IO (Immediate Occupancy) Tại các tiết diện dầm và cột, như thể hiện trong Hình 5(b).

Trong phân tích này, tác giả sử dụng kết quả phản ứng động đất là chuyển vị tại đỉnh công trình và lực cắt đáy là giá trị tham chiếu để so sánh và đánh giá ảnh hưởng của việc sử dụng các mô hình khác nhau trong phân tích.

1075



Kết quả chuyển vị theo thời gian tại đỉnh công trình thể hiện như Hình 10:

Hình 10. Chuyển vị đỉnh tại nút 1 theo thời gian

Kết quả giá trị lực cắt đáy theo thời gian được thể hiện như Hình 11:



Hình 11. Lực cắt đáy theo thời gian

Kết quả so sánh chuyển vị đỉnh và lực cắt đáy được thể hiện trong Bảng 3.

	Bản ghi gia tốc động đất	Phân tích tuyến tính	Bê tông cột bị hạn chế	Chênh lệch (%)	Bê tông cột không bị hạn chế	Chênh lệch (%)
Chuyển vị đỉnh	Kobe	128,489	142,857	11,182	122,777	-4,446
Chuych vị unh lớn nhất (mm)	El Centro	156,422	227,348	45,343	154,474	-1,245
ion mat (mm)	Northridge	107,220	118,673	10,682	105,606	-1,505
I wo ośt đáy lớn	Kobe	1893,676	1504,349	-20,559	1902,886	0,486
nhất (kN)	El Centro	1894,872	1753,858	-7,442	1990,966	5,071
illiat (KIN)	Northridge	1790,151	1095,311	-38,815	1744,353	-2,558

Bảng 3. So sánh lực cắt và chuyển vị lớn nhất của các trường hợp bê tông cột

Nhận xét: so sánh với trường hợp phân tích tuyến tính, khi phân tích kết cấu theo mô hình phi tuyến có kể đến ảnh hưởng của bê tông bị hạn chế ở tiết diện cột, giá trị chuyển vị đỉnh tăng đáng kể, đặc biệt là trường hợp động đất mạnh (El-Centro, tăng 45%). Trong khi đó, lực cắt đáy lớn nhất có xu hướng giảm đáng kể, khoảng 20%.

Ngược lại, khi không kể đến bê tông bị hạn chế, giá trị chuyển vị đỉnh có xu hướng giảm, trong khi giá trị lực cắt có xu hướng tăng. Tuy nhiên trong trường hợp này, mức chênh lệch là không đáng kể.

Kết quả Moment 2-2, góc xoay R_x theo thời gian và biểu đồ moment – góc xoay tại nút 17 được thể hiện như Hình 12, 13, 14:



Hình 12. Phản ứng phi tuyến theo thời gian tại nút 17 với bản ghi Kobe



Hình 13. Phản ứng phi tuyến theo thời gian tại nút 17 với bản ghi El Centro



Hình 14. Phản ứng phi tuyến theo thời gian tại nút 17 với bản ghi Northridge

Kết quả so sánh moment và góc xoay tại đỉnh cột tầng 1 (nút 17) được thể hiện trong Bảng 4.

	Bản ghi gia tốc động đất	Phân tích tuyến tính	Bê tông cột bị hạn chế	Chênh lệch (%)	Bê tông cột không bị hạn chế	Chênh lệch (%)
	Kobe	88,466	45,459	-48,614	88,305	-0,182
Moment (kNm)	El Centro	84,276	56,574	-32,871	87,876	4,272
	Northridge	78,797	34,889	-55,723	76,845	-2,477
	Kobe	0,00416	0,00547	31,490	0,00421	1,202
Góc xoay (rad)	El Centro	0,00437	0,00655	49,886	0,00463	5,950
	Northridge	0,00417	0,00385	-7,674	0,00407	-2,398

Bảng 4. So sánh moment và góc xoay lớn nhất tại nút 17

Tương tự như so sánh giá trị chuyển vị đỉnh và lực cắt, giá trị mô men uốn và góc xoay tại chân cột cũng có xu hướng tương tự khi góc xoay có xu hướng tăng và mô men uốn có xu hướng giảm khi kể đến ảnh hưởng của bê tông bị hạn chế.

Kết quả phân tích này cho thấy, việc kể đến ảnh hưởng của bê tông bị hạn chế giúp tăng tính dẻo dáng kể cho kết cấu bê tông, qua đó góp phần làm tăng khả năng biến dạng của kết cấu. Hệ quả là, khả năng tiêu tán năng lượng của kết cấu tốt hơn, dẫn đến nội lực (trong trường hợp này là lực cắt và mô men uốn) giảm đáng kể. Do đó, đối với công tác thiết kế cần cân nhắc áp dụng phương pháp phân tích cho phù hợp với giải pháp thiết kế. Trường hợp thiết kế theo lực, việc phân tích mô hình bê tông không bị hạn chế giúp tăng độ an toàn cho kết cấu. Ngược lại, khi thiết kế theo chuyển vị, mô hình bê tông bị hạn chế cho phép xác định giá trị chuyển vị lớn hơn, dẫn đến kết cấu được tính toán an toàn hơn.

4. Kết luận

Bài báo nghiên cứu phản ứng của kết cấu nhà nhiều tầng bê tông cốt thép chịu động đất có kể đến bê tông cột bị hạn chế bằng phần mềm Etabs sử dụng mô hình không gian để mô hình hóa kết cấu công trình. Trong bài viết, tác giả sử dụng mô hình phi tuyến của Kent and Park để mô tả ứng xử của bê tông cột bị hạn chế và ứng xử phi tuyến của cốt thép bằng mô hình Clough. Kết quả thu được cho thấy bê tông cột bị hạn chế giúp tăng khả năng biến dạng dẻo và làm giảm nội lực của kết cấu. Do đó trong phân tích kết cấu công trình cần cân nhắc mô hình phân tích cho phù hợp với giải pháp thiết kế để đảm bảo sự an toàn của kết cấu.

Tài liệu tham khảo

- TCVN-5574:2018 (2018), Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [2]. TCVN-9386:2012 (2012), Tiêu chuẩn thiết kế công trình chịu động đất. Viện Khoa học và Công nghệ Xây dựng - Bộ Xây dựng.
- [3]. ECS (2004), Eurocode 2: Design of concrete structures. General rules and rules for buildings.
- [4]. Mander, J.B., M.J.N. Priestley and R. Park (1988), Theoretical Strain-Stress Model for Confined Concrete. Journal of Structural Engineering. 114(8): p. 1804-1826.
- [5]. George G. Penelis, A.J.K. (1997), Earthquake resistant Concrete
- [6]. Structures. E&FN SPON.
- [7]. T, P.R.P. (1975), Reinforced Concrete Structures. A Wiley interscience publication.
- [8]. Kent, D.C. and R. Park (1971), Flexural members with confined concrete. Journal of the structural division. 97(7): p. 1969-1990.

1079

The nonlinear response of reinforced concreteMulti-story buildings with confined concrete

Abstract

The confined column concrete has a significant impact on the nonlinear response of the structure, especially in the analysis of structures for seismic resistances. This paper focuses on studying the response of multi-story reinforced concrete structures subjected to seismics considering the confined concrete of columns with the presence of plastic hinges according to the concentrated plastic deformation model. The stress-strain relationship of concrete material is calculated according to the Kent and Park model, the steel deformation is according to the Clough model. The seismic response of the structure when calculated according to the confined concrete model is compared with the case ofunconfined concrete and the linear analysis case. The results show that the confined concrete model helps to increase the ductility of the structure, leading to an increase in displacement, deformation, and a decrease in internal force in the column.

Keywords: confined concrete; unconfined concrete; nonlinear response of reinforced concrete multi-story building structures.

Xây dựng giải pháp hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất

Nguyễn Sách Thành^{1*}, Lê Ngọc Sáng², Lê Minh Hằng¹, Phạm Duy Thái¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự; ²Bộ Tư lênh Pháo binh; *Corresponding author: thanhns.dth@gmail.com.

Tóm tắt

Hiện nay, bên cạnh các nhiệm vụ nghiên cứu cải tiến nâng cao khả năng cơ động, tăng tầm đạn pháo, các công trình nghiên ứu giúp nâng cao hiệu quả hỏa lực pháo binh đã tập trung vào ứng dụng một số công nghệ hỗ trợ tính toán, xác định phần tử bắn hoặc nghiên cứu đổi mới phương pháp, quy tắc bắn nhằm tiết kiệm đạn pháo. Tuy nhiên, chưa có công trình nghiên cứu về các giải pháp nhằm rút ngắn thời gian xác định phần tử hiệu lực cho pháo binh. Bởi vậy, nghiên cứu này sẽ trình bày về giải pháp hỗ trợ bắn thử nhanh, tiết kiệm đạn khi bắn thử trực tiếp mục tiêu của pháo binh mặt đất thông qua các hệ thống máy truyền số liệu VRP712/S của tập đoàn công nghiệp quốc phòng Viettel. Kết quả là nhóm tác gả đã xây dựng được hệ thống phần mềm hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất. Hệ thống này được thử nghiệm thông qua việc diễn tập bắn đạn cấp đại đội pháo binh mặt đất, sử dụng pháo 105mm và pháo 152 - Đ20, mang lại tính khả quan với độ chính xác cao so với việc tính toán truyền thống của các pháo thủ trước đây. *Keywords:Pháo binh, VRP712/S, PostgreSOL, RestSharp*

1. Giới thiệu

Hoả lực pháo binh là hoả lực chủ yếu của lục quân, có uy lực sát thương lớn và quyết định tới thắng lợi của các trận chiến đấu trên bộ. Trên chiến trường, các bên tham chiến luôn tìm mọi cách phát huy hỏa lực pháo binh của mình, tuy nhiên bên cạnh đó, pháo binh cũng luôn là mục tiêu mà đối phương tìm và tiêu diệt đầu tiên. Với trình độ công nghệ hiện nay, các hệ thống trinh sát hỏa lực, vũ khí công nghệ cao đã phát triển rất mạnh mẽ và trở nên phổ biến, pháo binh sau khi phát hỏa sẽ dễ dàng bị phát hiện vị trí, đồng thời do thường có kích thước lớn nên pháo binh có thể bị tiêu diệt trong thời gian ngắn sau khi lộ trận địa. Chính vì vậy, việc nghiên cứu rút ngắn thời gian chuẩn bị phần tử và bắn hiệu lực nhằm hoàn thành nhiệm vụ hỏa lực của pháo binh sớm, sau đó thu hồi rời khỏi trận địa là vấn đề được hầu hết quân đội các nước trên thế giới quan tâm [1].

Một số nước có tiềm lực quân sự lớn và sở hữu công nghệ chế tạo đạn pháo như Anh, Nga, Đức, Pháp, Mỹ, Trung Quốc... thường hướng tới thiết kế chế tạo hoặc cải tiến các thế hệ pháo mới nhằm tăng tính chính xác; tự động hóa tính toán, chỉ huy; tự động hóa lấy phần tử và nạp đạn pháo; phát triển đạn pháo thông minh... (các loại hiện đại thường là pháo tự hành).

Tại Việt Nam, việc nghiên cứu, chế tạo các thế hệ pháo hiện đại, đạn pháo thông minh chưa được tập trung đầu tư và chưa đạt được kết quả đáng kể. Hiện nay, bên cạnh các nhiệm vụ nghiên cứu cải tiến nâng cao khả năng cơ động, tăng tầm đạn pháo thì các công trình nghiên cứu giúp nâng cao hiệu quả hỏa lực pháo binh mới chỉ tập trung vào ứng dụng một số công nghệ hỗ trợ tính toán, xác định phần tử bắn hoặc nghiên cứu đổi mới phương pháp, quy tắc bắn nhằm tiết kiệm đạn pháo mà chưa trực tiếp nghiên cứu về các giải pháp nhằm rút ngắn thời gian xác định phần tử hiệu lực cho pháo binh.Các nghiên cứu đó đã được triển khai thực hiện từ khá lâu (chủ yếu giai đoạn 2000 - 2007), vì vậy các sản phẩm nghiên cứu đã khá lạc hậu do sử dụng công nghệ cũ, cấu hình thiết bị so với yêu cầu sử dụng hiện nay không bảo đảm. Đồng thời các nhiệm vụ đã nghiên cứu chủ yếu giải quyết các bài bắn theo quy tắc bắn đã biên sœn, chưa chú trọng đến nghiên cứu giải quyết vấn đề rút ngắn thời gian xác định phần tử bắn hiệu lực nhằm đáp ứng yêu cầu tác chiến trong chiến tranh hiện đại; chưa phát triển thành các bộ thiết bị hay hệ thống thiết bị để có thể tự động hoá chỉ huy bắn, giảm thời gian hạ mệnh lệnh ở các khâu chỉ huy trung gian. Bên cạnh đó, các công trình nghiên cứu ứng dụng phát triển thiết bị và phần mềm tính phần tử bắn pháo binh cũng chưa thực sự hoàn thiện, chủ yếu tập trung giải các bài toán bắn pháo cơ bản chưa chú trọng đến nghiên cứu nâng cao mức chính xác và các bài toán tối ưu hóa trong chuẩn bị phần tử pháo binh; việc ứng dụng các sản phẩm nghiên cứu trong thực tiễn cũng chưa nhiều, vì vậy không được tiếp tục nâng cấp để hoàn thiện, đưa vào sử dụng rộng rãi [2].

Chiến tranh hiện đại nếu xảy ra, các mục tiêu địch thường có sức cơ động cao, có khả năng xuất hiện bất ngờ và thường xuyên biến động, các phương tiện cơ giới được trang bị thiết giáp tốt hơn trước. Địch có các hệ thống trinh sát hoả lực hiện đại và vũ khí sát thương từ xa chính xác có thể nhanh chóng phát hiện và tiêu diệt sau khi pháo binh ta bắn. Để hoàn thành tốt nhiệm vụ trong chiến đấu, pháo binh không những cần phát huy sức mạnh và mức đô chính xác của hoả lực mà cần phải bảo toàn lực lượng bằng cách nhanh chóng tìm ra phần tử chính xác để bắn hiệu lực (tập trung hoả lực), và thu hồi rút khỏi trận địa. Theo tính toán, để bảo đảm tính bí mật, an toàn thời gian từ khi bắn phát đầu tiên đến khi kết thúc loạt bắn hiệu lực cuối cùng là không quá 10 phút. Qua nghiên cứu một số tài liêu về chuẩn bị phần tử bắn được sử dụng trong quân đội ta và qua thực tiễn các cuộc bắn đạn thật đã chứng minh rằng phương pháp tìm phần tử bắn hiệu lực bằng bắn thử trực tiếp mục tiêu, cụ thể là bắn thử sửa theo độ lệch là phương pháp có độ chính xác cao nhất đồng thời cũng là phương pháp có lợi nhất. Vì vậy, đây sẽ là phương pháp được sử dụng phổ biến trong chiến đấu và việc nghiên cứu giải pháp nhằm rút ngắn thời gian bắn thử trực tiếp mục tiêu là nội dung quan trọng, có tính cấp thiết rất cao. Phương pháp này được thực hiện bằng cách sử dụng pháo bắn thử bắn trực tiếp một hoặc một số phát vào mục tiêu sau đó tính toán lượng sửa trên cơ sở kết quả bắn thử để điều chỉnh phần tử, tìm ra phần tử bắn chính xác [6].

2. Xây dựng giải pháp

2.1. Cơ sở lý thuyết

Căn cứ tài liệu quy tắc bắn hiện hành, bắn thử sửa theo độ lệch dùng máy đo xa, giao hội quang học, phán đoán bằng mắt (những khí tài được sử dụng phổ biến hiện nay) thực hiện như sau: Lấy phần tử đầu tiên, dùng khẩu đầu đàn bắn một phát; căn cứ kết quả quan sát đạn chính xác, đo đạc độ lệch xác định lượng sửa cho pháo; nếu lượng sửa không quá 100 mét về tầm, 10 ly giác về hướng thì chuyển sang bắn hiệu lực; khi không bảo đảm dù chỉ là một điều kiện trên thì tiếp tục bắn một phát cho đến khi đủ điều kiện bắn hiệu lực. Theo thống kê của Binh chủng Pháo binh, khi tiến hành bắn thử sửa và tính phần tử bắn thử theo phương pháp giản đơn như hiện nay thì cần khoảng 03 lần bắn thử mới có thể đạt điều kiện chuyển sang bắn hiệu lực. Thông thường, đối với các loại pháo bắn gián tiếp thông dụng của quân đội ta như: 105mm, 122 - Đ30, 152 - Đ20; 130 - M46...(không tính pháo phản lực) có thể thực hiện các phép tính sơ bộ về thời gian như sau [3,4]:

 Thời gian để có thể khai hoả sau khi quan sát được đạn nổ hoặc cụm đạn nổ được tính như sau: $t_{c.bi} \dot{ban} = t_{QS,sura} \dot{ban} + t_{CH, thao tac} \approx 60 \text{ giây}$ (1)

trong đó:

 $t_{QS,sửa bắn}$: thời gian quan sát kết quả và tính toán lượng sửa ($\approx 30s$)

 $t_{CH,thao tác}$: thời gian truyền khẩu lệnh chỉ huy và bộ đội thao tác tại trận địa (nạp đạn, lấy phần tử...) đến khi thực hiện phát bắn tiếp theo (≈ 30 s)

- Thời gian thực hiện 01 loạt bắn hiệu lực (mỗi khẩu đội thực hiện 04 phát bắn gấp):

 $t_{01\;loat\;HL}\approx 60s$

- Thời gian đạn bay (tính trung bình): $t_R \approx 30s$

- Thời gian kể từ khi phát hoả phát bắn thử đến khi đưa ra được khẩu lệnh chỉ huy phát bắn tiếp theo (có thể là bắn thử hoặc bắn hiệu lực) là:

 $T_{b\acute{a}n th\dot{t}} = t_{c.b\acute{l}} \, {}_{b\acute{a}n} + t_{R} = 60 + 30 = 90s \approx 1 \text{ phút } 30 \text{ giây}$ (2)

- Thời gian kể từ khi phát hoả loạt bắn hiệu lực đến khi đưa ra được khẩu lệnh chỉ huy loạt bắn hiệu lực tiếp theo (cộng thêm thời gian bắn loạt) là:

 $T_{b\acute{a}n \,HL} = t_{01 \text{ loat }HL} + t_{c.bi} \,b\acute{a}n + t_R = 60 + 60 + 30 = 150s \approx 2 \text{ phút } 30 \text{ giây}$ (3)

Như vậy nếu đáp ứng yêu cầu rời khỏi trận địa sau 10 phút kể từ khi bắn phát đầu tiên và thực hiện theo quy tắc hiện hành, thời gian và lượng đạn bắn hiệu lực được tính cụ thể như sau:



Hình 1: Minh họa phương pháp bắn thử sửa cấp đại đội theo quy tắc hiện hành (03 lần bắn)

Có thể thấy rằng quá trình bắn thử tốn khá nhiều thời gian, đồng thời việc bắn thử nhiều lần tạo điều kiện thuận lợi cho địch phát hiện trận địa của ta. Trong khi đó việc can thiệp để giảm thời gian mỗi lượt bắn không khả thi bởi t_R, t_{QS,sửa bắn}, t_{CH, thao tác}, t_{01 loạt HL} khó có thể giảm được nữa. Để rút ngắn được thời gian bắn thử thì điều quan trọng nhất đó là giảm số lần bắn thử xuống tối thiểu (ít nhất). Giả sử giảm được số lần bắn thử xuống chỉ còn 01 lần và tiến hành tính toán lượng sửa chính xác chuyển sang bắn hiệu lực ta sẽ đạt được hiệu quả hỏa lực như sau [5]:



Hình 2: Minh họa phương pháp bắn thử sửa theo độ lệch cấp đại đội (01 lần bắn)



Hình 3: Minh họa khoảng thời gian bắn thử sửa theo độ lệch cấp đại đội

So sánh ta có thể thấy nếu như giảm được số lần bắn thử xuống còn 01 lần sẽ mang lại rất nhiều lợi thế, trong khoảng thời gian 10 phút sẽ có thể tiến hành thêm được hơn 01 loạt bắn hiệu lực (bởi khi bắn thử 03 lần, loạt thứ bắn hiệu lực thứ 3 chỉ bắn được 02 phát/khẩu đội) để tăng uy lực sát thương. Mặt khác, nếu so sánh về thời gian hoàn thành nhiệm vụ bắn thì khi giảm được số lần bắn thử còn 01 lần, người và vũ khí trang bị pháo binh sẽ có thể thu hồi và rời khỏi trận địa sớm hơn khoảng 03 phút mà vẫn có thể hoàn thành nhiệm vụ bắn tương đương so với phương pháp hiện nay [7].

Trước những yêu cầu tác chiến hiện đại ngày này, việc tự động hóa chỉ huy trong pháo binh là vô cùng quan trọng, đòi hỏi phải thực hiện nhiều giải pháp đồng bộ, trong đó việc tự động hóa quy trình tính toán phần tử bắn trong bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất đóng vai trò quan trọng. Yêu cầu này đòi h ỏi hệ thống phần mềm hỗ trợ hoạt động tính toán phần tử bắn trong diễn tập pháo binh cấp đại đội cần giải quyết đồng bộ, tự động các bài toán pháo binh hiện nay như chuẩn hóa dữ liệu bảng bắn, tính toán tọa độ điểm nổ, mục tiêu; tính toán phần tử bắn, tính toán lượng sửa riêng; tính toán phần tử lấy lên pháo.. dựa trên toán học lượng giác. Hình 4 minh họa sơ đồ thuật toán tính toán tọa độ mục tiêu, tọa độ điểm nổ.

1083



Hình 4. Minh họa sơ đồ thuật toán tính toán tọa độ mục tiêu, tọa độ điểm nổ

2.2. Mô hình kiến trúc hệ thống

Hệ thống hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất bao gồm các máy tính khẩu đội và máy tính chỉ huy trận địa được kết nối hữu tuyến với nhau qua bộ chuyển đổi tín hiệu bảo đảm tính bảo mật; thông tin, dữ liệu số giữa đài chỉ huy bắn và trận địa do phân đội thông tin theo biên chế trong chiến đấu triển khai vào bảo đảm đường truyền như trên Hình 5:



Hình 5: Minh họa sơ đồ bố trí bộ thiết bị tính toán chuyên dùng phục vụ bắn cấp đại đội

Trong đó, mô hình tổng quan của phần mềm được mô tả như Hình 6. Hệ thống phần mềm được phát triển dựa trên hệ thống máy truyền số liệu VRP712/S của tập đoàn công nghiệp quốc phòng Viettel, có thể sử dụng các giao thức trên API, cho phép thực thi đăng nhập, cấu hình truyền, đẩy dữ liệu, thiết lập truyền hoặc ngừng truyền. Hệ thống này bao gồm 4 phân hệ phần mềm được cài đặt trên các thiết bị máy tính khác nhau, bao gồm:

1084

- Phần mềm chỉ huy đại đội pháo binh (Kí hiệu 1- Hình 6): là phần mềm chỉ huy trung tâm (được cài trên máy tính tại vị trí chỉ huy), thường do Đại đội trưởng phụ trách bao gồm hệ thống các chức năng nhằm tự động hoá nhiệm vụ chỉ huy bắn trong trường hợp bắn thử trực tiếp mục tiêu của cấp đại đội pháo binh ; phát các mệnh lệnh chỉ huy tới trận địa dưới dạng thông báo qua hệ thống máy VRP712/S; nhận, tự động hiển thị các thông tin từ trận địa để xử lý, tính toán phần tử phục vụ chỉ huy bắn ; quản lý dữ liệu bảng bắn pháo 105mm, 152 Đ20. Ngoài ra phần mềm còn có khả năng quản lý kết quả các nhiệm vụ bắn.

- Phần mềm chỉ huy trận địa pháo binh (Kí hiệu 2- Hình 6): là phần mềm chỉ huy các khẩu đội bắn tại trận địa, thường do Phó Đại đội trưởng phụ trách, bao gồm hệ thống các chức năng nhằm tự động hoá nhiệm vụ chỉ huy bắn tại trận địa trong trường hợp bắn thử trực tiếp mục tiêu của cấp đại đội pháo binh như: nhận mệnh lệnh chấp hà nh, báo cáo tình hình lên vị trí chỉ huy và phát các mệnh lệnh chỉ huy tới máy tính cầm tay của 04 khẩu đội; nhận các thông tin nhiệm vụ bắn, phần tử bắn đầu tiên, phần tử bắn hiệu lực từ chỉ huy đại đại.

- Phần mềm đo đạc pháo binh (Kí hiệu 3 - Hình 5): thực hiện tính toán tọa độ của mục tiêu tọa độ điểm nổ; truyền thông tin tọa độ mục tiêu, điểm nổ xuống Sở chỉ huy.

- Phần mềm chỉ huy bắn khẩu đội pháo binh (Kí hiệu 4 - Hình 5): là phần mềm hỗ trợ chỉ huy khẩu đội , thường do khẩu đội trưởng phụ trách , bao gồm các chức năng như: truyền thông tin về độ hướng của các khẩu đổi lên chỉ huy trận địa; nhận và tính toán các thông tin về lượng sửa riêng, phần tử lấy lên pháo.



Hình 6: Minh họa mô hình tổng quan giải pháp hệ thống

Hệ thống phần mềm hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất giao tiếp với hệ thống máy VRP712/S dựa trên các các giao thức HTTPS, trong đó phần mềm VRP712/S đóng vai tờ máy chủ, còn plần mềm hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất đóng vai trò máy khách. Cấu trúc các bản tin được viết dưới dạng RESTful API. Tất cả các bản tin đều có thông tin về phiên truyền Session ID và quá trình truyền hay nhận đều được đánh chỉ số nhằm truy vấn các tiến trình truyền. Hình 7 minh họa mô hình truyền nhận của hệ thống phần mềm thông qua máy truyền số liệu VRP712/S của Viettel, trong đó các lồng thông tin được xử lý như sau [8]:



Hình 7: Minh họa mô hình truyền nhận của hệ thống phần mềm thông qua máy truyền số liệu VRP712/S của Viettel

4. Kết quả nghiên cứu

4.1. Giải pháp phát triển

Hệ thống phần mềm hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất được xây dựng dựa trên một số nền tảng dưới đây.

Nền tảng PostgreSQL

PostgreSQL là lệ quản trị cơ sở dữ liệu quan hệ đối tượn g được xây dựn g từ dự án POSTGRES tại Đại học California. Hiện nay, PostgreSQL đã trở thành hệ quản trị cơ sở dữ liệu mã nguồn mở phổ biến nhất. Dự án POSTGRES do Giáo sư Michael Stonebraker chỉ đạo đã được Cơ quan các Dự án Nghiên cứu Tiên tiến Quốc phòng - DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), Văn phòng Nghiên cứu Quân sự - ARO (Army Research Office), Quỹ Khoa học Quốc gia - NSF (National Science Foundation) và công ty ESL **t**ài tr POSTGRES bắt đầu được triển khai vào năm 1986. Các khái niệm, mô hình dữ liệu, thiết kế hệ thống, các quy tắc, kiến trúc của trình quản lý lưu trữ đã được mô tả trong POSTGRES. PostgreSQL từng được sử dụng để triển khai nhiều ứng dụng trong sản xuất và nghiên cứu khác nhau như: hệ thống phân tích dữ liệu tài chính, dự án giám sát hiệu năng động cơ phản lực, cơ sở dữ liệu theo dõi thiên văn, cơ sở dữ liệu thông tin y tế và một vài hệ thống thông tin địa lý. POSTGRES cũng từng được sử dụng như một công cụ giáo dục ở nhiều trường đại học[9].

Thư viện RestSharp

RestSharp là một thư viện máy khách HTTP mã nguồn mở, toàn diện, hoạt động với tất cả các loại công nghệ DotNet. RestSharp được sử dụng để xây dựng các ứng dụng mạnh mẽ bằng cách giúp dễ dàng giao tiếp với các API cộng đồng và truy cập nhanh dữ liệu, tiết kiệm thời gian với giao diện đơn giản, gọn gàng. Đây có thể coi là một công cụ REST phổ biến được nhiều lập trình viên sử dụng hiện nay. RestSharp có khả năng phân tích cú pháp XML

1086

và JSON tự động, hỗ trợ các tính năng như GET, PUT, Head, POST, DELETE. RestSharp được sử dụng để xử lý các tác vụ đơn giản, lặp đi lặp lại nhằm giảm thiểu một phần công việc cho người dùng [10].

4.2. Kết quả tính toán

Nhóm tác giả đã xây dựng được hệ thống phần mềm hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội cho các loại pháo 105mm và pháo 152 - Đ20; trong đó các dữ liệu bảng bắn của pháo 105mm và pháo 152 - Đ20 được chuẩn hóa và lưu trữ trên hệ quản trị cơ sở dữ liệu PostgreSQL (Hình 8)

					·= 8	Khoả	ng lệch	L	Luon	g sửa													
					불	khái 1	ıhiên		Hướn	g	Tâm									тъ		_ .	
Cự ly	May Qu ang học	ngām Co ki	hí	Bao bọc hẹp	Jượng thay đổi tầm góc bắn thay đổi 1 1	Tâ m	Chi êu cao	Hướ ng	Độ dạt	Gió nga ng	Gió dọc	Áp suât khôn g khí	Nhiệ t độ khôn g khí	Sơ tốc 1%	Nhiệ t độ liêu 10°	Trọn g lượn đạn 1 dâu	Góc cao	G óc rơ i	Tốc độ rơi	ời gia n đạn bay	Độ cao tra TBK TTB	Độ cao đườ ng đạn	Cựly
D	TT	TT	GT	B		Ld	Lc	Lh	Z	ΔZ n	ΔXd	ΔX Ap	∆Xt °k	ΔX Vo	∆Xt °l	ΔXn	α	θr	Vr	Tr	Ytb	YD	D
m	vạc h	vạc h	ligi ac	ligia c	m	m	m	m	ligia c	ligia c	m	m	m	m	m	m	Độ phút	độ	m/s	giâ y	m	m	m
200	2	4	2	1	87	22	0,0	0,0	0	0	0	0	0	4	6	+1	0 08	0, 1	645	0,3		0,1	200
400	4	8	4	1	86	22	0,1	0,1	0	0	0	0	0	8	13	+1	0 16	0, 3	636	0,6		0,5	400
600	6	12	7	1	85	21	0,1	0,1	0	0	1	0	1	12	19	+2	0 24	0, 4	626	0,9		1,1	600
800	8	16	9	1	84	21	0,2	0,1	0	0	1	1	1	16	26	+2	0 33	0, 6	616	1,2		2,0	800
1000	10	20	12	1	83	21	0,2	0,2	0	1	1	1	2	20	32	+3	0 42	0, 7	606	1,6		3,2	1000
200	12	24	14	1	82	21	0,3	0,2	0	1	2	1	2	23	38	+3	0 50	0, 9	597	2,0		4,6	200
400	14	28	16	1	80	21	0,4	0,2	0	1	2	1	3	27	44	+4	0 59	1, 1	588	2,2		6,3	400
600	16	32	19	1	78	21	0,4	0,2	0	1	3	2	4	31	49	+4	1 08	1,	579	2,7	0	8,3	600

Hình 8: Minh họa các trường thông tin trong bảng tra phần tử bắn của pháo 152 - Đ20

Hệ thống phần mềm hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất được phát triển dựa trên bộ công cụ Visual Studio 2019 với ngôn ngữ lập trình C#. Hình 9 minh họa các giao diện chính của hệ thống phần mềm hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất. Trong đó, Kí hiệu 1 là giao diện chính của phần mềm chỉ huy bắn đại đội pháo binh; Kí hiệu 2 là giao diện chính của phần mềm chỉ huy bắn trận địa pháo binh mặt đất; Kí hiệu 3 là giao diện chính của phần mềm chỉ huy bắn trận địa pháo binh mặt đất; Kí hiệu 3 là giao diện chính của phần mềm chỉ huy bắn trận địa pháo binh mặt đất; Mỹ hiệu 3 là giao diện chính của phần mềm chỉ huy bắn trận địa pháo binh mặt đất; Mỹ hiệu 3 là giao diện chính của phần mềm chỉ huy bắn trận địa pháo binh mặt đất.



Hình 9: Minh họa các giao diện chính của hệ thống phần mềm hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất

Hệ thống phần mềm này đã được cài nạp trên các máy tính laptop (Chỉ huy đại đội, Chỉ huy trận địa) với cấu hình: bộ vi xử lý Intel (R) Core (TM) i5 - 6300U CPU @ 2.4 GHz (4 GPUs) ~2.5GHz, 8 GB RAM, ổ cứng SSD dung lượng 256 GB và các máy tính cầm tay (Khẩu đội) với cấu hình: Intel (R) Celeron (R) N4000 CPU @ 1.10GHz (2GPUs) ~1.1GHz, 4 GB RAM, ổ cứng SSD dung lượng 128 GB; chạy trên các hệ điều hành Window 10 cho laptop và thiết bị cầm tay. Kết quả thử nghiệm hệ thống phần mềm được đánh giá dựa trên các tiêu chí là khả năng truyền nhận thông tin qua hệ thống máy VRP712/S (Viettel) và khả năng tính toán các giá trị tham số pháo binh trong quá trình bắn thử cấp đại đội pháo binh mặt đất đối với các loại pháo 105mm và pháo 152 - Đ20.

Khả năng truyền nhận thông tin qua hệ thống máy VRP712/S (Viettel)



Hình 10: Hình ảnh minh họa buổi thử nghiệm hệ thống ở khu vực đồi núi

Bảng 1 là kết quả thử nghiệm khả năng truyền nhận thông tin của hệ thống phần mềm hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất. Qúa trình thử nghiệm được thực hiện ở nhiều địa hình khác nhau như khu vực đồi núi, đô thị nhằm đảm bảo đúng theo các yếu tố diễn tập cấp đại đội pháo binh. Khoảng cách thử nghiệm dao động trong khoảng 7 – 11 km; dung lượng truyền khoảng 100 kí tự tương ứng với các thông tin về nhiệm vụ bắn diễn tập pháo binh. Kết quả thời gian truyền nhận dao động trong khoảng 5 – 10 giây, phù thuộc vào địa hình (độ che khuất, khoảng cách, khả năng truyền tín hiệu của thiết bị VRP712/S)

STT	Thông số	Giá trị
1	Địa hình thử nghiệm	Khu vực đồi núi, đô thị
2	Số lần thử nghiệm	14
3	Khoảng cách truyền	7- 11 km
4	Tần số truyền nhận	55.5 MHz
5	Tốc độ truyền (BitRace)	240
6	Dung lượng truyền	Khoảng 100 kí tự
7	Thời gian truyền nhận	5 - 10 giây

Bảng 1. Kết quả thử nghiệm khả năng truyền nhận thông tin

Khả năng tính toán các giá trị tham số pháo binh

Các giá trị tham số pháo binh được sử dụng để đánh giá độ chính xác của hệ thống phần mềm hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất bao gồm:

- Phần tử bắn đầu tiên (Lieu, GT1, DT, HC);
- Phần tử bắn hiệu lực (GT2, LSH);
- Lượng tập hỏa (Khẩu 2, Khẩu 3, Khẩu 4);
- LSR và phần tử lấy lên pháo (Lieu, GT, DT2, DH).

Để đánh giá độ chính xác của các giá trị tham số pháo binh ở trên, nhóm nghiên cứu đã xây dựng các bài tập tính toán khác nhau đối với các loại pháo 105mm và pháo 152 - Đ20. Sau đó, đánh giá độ sai khác trong tính toán giữa hệ thống phần mềm với kết quả tính toán bằng tay của các pháo thủ. Kết quả cho thấy, các giá trị tham số pháo binh được tính toán bằng hệ thống phần mềm và pháo thủ chỉ sai khác từ 1 - 2 ligiac (đơn vị tính toán trong Pháo binh). Sự sai khác này là do, quá trình làm tròn giá trị của các pháo thủ khi tra số liệu trong bảng bắn Pháo binh. Bảng 2, minh họa kết quả tính toán các giá trị tham số đối với pháo 105 mm. Trong trường hợp này, một số các giá trị đầu vào như sau

- Phương vị hướng chuẩn: 60 00;
- Tọa độ đài quan sát (X_Q, Y_Q, h_Q): 14100, 30300, 50;
- Tọa độ trận địa (X_F, Y_F, h_F): 10450, 30550, 50;
- Tọa độ mục tiêu (X_M, Y_M, h_M): 17800, 31850, 50;
- Tọa độ điểm nổ (X_N, Y_N, h_N): 17697, 31672, 50;

- Thông tin điều kiện bắn bao gồm tK: 27, Vg:8, PVg: 13 - 00, AP(K): 740, t(L): 27, Chênh (V₀): 0.6.

STT	Tham số	5	Phần mềm	Pháo thủ	Độ lệch
		Lieu	6	6	0
1	Phần tử bắn đầu	GT1	4–30	4 - 31	0 - 01
	tiên	DT	3–00	3 - 00	0
		HC	1–65	1 - 65	0
2	Phần tử bắn hiệu	GT2	4-41	4 - 43	0 - 02
2	lực	LSH	0–21	0 - 21	0
		Khẩu 2	0–08	0 - 07	0 - 01
3	Lượng tập hỏa	Khẩu 3	0 - 14	0 - 13	0 - 01
		Khẩu 4	0 - 21	0 - 19	0 - 02
		Lieu	6	6	0
	LSR và phần tử lấy lên pháo	GT	4 - 30	4 - 31	0 - 01
4		DT2	3 - 00	3 - 01	0 - 01
		DH	8 - 05	8 - 04	0 - 01

Trước đây, trong diễn tập pháo binh, các pháo thủ phải thực hiện giải các bài toán pháo binh dựa trên các máy tính bỏ túi, tra cứu thủ công bảng bắn pháo... cho nên thời gian hiệp đồng giữa các khẩu đội với chỉ huy trận địa và sở chỉ huy thường mất vài phút. Điều đó thực sự làm giảm hiệu quả công tác an toàn, bí mật và tính chính xác của phát bắn. Với hệ thống phần mềm hỗ trợ bắn thử nhanh đã tạo ra một bước ngoặt trong quá trình diễn tập pháo binh mặt đất cấp đại đội hiện nay. Đó là cho phép khả năngxử lý nhanh, tính toán tự động các bài toán pháo binh và ồng bộ hóa quá trình chỉ huy bắn dựa trên sự tích hợp với hệ thống máy truyền thông tin VRP712/S của Tập đoàn Công nghiệp Viễn thông quân đội.

5. Kết luận

Hệ thống phần mềm hỗ trợ bắn thử nhanh cấp đại đội pháo binh mặt đất đã thể hiện tính hiệu quả, tính chính xác, khả năng thực tiễn cao trong việc rút ngắn thời gian xác định phần tử bắn hiệu lực thông qua bắn thử trực tiếp mục tiêu đối với các loại pháo 105mm và pháo 152 - Đ20. Kết quả nghiên cứu này đã thể hiện sự kết hợp chặt chẽ giữa nghiên cứu cơ sở lý thuyết, khảo sát thực tiễn, đánh giá xu hướng phát triển khoa học công nghệ đối với binh chủng pháo binh. Qua đó, góp phần hỗ trợ khả năng tự động hóa trong hoạt động diễn tập pháo binh cấp đại đội, cũng như khả năng ứng dụng các giải pháp công nghệ thông tin trong hoạt động chỉ huy pháo binh nói chung. Đây là tền đề nhóm tác giả tiếp tục hoàn thiện, bổ sung các chức năng nghiệp vụ pháo bình nhằm đảm bảo hệ thống phần mềm có thể hỗ trợ quá trình chỉ huy bắn pháo binh ở nhiều cấp độ khác nhau với nhiều loại pháo khác nhau.

Tài liệu tham khảo

[1]. Binh chủng Pháo binh (2018), Bảng bắn pháo nòng dài 130 M46, Hà Nội.

[2]. Binh chủng Pháo binh (2007), Quy tắc bắn và chỉ huy pháo binh mặt đất, Tập I, NXBQĐND.

[3]. Bộ Tổng tham mưu (2005), Bảng bắn pháo nòng ngắn 105mm (kiểu M2A1, M2A2, M49), NXBQĐND.

[4]. Bộ Tổng tham mưu (2005), Bảng bắn pháo nòng ngắn 122 - Đ30, NXBQĐND.

[5]. Bộ Tổng tham mưu (2005), Bảng bắn pháo nòng ngắn 152 - Đ20, NXBQĐND.

[6]. Trường Sĩ quan Pháo binh (2010), Lý luận chuẩn bị phần tử, NXBQĐND.

[7]. Trường Sĩ quan Pháo binh (2010), Lý thuyết bắn thử, NXBQĐND.

[8]. Tài liệu hướng dẫn sử dụng VRP712/S (2022), Tập đoàn công nghiệp quốc phòng Viettel.

[9]. PostgreSQL 9.0.13 Documentation The PostgreSQL Global Development Group I. Tutorial & II. The SQL Language

[10]. RestSharp Documentation, URL: https://restsharp.dev/intro.html#introduction

Nghiên cứu sự biến thiên của mô hình ứng xử phi tuyến của gối cách chấn cao su cho công trình cầu trong các điều kiện nhiệt độ khác nhau

Nguyễn Quang Chung^{1,2}, Nguyễn Xuân Đại¹, Phạm Đức Phong¹

¹ Học viện Kỹ thuật quân sự, 236 Hoàng Quốc Việt, Bắc Từ Liêm, Hà Nội ² Viện Kỹ thuật công binh, Đường Sa Đôi - Phường Phú Đô - Quận Nam Từ Liêm - Hà Nội.

Tóm tắt

Gối cao su có hiệu quả cao trong bảo vệ kết cấu chịu động đất và được sử dụng rộng rãi cho kết cấu cầu ở khu vực cóđộng đất mạnh. Tuy nhiên, bản chất vật liệu của gối cao su có đặc tính đàn hồi nên bị tác động đáng kể bởi sự thay đổi nhiệt độ môi trường. Hệ quả là ứng xử của thiết bị và phản ứng động đất của công trình cũng thay đổi. Do đó, nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường đến ứng xử phi tuyến của gối cách chấn cao su có ý nghĩa quan trọng nhằm đảm bảo tính toán được hầu hết các tình huống động đất dự kiến. Bài báo mô tả thí nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến ứng xử của gối cách chấn cao su, từ đó xác địnhhệ số hiệu chỉnh mô hình của thiết bị. Kết quả phân tích mô hình kết cấu cầu sử dụng gối cao su trong điều kiện nhiệt độ khác nhau cho thấy, nhiệt độ của môi trường tăng làm tăng chuyển vị ngang và giảm lực cắt trong gối.

Từ khóa:Gối cách chấn cao su, phân tích động đất, ảnh hưởng nhiệt độ, hệ số điều chỉnh đặc tính, mô hình trễ phi tuyến.

1. Mở đầu

Trong các giải pháp thiết kế chống động đất hiện hành áp dụng cho công trình cầu, gối cách chấn (hay còn gọi là cách chấn đáy) được xem là một trong những giải pháp thiết kế chống động đất hiệu quả và giàu tiềm năng nhất nhờ khả năng giảm dao động ấn tượng giúp bảo vệ an toàn kết cấu công trình, chi phí xây dựng lắp đặt và bảo trì bảo dưỡng thấp (mục tiêu xây dựng dài hạn, phát triển bền vững)) [1-5]. Giải pháp này được áp dụng khá sớm vào thiết kế kết cấu cầu, từ những năm 1975, với công trình nổi tiếng là cầu South Rangitikei Rail Bridge ở New Zealand, sau đó được ứng dụng ngày càng rộng rãi tại các nước có động đất mạnh như Nhật Bản, Mỹ, Italia. Cầu Sierra Point Overhead tại Mỹ, được cải tạo và lắp đặt gối cách chấn năm 1985 và an toàn tuyệt đối (không xuất hiện vết nứt, chuyển vị dư) khi chịu động đất có cường độ mạnh Loma Prieta năm 1989. Tính đến năm 2003, có khoảng hơn 300 cây cầu tại Bắc Mỹ (Mỹ, Canada, Mexico, Puerto Rico) được xây dựng có sử dụng giải pháp gối cách chấn đáy [6].

Hiện nay, nhiều loại gối cách chấn đáy được nghiên cứu phát triển và ứng dụng. Các thiết bị này có thể được phân thành hai nhóm thiết bị chính gồm: gối cách chấn đàn hồi (gối cách chấn cao su) và gối cách chấn ma sát. Trong đó, gối cách chấn cao su là thiết bị được ứng dụng rộng rãi nhất và mang lại hiệu quả cao. Thiết bị này có dạng khối trụ tiết diện tròn hoặc chữ nhật, cấu tạo dạng nhiều lớp gồm vật liệu có tính đàn hồi cao (cao su) xen kẽ bởi các lớp thép mỏng gia cường, được kẹp bởi 2 tấm thép dày dùng để neo vào kết cấu. Cao su được lưu hóa và ép chặt vào các lá thép trong khuôn ở nhiệt độ cao tạo ra độ cứng theo phương dọc trục lớn mà không làm thay đổi mô đun đàn hồi khi cắt, do đó không ảnh hưởng đến độ cứng theo phương ngang của thiết bị.

Các đặc điểm chính của gối cách chấn là tạo ra liên kết có tính chất đặc biệt gồm: khả năng chịu lực (độ bền và độ cứng) theo phương thẳng đứng lớn, độ cứng đủ lớn theo phương ngang nhằm đảm bảo ổn định của kết cấu khi chịu tác động của tải trọng theo phương ngang thấp, chẳng hạn như tải trọng gió hoặc động đất nhỏ, đồng thời có độ cứng ngang nhỏ (khả năng biến dạng lớn) khi chịu tác động mạnh của động đất nhằm kéo dài chu kỳ dao động của kết cấu, có khả năng tiêu tán năng lượng để kiểm soát các chuyển vị ngang. Do đó, hầu hết các gối cách chấn đều có ứng xử phi tuyến, như trình bày trong Hình 1 dưới đây.



Hình 1. Ứng xử phi tuyến của gối cách chấn: (a) gối cao su tự nhiên có độ cản thấp [7], (b)gối cao su có độ cản cao [8] và (c) gối cao su lõi chì [9]

Thời gian qua, nhiều nghiên cứu thực nghiệm đã được tiến hành để phân tích và đánh giá mô hình ứng xử của gối cách chấn cao su. Kết quả cho thấy ứng xử phi tuyến của gối cách chấn khá phức tạp và phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau như: công nghệ sản xuất, điều kiện môi trường (nhiệt độ), mức độ nhiễm bụi, mức độ lão hóa, tốc độ biến dạng, số vòng lặp tải trọng, sự tương tác giữa các tính chất cơ học,...Các yếu tố đó có tác động đáng kể đến ứng xử động đất của gối cách chấn cao su. Trong số đó, hầu hết các yếu tố tiêu biểu nhất được nhóm lại gồm nhiệt độ (đặc biệt là nhiệt độ thấp), lão hóa, tính ổn định và khả năng hồi phục. Đặc biệt, yếu tố nhiệt độ môi trường được xem là có tác động đáng kể nhất đến hành vi ứng xử của thiết bị và cần được xem xét, đánh giá chi tiết [10-12]. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến tính chất cơ học của gối cách chấn cao su được xem xét theo hai cách riêng biệt: (a) ảnh hưởng của nhiệt độ phát sinh trong quá trình chuyển động theo chu kỳđến sự biến thiên tính chất cơ học của gối cách chấn, và (b) ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường xung quanh (đặc biệt là nhiệt độ thấp) và của thời gian phơi nhiễm đến các tính chất cơ học của thiết bị.

Đối với gối cao su không có lõi chì, hiện tượng tăng nhiệt là do sự tiêu tán năng lượng trong toàn bộ thể tích vật liệu cao su, tuy nhiên, sự tăng nhiệt độ trong trường hợp này là rất nhỏ và hầu như không có bất kỳ ảnh hưởng đáng kể nào đến tính chất cơ học của thiết bị. Đối với gối cao su có lõi chì, sự tiêu tán năng lượng chủ yếu diễn ra trong lõi chì dẫn đến sự tăng nhiệt đáng kể trong quá trình chuyển động. Trong những chu kỳ dao động đầu tiên, khi nhiệt sinh ra trong lõi chì đư ợc tiêu thụ hoàn toàn để tăng nhiệt độ bên trong, mức tăng nhiệt độ đã được xác định vào khoảng 20°C đến 40°C trong mỗi chu kỳ đối với các điều kiện điển hình. Trong những điều kiện như vậy, các tính chất cơ học của chì (ví dụ: độ bền tối đa và ứng suất chảy hữu hiệu) giảm dẫn đến giảm đáng kể năng lượng tiêu tán trong mỗi chu kỳ. Tuy vậy, hầu hết các nghiên cứu tại Việt Nam chưa đề cập đến vấn đề nhiệt độ và ảnh hưởng của nhiệt độ đến mô hình ứng xử của gối cao su, dẫn đến những thiếu sót đáng kể trong đánh giá hiệu quả giảm chấn của thiết bị đối với kết cấu công trình. Trong phạm vi nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung vào ứng xử của gối cao su cách chấn không có lõi chì trongđi ều kiện nhiệt độ môi trường khác nhau.

2. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến ứng xử của gối cao su

Nhiệt độ môi trường có ảnh hưởng rõ rệt đến tính chất cơ học của gối cách chấn cao su. Nhiệt độ thấp thường làm tăng độ cứng và độ bền đặc trưng ban đầu, sự gia tăng này ở nhiệt độ thấp chủ yếu là do sự thay đổi tính chất của cao su.



Hình 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ cứng của cao su[10]

Các nghiên cứu về các yếu tố ảnh hưởng đến đặc tính của vật liệu cao su đã được thúc đẩy mạnh mẽ trong bối cảnh giải pháp gối cách chấn cao su được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật kháng chấn. Được xem là yếu tố nổi bật nhất, ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ đến tính chất cơ học của gối cách chấn cao su đã thu hút đư ợc sự quan tâm đặc biệt của các nhà nghiên cứu. Nhiều nghiên cứu đã tiến hành thí nghiệm về ứng xử của cao su ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau và nhận thấy cao su sẽ bị cứng lại ở nhiệt độ thấp, dẫn đến tác động đáng kể đến tính chất cơ học của thiết bị [10, 13-15]. Cụ thể, nhiệt độ thấp ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính giảm chấn, giới hạn đàn hồi [16, 17], đặc biệtlà độ cứng của thiết bịkhi đó gần như cao gấp đôi (hoặc cao hơn nữa) so với ở nhiệt độ bình thường [12, 18-20]. Quá trình đông cứng của cao su ở nhiệt độ thấp chủ yếu được xem xét ở hai giai đoạn [11, 20, 21] gồm: quá trình động cứng nhiệt tức thời và hiện tượng kết tinh, như minh họa trongHình 2.

Theo hình vẽ, thời gian t_1 biểu thị quá trình đông cứng nhiệt tức thời đặc trưng cho giai đoạn cân bằng nhiệt độ trong gối cao su. Giữa khoảng thời gian t_1 và t_2 , độ cứng của cao su hầu như không thay đổi. Giai đoạn này về cơ bản phụ thuộc vào nhiệt độ và thành phần hóa học của

cao su. Sau thời gian t_2 , độ cứng tăng theo thời gian tiếp xúc do sự kết tinh của chất đàn hồi. Trong hầu hết các trường hợp, sự biến đổi độ cứng của thiết bị ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau như vậy đều được xác định bằng nghiên cứu thực nghiệm.

3. Mô tả thí nghiệm

3.1.Mô hình thí nghiệm

Các thí nghiệm này được thực hiện bởi thành viên nhóm nghiên cứu và cộng sự tại Canada, trong nỗ lực tìm kiếm giải pháp tiềm năng cho việc cải tạo, sửa chữa và nâng cao khả năng kháng chấn đối với các kết cấu cầu hiện hữu trong vùng động đất trung bình.Các mẫu thử được sử dụng để thí nghiệm là loại mẫu chịu kéo tiêu chuẩn, trong đó bốn khối cao su được liên kết với các thanh thép bằng quá trình lưu hóa ở nhiệt độ cao, áp lực lớn, cung cấp bởi công ty chuyên phát triển gối cầu và khe co giãn Goodco Z-Tech (thuộc tập đoàn Thiết kế và thi công cầu Canam), với hình dạng và kích thước tuân theo các khuyến nghị của tiêu chuẩn ASTM D4014 (xemHình 3).



Hình 3. Mẫu thí nghiệm điển hình

Các khối cao su có kích thước mặt cắt là 25,4 mm x 25,4 mm và độ dày 6,0 mm. Trong phạm vi nghiên cứu này, nhóm tác giả giới thiệu kết quả thử nghiệm đối với hai loại cao su tiêu biểu được sử dụng để chế tạo mẫu thử gồm: cao su tự nhiên có độ cản thấp, độ cứng Shore A-54 (NAT55) - 11 mẫu thử; cao su tự nhiên có độ cản cao loại E (Shore A - 59) - 09 mẫu thử.Các thí nghiệm được thực hiện ở các cấp nhiệt độ khác nhau. Nhóm tác giả trình bày kết quả thí nghiệm ở điều kiện nhiệt độ thông thường (20°C), nhiệt độ thấp (-8°C) nhằm phù hợp với điều kiện nhiệt độ trung bình (mức 20°C) và điều kiện nhiệt độ thấp nhất (mức - 8°C)tại khu vực phía bắc Việt Nam, thời gian mẫu phơi nhiễm ở các mức nhiệt độ là 1 giờ. Công tác chuẩn bị và lắp đặt mẫu thí nghiệm như trong Hình 4.

1095



Hình 4. Công tác lắp đặt mẫu thí nghiệm tại buồng gia nhiệt

Ba chu kỳ chất tải/dỡ tải tuần hoàn được áp dụng bằng cách tăng cấp độ biến dạng theo các mức từ 25% lên 150% với bước tăng 25%, như trongHình 5.



Hình 5. Hàm biến dạng theo thời gian sử dụng trong thí nghiệm

Trong đó, các biên độ biến dạng nhỏ (dưới 50%) được lựa chọn để nghiên cứu thiết bị làm việc trong điều kiện hoạt động, động đất yếu. Các biến dạng lớn (100% đến 150%) thể hiện sự dịch chuyển dự kiến của thiết bị khi chịu các trận động đất từ trung bình đến mạnh. Việc áp dụng ba chu kỳ cho mỗi biên độ xuất phát từ thực tế là số chu kỳ có biên độ cao của một trận động đất thường là một vài chu kỳ, đường cong biến dạng trễ về cơ bản ổn định ở chu kỳ thứ ba và các tính chất của cao su được xác định ở chu kỳ tải này. Các thí nghiệm được tiến hành trong điều kiện hàm chuyển vị theo thời gian được kiểm soát ở tần số 0,5 Hz.

3.2. Kết quả thí nghiệm

Hình 6 trình bày một số kết quả thí nghiệm tiêu biểu của các mẫu thử, với thời gian phơi nhiễm là 1h. Kết quả thí nghiệm thể hiện rõ mô hình ứng xử phi tuyến của cao su khi chịu cắt. Tương ứng với mỗi cấp biến dạng, lực cắt trong mẫu tại nhiệt độ -8°C được tìm thấy cao hơn so với tại 20°C, gợi ý rằng độ cứng (khi chịu cắt) của mẫu thử là cao hơn khi ở nhiệt độ thấp. Ngoài ra, diện tích vòng trễ phi tuyến tại nhiệt độ thấp lớn hơn đáng kể so với tại nhiệt độ cao, giải thích rằng khả năng tiêu tán năng lượng của cao su ở nhiệt độ thấp là tốt hơn (đặc biệt là cao su có độ cản cao)



Hình 6. Ứng xử của mẫu cao su với cấp nhiệt độ khác nhau

3.3.Xác định hệ số hiệu chỉnh

Trong mô hình ứng xử của gối cách chấn cao su, độ cứng (đàn hồi và sau đàn hồi) của thiết bị được tính toán thông qua mô đun chịu cắt, độ bền đặc trưng ban đầu đại diện cho khả năng tiêu tán năng lượng và được xác định thông qua tỷ số cản tương đương của thiết bị[6, 10, 13]. Các hệ số hiệu chỉnh khi kể đến sự thay đổi tính chất cơ học của cao su do ảnh hưởng của nhiệt độ được xác định bằng cách so sánh tương đối mô đun cắt hữu hiệu và tỷ số cản tương đương tại nhiệt độ khảo sát với giá trị ở nhiệt độ tham chiếu 20°C (nghĩa là, xem rằng tại nhiệt độ 20°C, hệ số $\lambda = 1$) theo công thức sau:

$$\lambda_{K_d} = \frac{G_{eff}^T}{G_{eff}^{20^o C}}; \ \lambda_{Q_d} = \frac{\xi_{eq}^T}{\xi_{eq}^{20^o C}}$$
(1)

trong đó, λ_{K_d} , λ_{Q_d} lần lượt là hệ số hiệu chỉnh độ cứng và độ bền ban đầu của gối cao su do ảnh hưởng của nhiệt độ, mô đun cắt hữu hiệu G_{eff} được xác định từ mối quan hệ ứng suất-biến dạng theo công thức sau:

$$G_{eff} = \frac{\tau}{\gamma}; \ \gamma = \frac{\tau}{D}; \ \tau = \frac{F}{S}$$
 (2)

trong đó, τ là ứng suất tiếp do lực cắt gây ra và γ là biến dạng cắt, F là lực đo được từ máy gia tải; D là chuyển vị đo được trong thí nghiệm; S là tổng tiết diện của các phần cao su trên mẫu thử.

Tỷ số cản tương đương (ξ_{eq}) được xác định thông qua năng lượng tiêu tán qua mỗi chu kỳ biến dạng của mẫu thí nghiệm, theo công thức sau:

$$\xi_{eq} = \frac{EDC}{2\pi F_{\max} D_{\max}}$$
(3)

trong đó, EDC là diện tích vòng trễ trong mô hình ứng xử phi tuyến của mẫu, F_{max} và D_{max} lần lượt là lực cắt lớn nhất tương ứng với vị trí chuyển vị lớn nhất đo được của mỗi chu kỳ biến dạng.

Kết quả thí nghiệm và tính toán được thể hiện trong các bảng sau:

ε (%)	G _{eff} (MPa) 20°C	G _{eff} (MPa) -8°C	$\lambda_{_{K_d}}$	ξ _{eq} (%) 20°C	<i>ξ_{eq}</i> (%) -8°C	$\lambda_{\mathcal{Q}_d}$
25	1,063	1,113	1,047	8,180	10,450	1,278
50	0,879	0,900	1,024	6,880	9,290	1,350
75	0,802	0,804	1,002	6,160	8,645	1,403
100	0,771	0,776	1,006	5,685	8,055	1,417
125	0,768	0,796	1,036	5,235	7,370	1,408
150	0,802	0,861	1,074	4,530	5,955	1,315

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm mẫu cao su tự nhiên có độ cản thấp

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm mẫu cao su có độ cản cao

ε (%)	<i>G_{eff}</i> (Мра) 20°С	G _{eff} (Mpa) 8°C	$\lambda_{_{K_d}}$	ξ _{eq} (%) 20°C	ξ _{eq} (%) -8°C	$\lambda_{\mathcal{Q}_d}$
25	0,887	1,310	1,476	10,157	20,026	1,972
50	0,716	1,044	1,458	9,759	19,797	2,029
75	0,637	0,915	1,437	9,386	19,368	2,064
100	0,605	0,845	1,395	8,775	18,151	2,068
125	0,624	0,884	1,416	7,794	15,080	1,935
150	0,750	1,038	1,384	5,847	10,521	1,800

4. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến phản ứng động đất của cầu cách chấn

4.1.Mô hình phân tích kết cấu

- Sơ đồ kết cấu: Kết cấu phía trên gồm 2 nhịp 33m. Mặt cắt ngang cầu gồm 4 phiến dầm I làm bằng bê tông cốt thép dự ứng lực, cường độ 40Mpa, khoảng cách giữa các trục dầm cách nhau 2,1m, chiều cao dầm 1,65m. Trụ cầu là kết cấu dạng trụ đặc thân hẹp, số hiệumặt cắt trụ là ID12 (theo định dạng trong Midas Civil), kích thước tiết diệnHxB = 1,4m x 4m làm bằng bê tông cốt thépB30. Mô hình kết cấu được mô phỏng số bằng cách sử dụng phần mềm Midas Civil, thể hiện như trong Hình 7.



Hình 7. Mô hình tổng thể cầu 2 nhịp sử dụng trong phân tích

- Tải trọng động đất: xem xét kết cấu cầu chịu tác dụng của gia tốc nền tương ứng với phổ phản ứng động đất tại Sơn La, Việt Nam tính toán theo tiêu chuẩn TCVN 11823:2017[22]. Để thực hiện phép phân tích theo lịch sử thời gian, bản ghi gia tốc nền Kobe, hiệu chỉnh theo phương pháp tuyến tính một hệ số [23, 24], được sử dụng để phân tích. Kết quả giản đồ gia tốc sau hiệu chỉnh được thể hiện như trong Hình 8(a). Phổ phản ứng gia tốc đàn hồi của giản đồ gia tốc sau khi hiệu chỉnh được thể hiện trong Hình 8(b) thể hiện thỏa mãn điều kiện khớp phổ phản ứng.





Thông số gối cao su: với kết cấu cầu sử dụng gối thông thường, độ cứng của gối được xác định bằng độ cứng đàn hồi ban đầu của gối cách chấn. Thực tế việc sử dụng giá trị độ cứng này trong phân tích đảm bảo tính lô-gic, do độ cứng này cần thỏa mãn đi ều kiện bền và ổn định trong trường hợp kết cấu chịu các loại tải trọng không phải do động đất (vai trò, chức năng tương tự như gối cầu thông thường). Phần tử gối cầu được khai báo dưới dạng phần tử Elastic Link trong mô hình Midas Civil.Với kết cấu cầu sử dụng gối cách chấn: ứng xử của gối cách

1098

chấn được mô tả dưới dạng vòng trễ phi tuyến với các thông số được định nghĩa trong phần mềm. Phần tử gối cách chấn được khai báo dưới dạng phần tử General Link trong mô hình Midas Civil, như thể hiện trong Hình 7. Các hệ số kể đến ảnh hưởng của nhiệt độ được xác định từ thí nghiệm, từ tham khảo theo quy định của tiêu chuẩn AASHTO và từ các thí nghiệm có sẵn (với các mức nhiệt độ không tiến hành thử nghiệm) được trình bày trong Bảng 3.

Nhiệt độ	$\lambda_{\mathcal{Q}_d}$	$\lambda_{_{K_d}}$	Ghi chú
-8°C	1,395	2,068	Kết quả thí nghiệm
0°C	1,30	1,20	Theo AASHTO (2014)
20°C	1,00	1,00	Theo AASHTO (2014)
30°C	0,98	0,95	Theo Cardone [10]
40° C	0,94	0,92	Theo Cardone [10]

Bảng 3. Hệ số hiệu chỉnh thông số đặc trưng do ảnh hưởng của nhiệt độ

Giới hạn đàn hồi (F_y) của gối cách chấn được tính gần đúng từ mô hình song tuyến tính như sau:



Hình 9. Mô hình ứng xử song tuyến tính

Các thông số của gối cao su cách chấn (có độ cản lớn) được tính toán và sử dụng trong mô phỏng số thể hiện như trongBảng 4.

TT	Dai lurong	Giá trị								
	Dại lượng	-8°C	0 °C	20 °C	30 °C	40 °C				
1	Q _d (kN)	17,09	15,93	12,25	12,01	11,52				
2	K _u (kN/m)	45310,09	26292,12	21910,10	20814,60	20595,49				
3	K _d (kN/m)	453,10	262,92	219,10	208,15	205,95				
4	F _y (kN)	17,09	15,93	12,37	12,01	11,52				

Bảng 4. Các thông số gối cách chấn

Thực tế cho thấy, các biến dạng tại gối cách chấn gây ra bởi nhiệt độ và tải trọng khai thác là rất nhỏ so với tác động của động đất. Do đó, trong phạm vi nghiên cứu này, chúng ta
chấp nhận giả thiết không xem xét đến ảnh hưởng của các tác động không phải động đất đến biến dạng của gối cách chấn.Các mô hình kết cấu được tiến hành phân tích theo phương pháp lịch sử thời gian (phân tích tuyến tính với mô hình sử dụng gối thông thường và phân tích phi tuyến với mô hình sử dụng gối cách chấn).Các giá trị lực cắt và chuyển vị tại đỉnh trụ được sử dụng để đánh giá hiệu quả chống động đất của gối cách chấn. Để nghiên cứu ứng xử của gối cách chấn, giá trị cực trị của lực cắt, chuyển vị ngang, và vòng ứng xử trễ của gối cách chấn được sử dụng để khảo sát.

4.2.Kết quả phân tích

Hiệu quả của gối cách chấn trong việc bảo vệ kết cấu cầu khi chịu động đất được thể hiện thông qua phép so sánh lực cắt và chuyển vị trong trụ cầu giữa mô hình kết cấu cầu sử dụng gối thông thường (gối cố định) và mô hình sử dụng gối cách chấn, như thể hiện trong Hình 10. Theo đó, khi sử dụng gối cách chấn, lực cắt trong trụ giảm khoảng 7,5 lần [Hình 10. (a)], chuyển vị tại đỉnh trụ giảm hơn 50 lần so với kết cấu sử dụng gối cầu thông thường (gối cố định) [Hình 10. (b)].



Hình 10. So sánh lực cắt và chuyển vị tại trụ cầu giữa kết cấu sử dụng gối cách chấn và gối cố định, ở 20°C

Ånh hưởng của nhiệt độ đến phản ứng động đất được thể hiện trên Hình 11(lực cắt động theo thời gian) và Hình 12 (ứng xử phi tuyến của gối cách chấn) với các cấp nhiệt độ -8°C và 40°C, phản ứng động đất tại 20°C được sử dụng để tham chiếu ảnh hưởng của cấp nhiệt thấp nhất và cao nhất trong miền nghiên cứu.



Hình 11. So sánh phản ứng động đất của trụ cầu ở nhiệt độ khác nhau



Hình 12. So sánh phản ứng động đất của gối cách chấn ở nhiệt độ khác nhau

Kết quả cho thấy, nhiệt độ có ảnh hưởng đáng kể đến phản ứng động đất của kết cấu trụ cầu cũng như ứng xử phi tuyến của gối cách chấn. Cụ thể, khi nhiệt độ tăng từ -8°C đến 40°C, lực cắt trong trụ giảm từ 400 kN đến 337 kN (giảm 18,7%). Ngoài ra, ứng xử phi tuyến của gối cách chấn thay đổi rõ rệt khi nhiệt độ tăng từ-8°C lên 40°C. Khi ở nhiệt độ thấp, chuyển vị cực đại của gối nhỏ hơn và lực cắt trong gối cao hơn đáng kể khi so sánh với kết quả tại 40°C. Trong trường hợp phân tích ở trên, sự chênh lệch lực cắt ngang gối trong phản ứng động đất của kết cấu với hai mốc nhiệt độ -8°C và 40°C lên tới 28%, sự chênh lệch chuyển vị ngang gối trong phản ứng động đất của kết cấu với hai mốc nhiệt độ -8°C và 40°C lên tới 20%. Sự chênh lệch này có ý nghĩa quan trọng đối với bài toán thiết kế trong bối cảnh các phân tích về giá trị tới hạn cần được xem xét đến để tính toán thiết kế đảm bảo các điều kiện bền và điều kiện ổn định. Kết quả so sánh phản ứng cực đại của gối cách chấn điển hình với các cấp nhiệt độ khác nhau được thể hiện chi tiết trong Bảng 5.

	Phản ứng động đất của gối cách chấn (phần tử G57)						
Nhiệt độ (°C)	F _{max} (kN)	F _{min} (kN)	D _{max} (kN)	D _{min} (kN)			
-8	29.740	-38.5545	19.334	-37.9393			
0	24.313	-32.8315	19.013	-41.5448			
20	20.927	-29.7596	22.622	-47.6291			
30	20.646	-29.3146	22.020	-48.6517			
40	20.326	-29.0303	22.775	-49.6738			

Bảng 5. So sánh phản ứng cực đại của phần tử gối cách chấn điển hình

Công tác dự đoán sự biến thiên của lực cắt và chuyển vị ngang trong gối theo sự thay đổi nhiệt độ có thể thực hiện bằng cách sử dụng phép hồi quy tuyến tính trên cơ sở các kết quả phân tích sơ bộ. Theo đó, các phương tình h ồi quy với độ tin cậy cao ($R^2 > 85\%$) được thể hiện trong Hình 13.



Hình 13. So sánh giá trị cực trị của phản ứng động đất của gối cách chấn

5. Kết luận và kiến nghị

Gối cao su cách chấn là giải pháp hữu hiệu trong thiết kế chống động đất cho kết cấu cầu và đã được ứng dụng rộng rãi trong thực tế. Kết quả phân tích cho thấy, gối cách chấn có hiệu quả rõ rệt khi làm giảm dao động của kết cấu cầu chịu tải trọng động đất, cụ thể như mô men uốn, lực cắt trong trụ cầu của kết cấu cầu sử dụng gối cách chấn giảm đáng kể, giảm hầu hết chuyển vị tại đỉnh trụ so với trường hợp sử dụng gối thông thường. Các biến dạng do tác động của động đất gây ra đối với kết cấu cầu cách chấn tập trung chủ yếu tại vị trí gối cách chấn, do đó các bộ phận kết cấu chính (trụ cầu) được bảo đảm an toàn.

Tính chất cơ học của gối cách chấn cao su bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi nhiệt độ môi trường. Kết quả thí nghiệm thể hiện rõ mô hình ứng xử phi tuyến của cao su khi chịu cắt và sự phụ thuộc đáng kể vào điều kiện nhiệt độ của gối cách chấn cao su. Tại điều kiện nhiệt độ thấp, cao su có hiện tượng đông cứng dẫn đến tăng lực cắt và giảm chuyển vị trong phản ứng động đất của công trình. Ngoài ra, diện tích vòng trễ phi tuyến tại nhiệt độ thấp lớn hơn đáng kể so với tại nhiệt độ cao, gợi ý rằng khả năng tiêu tán năng lượng của cao su ở nhiệt độ thấp là tốt hơn (đặc biệt là cao su có độ cản cao). Trong trường hợp phân tích ở trên, sự chênh lệch trong phản ứng động đất của kết cấu với hai mốc nhiệt độ -8°C và 40°C lên tới 28%. Sự chênh lệch này có ý nghĩa quan trọng đối với bài toán thiết kế trong bối cảnh các phân tích về giá trị tới hạn cần được xem xét đến.

Trong khuôn khổ nghiên cứu này, các hệ số hiệu chỉnh đặc tính của gối cao su được lấy từ kết quả thực nghiệm thu được cho thấy mỗi loại cao su đều có hệ số riêng. Vì vậy, cần tiến hành các nghiên cứu thực nghiệm sâu hơn để xác định các yếu tố phù hợp để áp dụng tại Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- M.C. Constantinou, A. Whittaker, Y. Kalpakidis, D. Fenz, G.P. Warn, "Performance of seismic isolation hardware under service and seismic loading", *Technical Rep. No. MCEER-07*, 12, 2007.
- [2]. L. Guizani, Sur l'isolation sismique des ponts au Canada, 10e Colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les ouvrages d'art, 2003.
- [3]. JSSI, The Japan Society of Seismic Isolation, 2015.
- [4]. N. Makris, "Seismic isolation: Early history", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 48, 269-283, 2019.

- [5]. R.L. Mayes, L.R. Jones, T.E. Kelly, M.R. Button, Base isolation concepts for seismic bridge retrofit, Lifeline Earthquake Engineering: *Performance, Design and Construction, ASCE*, pp. 67-81, 1984.
- [6]. I. Buckle, M. Constantiou, M. Dicleli, H. Ghasemi, Seismic isolation of highway bridges. MCEER, University at Buffalo, the State University of New York, 2006.
- [7]. N. Velev, J. Fortier, C. Lemay, "Réhabilitation sismique d'un pont existant avec des appuis en élastomères frettés, retour vers l'avenir", *18e colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les ouvrages d'art, Québec, Canada,* 2011.
- [8]. A. Dall'Asta, L. Ragni, "Experimental tests and analytical model of high damping rubber dissipating devices", *Engineering Structures*, 28, 1874-1884, 2006.
- [9]. JINGTONG, Lead rubber bearing for earthquake resistance, in: Products (Ed.), 2023.
- [10]. D. Cardone, G. Gesualdi, "Experimental evaluation of the mechanical behavior of elastomeric materials for seismic applications at different air temperatures", *International Journal of Mechanical Sciences*, 64, 127-143, 2012.
- [11]. C.W. Roeder, J.F. Stanton, T. Feller, "Low-temperature performance of elastomeric bearings", *Journal of Cold Regions Engineering*, 4, 113-132, 1990.
- [12]. A. Stevenson, "The influence of lot emperature crystallization on the tensile elastic modulus of natural rubber", *Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition*, 21, 553-572, 1983.
- [13]. M.C. Constantinou, P. Tsopelas, A. Kasalanati, E.D. Wolff, "Property modification factors for seismic isolation bearings", 1999.
- [14]. A.C. Thompson, A.S. Whittaker, G.L. Fenves, S.A. Mahin, Property modification factors for elastomeric seismic isolation bearings, Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand Society for Earthquake Engineering Upper Hutt, NZ, 2000.
- [15]. J. Rajczyk, M. Rajczyk, Y. Lazarev, P. Rajczyk, D. Kirillova, Elastomer Bearing Modification for Efficient Design, International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering, Springer, pp. 715-726, 2019.
- [16]. C. Shen, F. Zhou, J. Cui, X. Huang, X. Zhuang, Y. Ma, "Dependency test research of mechanical performance of HDR and its parametric value analysis", *Dizhen Gongcheng yu Gongcheng Zhendong(Earthquake Engineering and Engineering Vibration)*, 32, 95-103, 2012.
- [17]. R.-j. Zhang, A.-q. Li, "Experimental study on temperature dependence of mechanical properties of scaled high-performance rubber bearings", *Composites Part B: Engineering*, 190, 107932, 2020.
- [18]. K.N.G. Fuller, J. Gough, A.G. Thomas, "The effectenoperhouse crystallization on the mechanical behavior of rubber", *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 42, 2181-2190, 2004.

- [19]. E.W. Russell, "The crystallization of vulcanized natural rubber at low temperatures", *Transactions of the Faraday Society*, 47, 539-552, 1951.
- [20]. A. Yakut, J.A. Yura, "Parameters influencing performance of elastomeric bearings at low temperatures", *Journal of Structural Engineering*, 128, 986-994, 2002.
- [21]. M.C. Constantinou, A.S. Whittaker, Y. Kalpakidis, D.M. Fenz, G.P. Warn, Performance of seismic isolation hardware under service and seismic loading, 2007.
- [22]. TCVN-11823-3:2017, Vietnam national standard Highway Bridge Design Specification. Ministry of Science and Technology,
- [23]. X. Dai Nguyen, "A proposed method for selecting and scaling recorded seismic accelerations according to TCVN-9386: 2012", *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)-HUCE*, 16, 100-112, 2022.
- [24]. X.Đ. Nguyễn, V.T. Nguyễn, "Hiệu chỉnh giản đồ gia tốc động đất đáp ứng theo tiêu chuẩn Việt Nam", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 3, 69-77, 2021.

Research on the variation of nonlinear behavior of seismic rubber bearings for bridges under different temperature conditions

Abstract

Rubber bearings are highly effective in protecting structures against earthquakes, which are widely used for bridge structures in strong earthquake regions. However, the material nature of rubber bearings has elastic properties so it is significantly affected by variations of environmental temperature. As a result, the behavior of the device and the seismic response of the structure also change. Therefore, studying the influence of environmental temperature on the nonlinear behavior of seismic rubber bearings is important to ensure the calculation of most expected earthquake situations. The article aims to describe an experiment to study the influence of temperature on the behavior of seismic rubber bearings, thereby determining the modification factors of the device. Obtained results of bridge structural models using rubber bearings under different temperature conditions shows that increasing environmental temperature increases horizontal displacement and reduces shear force in the bearing.

Keywords: Rubber seismic isolation bearings, earthquake analysis, temperature effects, characteristic correction coefficient, nonlinear hysteresis model.

Lựa chọn kích thước dải hãm trượt tàu bay Emas đối với cảng hàng không Côn Đảo

KS. Dương Duy Khánh, TS. Nguyễn Văn Hiếu

Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Cảng hàng không Côn Đảo với điều kiện chiều dài đường cất hạ cánh và kích thước dải RESA bị hạn chế, cùng với điều kiện địa hình hai đầu giáp biển, khí hậu phức tạp, nhiều gió quẩn làm khó khăn trong việc thực hiện các hoạt động cất, hạ cánh. Để giảm thiểu tai nạn hàng không của Cảng hàng không Côn Đảo một trong những biện pháp đang được đề xuất và đánh giá cao là biện pháp sử dụng vật liệu EMAS để hãm trượt tàu bay. Giải pháp này giúp thu ngắn kích thước dải RESA, đồng thời mang lại hiệu quả và tính an toàn cao. Báo cáo này tập trung lựa chọn kích thước dải hãm trượt tàu bay EMAS đối với Cảng hàng không Côn Đảo.

Từ khóa: EMAS; RESA.

1. Đặt vấn đề

Cảng hàng không (CHK) Côn Đảo là CHK địa phương thuộc Tổng công ty CHK Việt Nam. CHK Côn Đảo có vị trí kinh tế, chính trị, địa lý đặc biệt quan trọng, là cửa ngõ giao thương của Côn Đảo với đất liền, được sử dụng chung cho hoạt động bay của các tàu bay dân dụng và tàu bay quân sự. CHK Côn Đảo được xếp loại theo tiêu chuẩn dân dụng cấp 3C và xếp loại cấp 2 theo tiêu chuẩn của quân sự. CHK Côn Đảo nằm tại phía Bắc - Đông Bắc đảo Côn Sơn, cách trung tâm thị trấn Côn Đảo 14km, giữa thung lũng, hai bên là núi cao và hai đầu giáp biển, phía Tây CHK tiếp giáp với vịnh Đầm Trầu, từ hòn Tre Nhỏ cao 61m; phía Bắc CHK là các núi Con Ngựa cao 166m, núi Ông Cường cao 248m, núi Đường Chơi cao 157m song song với đường CHC 11/29; phía Nam CHK giáp ruộng lúa, đồi cát, khu dân cư Cỏ Ông, núi Nhà Bàn cao 396m, núi Chúa cao 515m và núi Thánh Giá cao 600m; phía Đông CHK là vịnh Cỏ Ông có hòn Cau.



Hình 1. Tổng mặt bằng CHK Côn Đảo

CHK Côn Đảo có 01 đường cất hạ cánh (CHC) kích thước: 1830m x 30m; Hướng từ: 110° - 290°; Ký hiệu: 11/29; Độ dốc dọc trung bình: 0.023% và độ dốc ngang đường CHC là 1%; Có sức chịu tải: PCN 20/F/B/W/T. CHK Côn Đảo có thể đón các loại tàu bay tầm ngắn như ATR 72, Fokker 70, Bombardier CRJ, Embraer E - Jets.

Hiện nay ở Việt Nam, CHK Côn Đảo là một trong những CHK có điều kiện rất khó khăn đối với điều kiện hãm trượt tàu bay do RESA (Runway End Safety Area) bị hạn chế bởi 2 đầu kè biển. RESA là khu vực đối xứng qua tim đường CHC kéo dài và tiếp giáp với điểm cuối của dải. Nó chủ yếu nhằm mục đích giảm nguy cơ hư hỏng cho một chiếc tàu bay hạ cánh sớm hoặc chạy quá đường CHC. RESA của CHK Côn Đảo sử dụng RESA truyền thống, kích thước khoảng 45 x 90 m, trong đó chiều dài ra đến bờ kè biển khoảng 101m. Kết cấu RESA được xây dựng theo kết cấu truyền thống với các lớp đất đầm chặt K95, K98 và trồng cỏ bên trên.

Với điều kiện chiều dài đường CHC và kích thước dải RESA bị hạn chế, cùng với điều kiện địa hình, khí hậu phức tạp, nhiều gió quẩn sẽ làm tăng thêm khó khăn trong điều kiện thực hiện các hoạt động cất, hạ cánh. Trên cơ sở số liệu khí tượng, thủy hải văn, địa hình, điều kiện khai thác tại khu vực của CHK Côn Đảo, xác suất tàu bay trượt khỏi đường CHC tại CHK Côn Đảo được tính theo công thức mô hình hồi quy logistic của ACRP (Airport Cooperative Research Program) - Chương trình hợp tác nghiên cứu sân bay [1 - 2] do FAA tài trợ. Kết quả tính toán được thể hiện ở Bảng 1, Bảng 2.

Time	Flight	From	Airline	Aircraft	P{LDOR}	P{LDUS}	P{LDVO}
6:35 AM	VN8065	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	4.53E - 07	1.15E - 07	3.56E - 07
6:40 AM	VN1891	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	4.53E - 07	1.15E - 07	3.56E - 07
6:45 AM	QH1047	Ho Chi Minh City (SGN)	Bamboo Airways	E90	4.53E - 07	1.15E - 07	4.42E - 06
7:25 AM	QH1041	Ho Chi Minh City (SGN)	Bamboo Airways	E90	4.53E - 07	1.15E - 07	4.42E - 06
8:00 AM	VN8059	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	4.53E - 07	1.15E - 07	3.56E - 07
8:10 AM	QH1033	Hanoi (HAN)	Bamboo Airways	E90	4.53E - 07	1.15E - 07	4.42E - 06
9:30 AM	VN1893	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	4.53E - 07	1.15E - 07	3.34E - 07
9:50 AM	QH1035	Hanoi (HAN)	Bamboo Airways	E90	4.53E - 07	1.15E - 07	4.14E - 06
10:00 AM	VN1857	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	4.53E - 07	1.15E - 07	3.34E - 07
11:00 AM	VN8067	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	4.53E - 07	1.15E - 07	3.34E - 07

Bảng 1. Xác suất sự cố cho trường hợp hạ cánh tại CHK Côn Đảo với các chuyến bay ngày 28/12/2022

Time	Flight	From	Airline	Aircraft	P{LDOR}	P{LDUS}	P{LDVO}
11:20 AM	QH1043	Ho Chi Minh City (SGN)	Bamboo Airways	E90	4.53E - 07	1.15E - 07	4.14E - 06
12:35 PM	VN8057	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	4.53E - 07	1.15E - 07	3.34E - 07
1:05 PM	VN1859	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	4.53E - 07	1.15E - 07	3.34E - 07
1:35 PM	QH1037	Hanoi (HAN)	Bamboo Airways	E90	4.53E - 07	1.15E - 07	4.14E - 06
3:35 PM	VN8070	Can Tho (VCA)	Vietnam Airlines	AT7	2.95E - 07	7.67E - 08	1.59E - 07
4:05 PM	QH1031	Hanoi (HAN)	Bamboo Airways	E90	2.95E - 07	7.67E - 08	1.97E - 06
4:05 PM	VN1885	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	2.95E - 07	7.67E - 08	1.59E - 07

Bảng 2. Xác suất sự cố cho trường hợp cất cánh tại CHK Côn Đảo với các chuyến bay ngày 28/12/2022

Time	Flight	From	Airline	Aircraft	P{TOOR}	P{TVOR}
6:55 AM	VN8064	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	9.02E - 08	3.06E - 07
7:00 AM	VN1890	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	9.02E - 08	3.06E - 07
7:15 AM	QH1048	Ho Chi Minh City (SGN)	Bamboo Airways	E90	5.15E - 08	6.68E - 08
7:55 AM	QH1038	Hanoi (HAN)	Bamboo Airways	E90	5.15E - 08	6.68E - 08
8:20 AM	VN8058	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	9.02E - 08	3.06E - 07
8:40 AM	QH1044	Ho Chi Minh City (SGN)	Bamboo Airways	E90	5.15E - 08	6.68E - 08
9:50 AM	VN1892	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	9.02E - 08	3.06E - 07
10:20 AM	VN1856	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	9.02E - 08	3.06E - 07
10:25 AM	QH1036	Hanoi (HAN)	Bamboo Airways	E90	5.15E - 08	6.68E - 08
11:20 AM	VN8066	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	9.02E - 08	3.06E - 07
11:50 AM	QH1034	Hanoi (HAN)	Bamboo Airways	E90	5.15E - 08	6.68E - 08
12:55 PM	VN8071	Can Tho (VCA)	Vietnam Airlines	AT7	9.02E - 08	3.06E - 07

1	10	8
---	----	---

Time	Flight	From	Airline	Aircraft	P{TOOR}	P{TVOR}
1:25 PM	VN1858	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	9.02E - 08	3.06E - 07
2:05 PM	QH1042	Ho Chi Minh City (SGN)	Bamboo Airways	E90	5.15E - 08	6.68E - 08
3:55 PM	VN8056	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	6.36E - 08	2.76E - 07
4:30 PM	VN1884	Ho Chi Minh City (SGN)	Vietnam Airlines	AT7	6.36E - 08	2.76E - 07
4:35 PM	QH1032	Hanoi (HAN)	Bamboo Airways	E90	3.63E - 08	6.03E - 08

Qua các số liệu tính toán, có thể đánh giá sơ bộ rằng xác suất tàu bay cất cánh trượt ra khỏi mép đường CHC là cao nhất trong các trường hợp sự cố cất cánh và xác suất sự cố đối với trường hợp cất cánh của CHK Côn Đảo lớn hơn so với mức độ mục tiêu an toàn TLS (Target level of safety) theo khuyến nghị của Tổ chức hàng không dân dụng quốc tế ICAO là 5x10⁻⁹ [3].

Dữ liệu về các lần tàu bay trượt khỏi cuối đường CHC trong khoảng thời gian 12 năm (1975 đến 1987) trên thế giới [4] chỉ ra rằng trong khoảng 90% các sự cố đã xảy ra, tàu bay lao ra khỏi cuối đường CHC với vận tốc 70 hải lý/giờ (129,64 km/h) trở xuống và hầu hết đều dừng lại trong khoảng cách dưới 304,8 mét tính từ điểm cuối của đường CHC. Đối với những sân bay không có RESA, tàu bay có thể vượt qua tường rào, va chạm với những công trình hạ tầng, địa hình xung quanh sân bay gây hư hỏng tàu bay, uy hiếp an toàn tính mạng con người. Đối với những sân bay có RESA truyền thống, lực hãm quá lớn của đất đầm trong điều kiện thời tiết bất lọi có thể khiến tàu bay gãy đổ càng đáp, hư hại động cơ, thân vỏ, ảnh hưởng đến sự an toàn của con người trên tàu bay.

Để giảm thiểu tai nạn hàng không của CHK Côn Đảo một trong những biện pháp đang được đề xuất và đánh giá cao là biện pháp sử dụng vật liệu EMAS để hãm trượt tàu bay. Giải pháp này giúp thu ngắn kích thước dải RESA, đồng thời mang lại hiệu quả và tính an toàn cao. Đây là một trong những giải pháp áp dụng cho các sân bay có điều kiện khai thác đặc biệt (đường CHC ngắn, dải RESA ngắn, địa hình cao, đầu giáp biển, gió giật mạnh...) được Cục hàng không Liên bang Mỹ FAA và Tổ chức hàng không dân dụng quốc tế ICAO khuyến cáo thực hiện. Báo cáo này sẽ tập trung vào việc lựa chọn kích thước dải hãm trượt tàu bay EMAS đối với CHK Côn Đảo.

2. Cơ sở lý thuyết

Theo tài liệu AC No: 150/5220 - 22B Engineered Materials Arresting Systems (EMAS) for Aircraft Overruns - Hệ thống hãm giữ tàu bay do FAA phát hành ngày 27/9/2012, hệ thống EMAS được đặt ở cuối đường CHC và nằm giữa theo trục của đường CHC kéo dài với một khoảng lùi so với vị trí cuối đường CHC để tránh hư hại do tia phụt phản lực từ động cơ tàu bay. Khoảng lùi này sẽ thay đổi tùy thuộc vào khu vực lắp đặt hiện có và loại vật liệu sử dụng để thiết kế hệ thống EMAS.

Trong trường hợp diện tích hiện có dài hơn yêu cầu để lắp đặt hệ thống EMAS tiêu chuẩn (được thiết kế để hãm giữ tàu bay ở tốc độ thoát 129,64 km/h), EMAS nên được đặt càng xa đầu đường CHC càng tốt. Việc bố trí như vậy làm giảm khả năng hư hỏng hệ thống do sự cố

trượt khỏi đầu đường CHC khoảng cách ngắn hoặc hạ cánh vượt ngưỡng và dẫn đến chi phí lấp đặt hệ thống thấp hơn khi tận dụng khả năng giảm tốc của khu vực an toàn đường CHC hiện có. Hệ thống EMAS không nhằm đáp ứng mục đích và tiêu chuẩn về dài hãm phanh đầu như được đề cập trong TCVN 11364:2016 - Sân bay dân dụng - Đường cất hạ cánh - Yêu cầu thiết kế. Chiều rộng tối thiểu của EMAS phải bằng chiều rộng của đường CHC (chưa kể bề rộng vuốt nếu cần). Ngoài ra, chiều rộng tối thiểu của EMAS (không bao gồm phần vuốt) phải dựa trên tiêu chuẩn về chiều rộng đường băng đối với nhóm tàu bay thiết kế tại TCVN 11364:2016 - Sân bay dân dụng - Đường cất hạ cánh vuốt) phải dựa trên tiêu chuẩn về chiều rộng đường băng đối với nhóm tàu bay thiết kế tại TCVN 11364:2016 - Sân bay dân dụng - Đường cất hạ cánh - Yêu cầu thiết kế.

Ở mức tối đa có thể, EMAS phải được thiết kế để giảm tốc độ cho tàu bay thiết kế với tốc độ thoát 129,64 km/h mà không tạo ra lực tác động vượt quá giới hạn thiết kế của tàu bay, gây hư hỏng cấu trúc hoặc tác động lực quá mức lên người trên tàu bay. Khi không có đủ RESA để lắp đặt EMAS tiêu chuẩn, hệ thống phải được thiết kế để đạt được khả năng giảm tốc tối đa của tàu bay thiết kế trong khu vực an toàn đường băng có sẵn. Tuy nhiên, tốc độ thoát tối thiểu 74,08 km/h phải được sử dụng để thiết kế EMAS phi tiêu chuẩn.



Hình 1. Khu vực RESA tiêu chuẩn và EMAS tiêu chuẩn



Hình 2. Các thành phần điển hình của hệ thống EMAS

3. Lựa chọn kích thước dải EMAS

CHK Côn đảo hiện nay đang khai thác hai loại tàu bay chính là ATR - 72 và EMBRAER195. Những thông số cơ bản của hai loại tàu bay được thể hiện trong Bảng 2.

STT	Thông số kỹ thuật	ATR72	Embraer195
1	Số chỗ	72 - 90	106
2	Såi cánh	27,1 m	36.24 m
3	Chiều dài	27,2 m	38.65 m
4	Chiều cao	7,7 m	10.28 m
5	Trọng lượng cất cánh tối đa	22.500 kg	52.290 kg
6	Tốc độ tối đa	509 km/h	890 km/h

Bång 2. Thông số cơ bản tàu bay ATR - 72 và EMBRAER195 [5 - 6]

Lựa chọn hai mẫu tàu bay thiết kế là CRJ - 200 (24,04 T) và DC - 9 (51,70 T) có trọng lượng toàn bộ tương đương với trọng lượng cất cánh tối đa của hai tàu bay hiện đang khai thác tại CHK Côn Đảo lần lượt là ATR72 (22,50 T) và EMBARAER195 (52,29 T). Theo tài liệu AC No: 150/5220 - 22B Engineered Materials Arresting Systems (EMAS) for Aircraft Overruns của FAA, Hình 4 và 5 thể hiện mối quan hệ giữa tốc độ thoát tối đa của tàu bay và chiều dài dải EMAS đối với hai mẫu tàu bay là CRJ - 200 và DC - 9.

Dải EMAS tiêu chuẩn phải được thiết kế để giảm tốc độ cho tàu bay thiết kế với tốc độ thoát 129,64 km/h (70 knots). Tra cứu theo biểu đồ Hình 4 và 5, xác định được chiều dài dải EMAS tiêu chuẩn ứng với hai loại tàu bay CRJ - 200 và DC - 9 lần lượt là 325ft (99m) và 378ft (115m). Tuy nhiên dải RESA của CHK Côn Đảo chỉ có chiều dài 90 m (295 ft). Do vậy, dải EMAS của CHK Côn Đảo cần phải được thiết kế phi tiêu chuẩn với tốc độ thoát tối thiểu là 74,08km/h (40 knots).

1111

Mẫu tàu bay CRJ-200 Trọng lượng toàn bộ: 24,04 tấn

Quy đổi đơn vị tinh: • 1 knots = 1,852 km/h • 1 ft = 0,3048 mét



Hình 4. Biểu đồ quy hoạch hệ thống EMAS đối với mẫu tàu bay CRJ - 200 [4]



Chiều đải EMAS bao gồm một đoạn đốc dẫn vào đải 22,86 m. Khoảng lùi 10,6 m có thể được sử dụng để cải thiện hiệu suất cho các dải an toàn ngắn.
 Các điều kiện thiết kế tiêu chuẩn bao gồm không có lực đẩy ngược và hệ số ma sát phanh 0,25.

Hình 5. Biểu đồ quy hoạch hệ thống EMAS đối với mẫu tàu bay DC - 9 [4]

Với chiều dài dải RESA là 90m, tra cứu theo Hình 4 và 5, xác định được tốc độ thoát tối thiểu đối với hai mẫu tàu bay CRJ - 200 và DC - 9 lần lượt là 64 knots (118,528 km/h) và 54 knots (100km/h) đảm bảo lớn hơn tốc độ thoát tối thiểu là 40 knots (74,08 km/h). Từ đó nhóm tác giả đề xuất kích thước dải EMAS cho CHK Côn Đảo như sau:

- Khoảng lùi: 0m
- Đoạn dốc dẫn vào dải: 22,86m
- Chiều rộng (chưa tính đến đoạn vuốt dốc hai bên): 45m
- Tổng chiều dài: 90m

4. Kết luận

CHK Côn Đảo với điều kiện chiều dài đường CHC và kích thước dải RESA bị hạn chế, cùng với điều kiện địa hình, khí hậu phức tạp, nhiều gió quẩn làm cho khó khăn trong việc thực hiện các hoạt động cất, hạ cánh.

Để giảm thiểu tai nạn hàng không của CHK Côn Đảo một trong những biện pháp đang được đề xuất và đánh giá cao là biện pháp sử dụng vật liệu EMAS để hãm trượt tàu bay. Giải pháp này giúp thu ngắn kích thước dải RESA, đồng thời mang lại hiệu quả và tính an toàn cao. Đây là một trong những giải pháp áp dụng cho các sân bay có điều kiện khai thác đặc biệt (đường CHC ngắn, dải RESA ngắn, địa hình cao, đầu giáp biển, gió giật mạnh...) được Cục hàng không Liên bang Mỹ FAA và Tổ chức hàng không dân dụng quốc tế ICAO khuyến cáo thực hiện.

Với kích thước dải RESA là 45 x 90m, nhóm tác giả đề xuất dải EMAS của CHK Côn Đảo được thiết kế phi tiêu chuẩn với kích thước 45 x 90m với khoảng lùi bằng 0 và đoạn dốc dẫn vào dải là 22,86m.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Airport Cooperative research program (2008). Analysis of Aircraft Overruns and Undershoots for Runway Safety Area. ACRP report 3.
- [2]. Airport Cooperative research program (2011). Improved Models for Risk Assessment of Runway Safety Areas. ACRP report 50.
- [3]. International Civil Aviation Organization (2002). Doc 9754 AN/934. Second Edition.
- [4]. Federal Aviation Administration. (2012, September 27). AC 150/5220 22B Engineered Materials Arresting Systems (EMAS) for Aircraft Overruns.
- [5]. https://vi.wikipedia.org/wiki/ATR_72
- [6]. <u>https://vi.wikipedia.org/wiki/Embraer_E Jets</u>

Selecting the Size of Engineered Material Arresting System for Con Dao Airport

Abstract:

Con Dao Airport has limited runway length and RESA size, along with terrain conditions at both ends of the runway adjacent to the sea, complex climate and lots of wind making it difficult for performing takeoff and landing operations. To reduce aviation accidents at Con Dao Airport, one of the measures being proposed and highly appreciated is the use of Engineered Material Arresting System. This solution helps shorten the RESA size, while also providing high efficiency and safety. This report focuses on selecting the size of the Engineered Material Arresting System for Con Dao Airport.

Keywords: EMAS; RESA.

Đánh giá ảnh hưởng của rãnh kháng trượt đến chiều dày lớp nước trên mặt đường cất hạ cánh sân bay trong điều kiện trời mưa

KS. Nguyễn Hữu Lâm^{1*}, TS. Nguyễn Văn Hiếu¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt:

Trong quá trình khai thác, mặt đường cất hạ cánh sân bay có thể gặp tình huống trời mưa, tạo ra một lớp nước mỏng chảy trên bề mặt. Lớp nước này làm giảm khả năng dính bám giữa bánh lốp của máy bay với mặt đường và có thể gây ra hiện tượng trượt thủy lực (bánh xe hoàn toàn không còn tiếp xúc với mặt đường), dẫn đến mất khả năng điều khiển máy bay. Giải pháp xẻ rãnh kháng trượt trên bề mặt đường cất hạ cánh giúp tăng độ nhám trong điều kiện mặt đường ẩm ướt đồng thời tăng khả năng thoát nước mặt, giảm chiều dày lớp nước trên mặt đường khi trời mưa. Trong bài báo, tác giả xây dựng và phân tích mô hình số bằng phương pháp phần tử hữu hạn, sử dụng phần mềm Ansys Fluent để tính toán, xác định ảnh hưởng của kích thước hình học rãnh kháng trượt tới chiều dày lớp nước trên mặt đường cất hạ cánh sân bay khi gặp trời mưa.

Từ khóa: rãnh kháng trượt, chiều dày lớp nước, trượt thủy lực

1. Đặt vấn đề

Trong quá trình vận hành, khai thác Cảng hàng không - sân bay (CHK - SB), một vấn đề quan tâm rất lớn đó là sự an toàn máy bay. Một trong những yếu tố quan trọng gây ra tai nạn khi máy bay di chuyển trên mặt đường cất hạ cánh (CHC) là sự thiếu ma sát giữa lốp và mặt đường. Khi trời mưa, mặt đường CHC bị ẩm ướt và có thể xuất hiện lớp nước mỏng trên bề mặt dẫn đến ma sát giảm mạnh, từ đó có thể xảy ra tai nạn trượt bánh, hiện tượng đó gọi là trượt thủy lực. Trên thế giới, thống kê 100 vụ tai nạn máy bay từ năm 1958 đến năm 1993 xảy ra do khả năng chống trượt của mặt đường không đủ (Costello, 2000). Benedetto (2002) thống kê một số sự cố chết người do máy bay trượt thủy lực trên đường băng từ năm 1971 đến năm 1999, đặc biệt như sự cố của chiếc Boeing B727 - 225 tại sân bay JFK, New York, Hoa Kỳ năm 1975, nơi có 115 người tử vong trong tổng số 124 hành khách trên máy bay. Tại Việt Nam, năm 2020 CHK Tân Sơn Nhất có ghi nhận hiện tượng máy bay trượt ra khỏi đường băng, gây hư hỏng nặng hệ càng, nguyên nhân trực tiếp được cho là do trời mưa lớn.

Nghiên cứu về khả năng chống trượt của mặt đường bắt đầu từ những năm 1920 và kể từ đó, các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào đo lường và dự đoán chính xác hệ số ma sát khô và ma sát ướt của mặt đường, đồng thời xác định mối quan hệ giữa chiều dày lớp nước trên bề mặt, vận tốc của máy bay dẫn đến trượt thủy lực. Theo đó, hiện tượng trượt thủy lực xảy ra khi lớp nước trên bề mặt hình thành đủ lực nâng khiến cho bánh lốp máy bay không còn tiếp xúc với mặt đường. Việc sử dụng tham số chiều dày lớp nước trong việc đánh giá khả năng xảy ra trượt thủy lực đã được nhiều nhà khoa học sử dụng, được chấp nhận sử dụng trong nghiên cứu cũng như quản lý vận hành tại sân bay. Tổ chức hàng không dân dụng thế giới ICAO đưa ra khuyến cáo chiều dày lớp nước tối đa cho phép trên mặt đường CHC là 3.0mm (ICAO,2013). Lượng mưa lớn sẽ dẫn đến sự tích lũy nước trên bề mặt đường và làm gián đoạn các hoạt động cất, hạ cánh của máy bay. Vì vậy cần phải có nghiên cứu chính xác, cụ thể để xác định chiều dày lớp nước trên bề mặt đường CHC dưới các điều kiện thời tiết, từ đó để đánh giá mức độ an toàn cho phép, cũng như đưa ra các biện pháp để giảm thiểu khả năng xảy ra trượt thủy lực.

Các nghiên cứu xác định chiều dày lớp nước trên bề mặt đường CHC trong điều kiện trời mưa được chia thành hai dạng: nghiên cứu mô hình thực nghiệm và mô hình thủy động lực học. Nghiên cứu thực nghiệm sử dụng phân tích hồi quy các dữ liệu thí nghiệm để xác định chiều dày lớp nước (Ross and Russam, 1968; Officials, 2011; Gallaway et al., 1979; Chesterton et al., 2006). Một số nghiên cứu được thực hiện bằng cách phát triển các mô hình lý thuyết dựa trên các đặc trưng hình học của mặt đường như độ dốc, độ nhám thô, nhám mịn, chiều dài dòng chảy. Năm 2019, các nhà nghiên cứu Trung Quốc Lou và Li đã đưa ra mô hình nghiên cứu lý thuyết cho ra kết quả tương đối trùng với các kết quả thực nghiệm mô hình Gallaway và mô hình PAVDRN. Tương tự, năm 2021 Han cũng đưa ra một mô hình dựa trên các yếu tố hình học của mặt đường để xác định chiều dày lớp nước trong các trận mưa có cường độ khác nhau. Những công thức lý thuyết này đơn giản, dễ áp dụng và được công nhận rộng rãi tuy nhiên các mô hình lý thuyết còn chưa xét đến các yếu tố vật lý cơ bản và sự tương tác phức tạp trong việc xác định chiều dày lớp nước.

Trong các nghiên cứu có kể đến mô hình động học mưa - dòng chảy với ưu thế có thể xác định được sự phân bố nước mưa trên bề mặt. Phương trình 2 chiều 2D SWEs thường được sử dụng trong xác định dòng chảy tự do trên bề mặt đường CHC nhưng nó vẫn chưa tính được các yếu tố động học của mặt đường được xẻ rãnh nhám.

2. Phương pháp

Trong bài báo này tác giả sử dụng phương pháp mô phỏng số kết hợp các dữ liệu thí nghiệm tham khảo để tính toán sự phân bố nước mưa trên bề mặt đường CHC có xẻ rãnh nhám.

2.1. Các phương trình thủy động lực học

Các phương trình động học dòng chảy mặt với bài toán phẳng:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} = R + S_b + S_f + S_w \tag{1}$$

$$Q = \begin{bmatrix} h \\ uh \\ vh \end{bmatrix} F = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + \frac{1}{2}gh^2 \\ uvh \end{bmatrix} G = \begin{bmatrix} vh \\ uvh \\ uvh \\ u^2h + \frac{1}{2}gh^2 \end{bmatrix}$$
(2)

$$R = \begin{bmatrix} I \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} S_{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ -gh\frac{\partial b}{\partial x} \\ -gh\frac{\partial b}{\partial y} \end{bmatrix} S_{f} = \begin{bmatrix} 0 \\ -C_{f}u\sqrt{u^{2}+v^{2}} \\ -C_{f}v\sqrt{u^{2}+v^{2}} \end{bmatrix} S_{w} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{C_{Dx}\rho_{a}}{\rho}u_{w}\sqrt{u_{w}^{2}+v_{w}^{2}} \\ \frac{C_{Dy}\rho_{a}}{\rho}u_{w}\sqrt{u_{w}^{2}+v_{w}^{2}} \end{bmatrix}$$
(3)

$$C_{Dx} = \begin{cases} 0.0012 \ (u_{w} < 7) \\ 0.0012 \times \left(1 + \frac{u_{w} - 7}{18}\right) (7 \le u_{w} \le 25) \\ 0.0024 \ (u_{w} > 25) \end{cases}$$
(4)

trong đó:

x, y : tọa độ,

t: thời gian,

Q : vector biểu thị bảo toàn dòng chảy,

F, G : vector thông lượng theo phương x, y,

R : tham số cường độ mưa,

 S_b , S_f , S_w : vector độ dốc, độ nhám và tải trọng gió,

u, v: thành phần vận tốc theo phương x, y (m/s),

b : cao độ mô hình,

h : chiều dày lớp nước,

g : gia tốc trọng trường (m/s²),

I : cường độ mưa (m/s),

C_f : hệ số độ nhám,

C_{Dx}, C_{Dy}: hệ số tải trọng gió theo phương x, y,

 $\rho_a: mật độ không khí,$

uw, vw : vận tốc gió, tính ở cao độ 10m so với bề mặt mặt đường (m/s),

 ρ : biểu thị mật độ nước.

Nghiên cứu chủ yếu coi sự thoát nước ngay lập tức khi nước mưa chảy ra khỏi phạm vi đường CHC. Ảnh hưởng của độ nhám mặt đường đến quá trình dòng chảy bề mặt được lấy gần đúng bằng hệ số Manning. Mặc dù sử dụng thuật toán tăng tốc, hiệu quả tính toán vẫn có thể không đáp ứng được yêu cầu về thời gian thực để quản lý rủi ro và ứng phó khẩn cấp. Để giải quyết vấn đề này, chúng tôi dự định phát triển một mô hình thực nghiệm dựa trên một số lượng đáng kể các thí nghiệm số thực tế. Mô hình này sẽ phục vụ như một công cụ có giá trị để bù đấp cho những thách thức về hiệu quả tính toán.

2.2. Các tham số trong thí nghiệm vật lý

Mô hình thí nghiệm có kích thước 4x6m, mặt đường phủ bởi lớp bê tông asphalt dày 5cm. Trong phạm vi 4.8m tính từ mép trên mặt đường có xẻ các rãnh nhám có kích thước 6x6mm, khoảng cách giữa các rãnh nhám bằng 32mm (theo tiêu chuẩn của Cục hàng không Liên bang Mỹ FAA). Độ dốc bề mặt đường là 1.5%, phần lề không xẻ rãnh nhám có chiều rộng 1.2m, độ dốc 2.5%. Để mô phỏng hiện tượng mưa, mô hình được lắp đặt hệ thống 6 vòi phun chia đều trên diện tích mặt. Thời gian của mỗi trận mưa mô phỏng kéo dài 5 phút đảm bảo xuất hiện dòng chảy trên bề mặt thí nghiệm. Cường độ mưa được điều chỉnh thông qua tốc độ phun của vòi, thay đổi trong khoảng từ 600 đến 1100 l/h và được giữ ổn định trong mỗi lần đo. 8 máy đo mưa được đặt trong mô hình nhằm kiểm chứng cường độ mưa của thí nghiệm.

Để xét đến ảnh hưởng của gió, thí nghiệm có sử dụng quạt thổi không khí ở cả vị trí đỉnh và chân mái dốc mặt đường. Sự thiết lập này cho phép tạo ra gió theo các phương khác nhau tương đương gió thổi ngược hoặc xuôi theo dòng chảy. Tốc độ gió được kiểm soát bằng thiết bị đo gió đặt ở độ cao 8cm so với bề mặt. Giá trị tốc độ gió lấy bằng từ 3.05 - 11.5 m/s. Sau một thời gian khai thác rãnh nhám mặt đường sẽ bị hư hỏng, dẫn đến xuất hiện vệt lún. Để mô tả vệt lún hoặc vụn cao su lấp rãnh nhám, xây dựng mô hình tương tự nhưng có ngắt rãnh nhám

rộng 35mm ở khoảng cách 3m tính từ mép trên mặt đường. Các điều kiện về lượng mưa, gió được sử dụng tương tự ở cả hai mô hình. Mô hình rãnh nhám không bị phá hoại gọi là ND (No Deterioration), mô hình rãnh nhám bị phá hoại gọi là DE (Deterioration). Chiều dày lớp nước trên bề mặt được đo tại các vị trí theo phương ngang.

$$\overline{U} = \frac{v_{\rm w}}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \tag{5}$$

trong đó:

K =0.4 là hằng số Von Karman,

U : tốc độ gió ngang,

z₀ : chiều cao đo,

vw: tốc độ gió đo được.



Hình 1: Mô hình thí nghiệm (a); mô hình ND (b); mô hình DE (c)

Hệ số nhám Manning ảnh hưởng lớn đến các kết quả thí nghiệm thủy động lực học. Hệ số nhám cho bê tông thường lấy từ 0.01 đến 0.016 đối với các dòng chảy mặt có chiều dày lớn. Đối với thí nghiệm đo chiều dày lớp nước có chiều dày mỏng thì giá trị hệ số Manning lấy từ 0.012 đến 0.02. Sự điều chỉnh hệ số nhám thay đổi tùy thuộc và điều kiện của thí nghiệm.

$$v = C_f \sqrt{RJ} \tag{6}$$

$$C_f = \frac{1}{n} R^{1/6}$$
(7)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{bh}$$
(8)

$$n = \frac{bh}{Q} \left(\frac{bh}{b+2h}\right)^{2/3} J^{1/2}$$
(9)

trong đó:

n : hệ số nhám Manning,

v : vận tốc ngang trung bình,

Q : lưu lượng trên mặt cắt ngang,

C_f : hệ số độ nhám,

R : bán kính thủy lực,

J : độ dốc bề mặt,

A : diện tích mặt cắt ngang.

2.3. Mô phỏng số

Mô hình mô phỏng số được xây dựng từ những số liệu thiết kế hình học của mặt đường CHC. Mặt đường đối xứng tại tim, dốc từ đỉnh về mép đường, chiều rộng toàn bộ mặt cắt ngang là 70m; trong đó, 30m đầu mỗi bên có độ dốc 1.5%, tiếp sau là lề vật liệu rộng 7.5m, độ dốc 2.0%. Rãnh kháng trượt được xẻ trong phạm vi 27m tính từ tim đường. Thời gian mô phỏng là 3 phút, mô hình có xét đến ảnh hưởng của cường độ mưa, tốc độ gió và sự hư hỏng của rãnh kháng trượt trong quá trình tính chiều dày lớp nước.

Cường độ mưa được giả định theo các cơn mưa lớn, nhỏ khác nhau. Đối với các cơn mưa lớn, cường độ mưa nằm trong khoảng từ 212 đến 303 mm/h, các cơn mưa nhỏ cường độ mưa lấy từ 155 đến 236 mm/h. Bài báo xây dựng 7 kịch bản mưa khác nhau có cường độ từ 150 đến 300 mm/h, số gia mỗi lần là 25 mm/h.

Sự hư hỏng của rãnh kháng trượt được điều chỉnh để đánh giá ảnh hưởng của nó đến chiều dày lớp nước. Theo khuyến nghị của FAA (2016), cần phải tiến hành sửa chữa lại rãnh kháng trượt khi 40% rãnh có độ sâu nhỏ hơn hoặc bằng 3mm. Như vậy, trong quá trình khai thác rãnh kháng trượt có thể giảm độ sâu tối đa là 50% so với thiết kế ban đầu, diện tích vùng có chiều sâu rãnh đảm bảo phải trên 60%. Để mô phỏng sự hư hỏng của rãnh kháng trượt, xây dựng các kịch bản khi chiều dày rãnh kháng trượt lần lượt là 6mm, 5mm, 4mm, 3mm và diện tích vùng rãnh kháng trượt hư hỏng là 0%, 10%, 20%, 30%, 40%.





Bảng 1: Các thông số phân tích

Tham số				Giá trị			
Cường độ mưa (mm/h)	150	175	200	225	250	275	300
Tốc độ gió (km/h)	0		12	28	50		75
Diện tích hư hỏng (%)	0		10	20	30		40
Chiều sâu rãnh (mm)	6		5		4		3

3. Kết quả, thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của cường độ mưa đến chiều dày lớp nước:

Hình mô tả sự phân bố nước trên bề mặt đường CHC với hệ số nhám Manning khác nhau, sử dụng cường độ mưa là 300 mm/h. Theo chiều dọc (cạnh 4m), khi không xuất hiện độ dốc dọc mặt đường thì chiều dày lớp nước là bằng nhau tại các vị trí có cùng khoảng cách đến tim đường.



Hình 3: (a) chiều dày lớp nước với hệ số Manning lớn nhất, (b) chiều dày lớp nước với hệ số Manning nhỏ nhất, (c) phân bố nước trên mặt cắt ngang

Hình 3c mô tả chiều dày lớp nước phân bố trên mặt cắt ngang, chiều dày lớp nước tăng dần từ đỉnh tim đường về phía mép mặt đường. Trong phạm vi 30m tính từ đỉnh tim đường, nhận thấy có sự thay đổi đáng kể chiều dày lớp nước tại vị trí giữa vùng có xẻ rãnh kháng trượt và không xẻ. Điều này cho thấy hiệu quả của việc xẻ rãnh kháng trượt khi làm tăng tốc độ dòng chảy. Tại khu vực mép đường không có xẻ rãnh sự thoát nước diễn ra chậm hơn.

Sự so sánh chiều dày lớp nước ảnh hưởng bởi cường độ mưa được mô tả trong hình 4a. Chiều dày lớp nước thay đổi một cách rõ ràng khi thay đổi cường độ mưa mỗi lần 0.5 mm. Phân tích này chỉ ra các tham số về thời gian và không gian của phân bố nước trong khoảng thời gian mưa kéo dài 180 giây. Khi cường độ mưa giảm dần và mô hình chuyển sang giai đoạn thoát nước, chiều dày lớp nước có xu hướng giảm. Nhận thấy với một sự thay đổi nhỏ trong cường độ mưa sẽ ảnh hưởng lớn tới chiều dày lớp nước.



Hình 4: Chiều dày lớp nước lớn nhất với cường độ mưa khác nhau

3.2. Ảnh hưởng của hư hỏng rãnh kháng trượt đến chiều dày lớp nước

Hư hỏng rãnh kháng trượt được chia thành hai loại: diện tích bị hư hỏng (DA) và chiều sâu rãnh (Gd). Hình 11 thể hiện sự biến đổi chiều dày lớp nước của cơn mưa 300 mm/h tương ứng với 10% DA và 3mm Gd. Sự hư hỏng rãnh kháng trượt ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng thoát nước mặt đường. Tuy nhiên kết quả cho thấy giá trị chiều dày lớp nước lớn nhất vẫn giữ nguyên.



Hình 5: Sự phân bố nước trên mặt cắt ngang có xét đến hư hỏng rãnh kháng trượt

4. Kết luận

Bài báo đã phát triển phương trình động học cho dòng chảy bề mặt có xét đến ảnh hưởng của gió và cường độ mưa. Các phương trình được chỉnh lý theo số liệu thực nghiệm mô phỏng dựa trên các thông số thực tế khai thác của mặt đường CHC. Các nghiên cứu thực nghiệm đã có xét đến các yếu tố trực tiếp ảnh hưởng đến chiều dày lớp nước như cường độ mưa, ảnh hưởng của gió và sự hư hỏng của rãnh kháng trượt. Chiều dày lớp nước trên bề mặt giảm đáng kể khi sử dụng rãnh kháng trượt. Hơn nữa chiều dày lớp nước còn thay đổi rõ ràng khi có sự biến đổi của cường độ mưa.

Chiều dày lớp nước trên bề mặt đường CHC có ảnh hưởng trực tiếp đến hệ số ma sát và có thể gây ra hiện tượng trượt thủy lực. Trong quản lý khai thác CHK - SB cần đảm bảo chiều dày lớp nước bề mặt dưới 3mm, rãnh kháng trượt đảm bảo trên 60% diện tích có chiều sâu rãnh trên 3mm.

Phương pháp phân tích số liệu thực nghiệm đưa ra những số liệu hợp lý với công thức lý thuyết tuy nhiên để đạt được bộ số liệu cần nhiều thời gian và kỹ thuật làm thí nghiệm. Vì vậy, phương pháp thực hiện mô phỏng số là một cách chính xác và hiệu quả để phân tích các tham số trong tính toán chiều dày lớp nước mặt đường.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Administration (FAA), F. A.: Measurement and Maintenance of Skid Resistant Airport Pavement Surfaces, *Federal Aviation Administration (FAA)*, Washington, 2016.
- [2]. Alber, S., Schuck, B., and Ressel, W.: Importance of pavement drainage and different approaches of modelling, *in: Functional Pavements, CRC Press*, 403 406, 2020a.
- [3]. Alber, S., Schuck, B., Ressel, W., Behnke, R., Falla, G. C., Kaliske, M., Leischner, S., and Wellner, F.: Modeling of Surface Drainage during the Service Life of Asphalt Pavements Showing Long - Term Rutting: A Modular Hydromechanical Approach, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020, http://dx.doi.org/10.1155/2020/8793652, 2020b.
- [4]. Chen, X. and Wang, H.: Analysis and mitigation of hydroplaning risk considering spatial temporal water condition on the pavement surface, *International Journal of Pavement Engineering*, http://dx.doi.org/10.1080/10298436.2022.2036988, 2022.
- [5]. Chen, X., Geng, Y., Jiang, Q., Huang, X., and Ma, Y.: Innovative approach for pavement runoff characterization, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31, 04017047, 2017.
- [6]. Chesterton, J., Nancekivell, N., and Tunnicliffe, N.: The use of Gallaway equation for aquaplaning evaluation in New Zealand, *Proc. NZIHT and Transit NZ 8th Annual Conference*,
- [7]. Dreher, R. C. and Horne, W. B.: Phenomena of pneumatic tire hydroplaning, *The National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, 1963

Assess the effect of grooves of airport runway on water film depth induced by rainfall

Abstract:

During the exploitation process, the airport runway may encounter situations where it rains, creating a thin layer of water flowing on the surface. This layer of water reduces the friction between the aircraft's tires and the road surface and can cause hydroplaning (the wheels are completely no longer in contact with the road surface), leading to loss of control of the aircraft. The grooves on the surface of the runway helps increase roughness in wet pavement conditions while also increasing the ability to drain surface water, reducing the thickness of the water layer on the pavement when it rains. In the article, the author builds and analyzes a numerical model using the finite element method, using Ansys Fluent software to calculate and determine the influence of the geometric size of groove on the water film depth.

Keywords: hydroplaning, water film depth, runway.

Dự báo, tính toán ổn định mái dốc doanh trại ở Lâm Đồng, Tây Nguyên có xét đến ảnh hưởng của lượng mưa

Trần Hồng Quân^{1,*},Nguyễn Huy Hiệp ¹,Hoàng Quốc Long¹, Nguyễn Quý Đạt¹

¹Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

*Trần Hồng Quân: Email: tranhongquan2601@gmail.com

Tóm tắt:

Trượt lở đất ở các sườn dốc và mái dốc thường xảy ra vào mùa mưa bão, đặc biệt là những nơi xảy ra mưa to kéo dài. Cùng với sự biến đổi khí hậu, những điều kiện thiên tai bất thường, diễn biến của các hiện tượng trượt lở ngày càng đa dạng và phức tạp. Nội dung bài báo sử dụng phần mềm Plaxis LE vào tính toán ổn định mái dốc gần các doanh trại tại khu vực Lâm Đồng, Tây Nguyên, kể đến ảnh hưởng của hiện tượng mưa dài ngày. Kết quả tính ra hệ số ổn định nhằm dự báo ổn định mái dốc, là một cơ sở để thực hiện các biện pháp an toàn phù hợp nếu cần thiết.

Từ khóa: mái dốc; đất không bão hòa; ổn định doanh trại; tai biến địa chất.

1. Đặt vấn đề

Rất nhiều mái dốc vẫn ổn định trong thời gian dài nhưng sau đó bị phá hủy suốt thời gian mưa bão. Cùng với sự biến đổi khí hậu, những điều kiện thiên tai bất thường, diễn biến của các hiện tượng trượt lở ngày càng đa dạng và phức tạp. Năm 2023, Lâm Đồng ghi nhận 2 vụ sạt lở đất nghiêm trọng như sự cố sạt lở đất, gãy taluy làm chết 2 người tại hẻm 36 Hoàng Hoa Thám (phường 10, Đà Lạt vào tháng 6); ngày 30/7/2023, sựt lở đất trên đèo Bảo Lộc khiến 4 người chết. Trên toàn tỉnh ghi nhận 73 vị trí có nguy cơ bị ngập khi xảy ra mưa lớn, hơn 160 vị trí có thể sạt lở đất. (Theo Báo Lao động ngày 26/02/2024).

Nhiều nghiên cứu cho rằng những phương pháp thông thường dựa vào giả thuyết ứng xử của đất bão hòa để thiết kế, xây dựng mái dốc đất không bão hòa là không phù hợp. Phân tích ổn định mái dốc nên xem xét theo trạng thái động bao gồm những thay đổi môi trường gần mặt đất (mưa, thoát bốc hơi) thay vì phân tích ĩnh như thông thư ờng. Vì vậy, phân tích ổn định mái dốc cần phải xem xét trong một hệ thống đất không bão hòa - bão hòa và đất bão hòa xem như trường hợp đặc biệt của đất không bão hòa. Phần không bão hòa tồn tại áp lực nước lỗ rỗng âm, phần bão hòa tồn tại áp lực nước lỗ rỗng âm, phần bão hòa tồn tại áp lực nước lỗ rỗng dương. Các nguyên lý c ủa cơ học đất không bão hòa nênđư ợc áp dụng để đánh giá ổn định mái dốc cho đúng thực tế bởi vì sự phá hủy mái dốc trong điều kiện đất không bão hòa liên quan chặt chẽ với lượng mưa và lượng nước mưa ngấm vào mái dốc.

Cơ chế dẫn đến phá hủy mái dốc là do áp lực nước lỗ rỗng bắt đầu tăng khi nước mưa bắt đầu ngấm vào đất không bão hòa nằm trên mực nước ngầm và mực nước ngầm ban đầu dâng lên trong suốt thời gian mưa (Hình 1). Quá trình nước mưa ngấm vào mái dốc, xuất hiện các vùng ẩm trước (bão hòa cục bộ), mất đi áp lực nước lỗ rỗng âm và làm giảm độ hút dính trong đất không bão hòa. Do đó, làm sức kháng cắt của đất giảm đến mức nhỏ hơn lực gây cắt huy động dọc theo mặt trượt tiềm năng.



Hình 1. Sơ đồ quá trình ngấm và thoát bốc hơi nước trong tầng đất không bão hòa

Các trường hợp nước mưa ngấm vào mái dốc làm giảm độ hút dính và mực nước ngầm ban đầu dâng lên ảnh hưởng đến sự ổn định của mái dốc được tóm tắt trong các sơ đồ sau (Hình 1.2):





Do đó, việc nghiên cứu - dự báo ổn định mái dốc do ảnh hưởng của mưa dài ngày là cấp thiết.Với sự phát triển của khoa học máy tính, các phần mềm địa kỹ thuật trợ giúp các kỹ sư tính toán ổn định nền móng công trình, ổn định mái dốc theo các điều kiện biên khác nhau. Nội dung bài báo giới thiệu kết quả ứng dụng phương pháp số phần mềm Plaxis LE tính toán ổn định mái dốc gần các doanh trại, kể đến ảnh hưởng của hiện tượng mưa dài ngày tại khu vực Lâm Đồng, Tây Nguyên.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đường đặc trưng đất - nước (Soil - water characteristic curve - SWCC)

Đất không bão hòa là một hỗn hợp của hơn hai pha (thông thường là ba pha gồm: rắn, nước và khí) và có áp lực nước lỗ rỗng là âm (do có áp lực khí lỗ rỗng). Mọi loại đất gần mặt đất, ở môi trường tương đối khô, sẽ chịu áp lực nước lỗ rỗng âm và không bão hòa. Đất không bão hòa hayđ ất có áp lực nước lỗ rỗng âm có thể có mặt trong bất kỳ trầm tích địa chất cơ bản nào đó. Phần lớn các trầm tích đất bề mặt tự nhiên ở độ ẩm tương đối thấp và các loại đất tàn tích do phong hóa là đất không bão hòa. Loại đất không bão hòađư ợc quan tâm trong nhiều nghiên cứu liên quan đến trượt lở là đất tàn tích do phong hóa. Phần lớn các sườn dốc, mái dốc đất được cấu tạo từ đất tàn tích, toàn bộ sườn dốc, mái dốc hay chỉ phần trên mực nước ngầm là đất không bão hòa.



Hình 3. Đường đặc trưng đất - nước (SWCC)

Để xác định sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng âm (độ hút dính) cần thiết lập mối quan hệ giữa độ ẩm và độ hút dính. Mối quan hệ này được gọi là đường cong đặc trưng đất - nước (Soil-water characteristic curve - SWCC) và được dùng phổ biến trong lĩnh vực địa kỹ thuật. Đường cong SWCC thường được biểu diễn dưới dạng mối quan hệ giữa độ bão hòa, độ ẩm trọng lượng hoặc độ ẩm thể tích với độ hút dính (Hình 2). Khả năng thấm nước và sức chống cắt của đất không bão hòa là một hàm của độ hút dính. Do đó, đường cong SWCC được sử dụng để dự đoán hàm thấm và hàm cường độ kháng cắt của đất không bão hòa.

Có nhiều phương pháp xác định đặc tính đường cong SWCC của đất, trong nội dung bài báo sử dụng phương pháp của Fredlund và Xing (1994):

$$\theta = \theta_{s} \left(1 - \frac{\ln(1 + h/h_{r})}{\ln(1 + 1000000/h_{r})} \right) \left[\frac{1}{\ln(e + (h/a)^{n})} \right]^{m}$$
(1)

trong đó: h - cột nước độ hút dính;

h_r- độ hút dính tương ứng với độ ẩm dư;

n- độ dốc tại điểm uốn của đường cong SWCC;

m- độ dốc tại độ ẩm dư; e- cơ số tự nhiên, 2,718;

 θ_s - độ ẩm thể tích bão hòa;

a- hệ số hiệu chỉnh liên quan đến giá trị khí vào.

2.2. Hàm thấm thủy lực

Trong đất bão hòa, hệ số thấm là hàm của hệ số rỗng và thường giả thiết là hằng số khi phân tích các bài toán thấm. Trong đất không bão hòa, hệ số thấm là hàm của hệ số rỗng và độ ẩm của đất. Thay đổi hệ số rỗng trong đất không bão hòa là nhỏ và ảnh hưởng của nó đến hệ số thấm không đáng kể. Tuy nhiên, ảnh hưởng của sự thay đổi độ ẩm có ý nghĩa quyết định hơn. Do đó, hệ số thấm thường được xem là một hàm riêng của độ ẩm thể tích (θ_w). Sự thay đổi độ hút dính ($u_a - u_w$) làm biến đổi độ ẩm thể tích, quan hệ này biểu diễn dưới dạng đường cong SWCC. Vì vậy, hàm thấm của đất không bão hòa thể hiện mối quan hệ giữa hệ số thấm và độ hút dính (Hình 4.5).

Hàm thấm có thể xác định trực tiếp từ các thiết bị đo thấm, gọi là thí nghiệm thấm. Dựa vào đường cong SWCC, hàm thấm thủy lực cũng có thể xác định gián tiếp theo các mô hình thống kê (Childs và Collis-George, 1950; Marsshall, 1958; Kunze và nnk, 1968; Burdine, 1953; Mualem, 1976a; van Genuchten, 1980; Fredlund và nnk, 1994b) và từ các phương trình thực nghiệm (Brooks và Corey, 1964; Leong và Rahardjo, 1997b). Độ chính xác của hàm thấm phụ thuộc vào đường cong SWCC và phương pháp áp dụng. Phương trình thực nghiệm (6.5) của Leong và Rahardjo (1997b) thường được sử dụng nhiều vì nó đơn giản, dễ sử dụng và thể hiện mối tương quan chung nhất của hàm thẩm và đường cong SWCC.

$$k_{\rm w} = k_{\rm s} \Theta^p \tag{2}$$

trong đó, k_w : hệ số thấm không bão hòa; k_s : hệ số thấm bão hòa; p: hệ số hiệu chỉnh tương ứng với độ dốc của hàm thấm; $\Theta = \theta_w / \theta_s$: độ ẩm thể tích chuẩn hóa (không thứ nguyên).

Theo kết quả nghiên cứu của Fredlund và nnk (2001a), hệ số hiệu chỉnh p là một hằng số thay đổi từ 2,4 đến 5,6 cho các loại đất khác nhau. Giá trị p trung bình cho cát: 2,37; sét: 4,34; cát bột: 2,56; sét bột: 3,58. Giá trị p trung bình cho tất cả các loại đất là 3,29.





Hình 4. Đường cong hàm thấm thủy lực

2.3. Thấm không ổn định trong đất không bão hòa

Thấm trạng thái không ổn định, hệ số thấm thay đổi theo thời gian tại mỗi điểm trong đất. Trong đất không bão hòa, do các biến đổi theo không gian của độ hút dính nên hệ số thấm cũng biến đổi theo không gian (không đồng nhất). Một điểm có độ hút dính cao (độ ẩm thấp) sẽ có hệ số thấm nước nhỏ hơn điểm có độ hút dính thấp. Hệ số thấm tại các điểm khác nhau trong đất nhận được từ hàm thấm. Độ lớn của hệ số thấm phụ thuộc vào độ hút dính (độ ẩm).

Dòng thấm nước diễn ra trong mặt cắt ngang mái dốc là dòng thấm hai hướng. Mặt cắt ngang mái dốc chia làm hai đới bão hòa và không bão hòa bởi mặt nước ngầm tự do. Các phân tích thấm giả thiết dòng nước thấm xảy ra trong cả đới bão hòa và không bão hòa do tác dụng của thế truyền động cột nước thủy lực.

Phương trình đạo hàm riêng chủ đạo cho dòng thấm hai hướng, không ổn định như sau (Fredlund và Rahardjo, 1993):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{wx} \frac{\partial h_{w}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{wy} \frac{\partial h_{w}}{\partial y} \right) + q = m_{w}^{2} \gamma_{w} \frac{\partial h_{w}}{\partial_{t}}$$
(3)

$$h_{\rm w} = z + \frac{u_{\rm w}}{\gamma_{\rm w}} \tag{4}$$

trong đó, h_w : cột nước thủy lực; z: cao độ cột nước; u_w : áp lực nước lỗ rỗng; γ_w : dung trọng của nước; k_{wx} , k_{wy} : hệ số thấm nước là một hàm của độ hút dính ($u_a - u_w$) theo hướng x, y; $\partial h_w / \partial_x, \partial h_w / \partial_y$ gradien cột nước thủy lực theo hướng x, y; q: lượng nước mưa ngấm qua biên bề mặt; m: độ dốc của đường cong đặc trưng đất - nước; t: thời gian trôi qua. Đối với trường hợp đẳng hướng, hệ số thấm theo các hướng x và y bằng nhau (tức là $k_{wx} = k_{wy} = k_w$). Do vậy, có thể viết phương trình (3) như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{\rm w} \frac{\partial h_{\rm w}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{\rm w} \frac{\partial h_{\rm w}}{\partial y} \right) + q = m_{\rm w}^2 \gamma_{\rm w} \frac{\partial h_{\rm w}}{\partial_t}$$
(5)

Thấm trong mái dốc bao gồm dòng thấm qua các đới bão hòa và không bão hòa. Dòng thấm qua đất bão hòa được xem là một trường hợp đặc biệt của dòng thấm qua đất không bão hòa. Với phần bão hòa, hệ số thấm kw bằng hệ số thấm bão hòa ks, trong đới không bão hòa, hệ số thấm kw thay đổi theo độ hút dính ($u_a - u_w$). Vì vậy, phương trình thấm chủ đạo (4) có thể dùng để phân tích đồng thời dòng thấm trạng thái không ổn định qua đất bão hòa và không bão hòa. Phương trình dòng thấm chủ đạo có thể giải bằng phương pháp sai phân hữu hạn hay phần tử hữu hạn.

2.4. Sức chống cắt trong đất không bão hòa

Sức chống cắt của đất không bão hòa **th** ờng được xác định bằng phương tình do Fredlund và Rahardjo (1978) đề nghị theo hai biến trạng thái ứng suất pháp thực (σ - u_a) và độ hút dính ($u_a - u_w$) như sau:

$$\tau_{ff} = c' + \left(\sigma_f - u_a\right)_f tg\phi' + \left(u_a - u_w\right)_f tg\phi^b$$
(6)

Trong đó, τ_{ff} : ứng suất cắt trên mặt trượt lúc phá hủy; c': khoảng chặn của đường bao phá hoại Mohr - Coulomb "mở rộng" trên trục ứng suất cắt, ở đó ứng suất pháp thực và độ hút dính lúc phá hoại đều bằng không, nó cũng được gọi là "lực dính hiệu quả"; $(\sigma_f - u_a)_f$. ứng suất pháp thực trên mặt trượt lúc phá hủy; ϕ' : góc ma sát trong liên quan với ứng suất pháp thực $(\sigma_f - u_a)_f$, $(u_a - u_w)_f$: độ hút dính trên mặt trượt lúc phá hủy; ϕ^b : góc biểu thị tốc độ tăng sức chống cắt có quan hệ với độ hút dính $(u_a - u_w)_f$.

Phương tình (4.9) là dạng mở rộng của phương tình sức chống cắt đất bão hòa của Mohr - Coulomb. Các vòng tròn Mohr ứng với điều kiện phá hủy có thể vẽ trên đồ thị ba chiều. Đồ thị ba chiều có ứng suất cắt τ là tung độ và hai biển trạng thái ứng suất ($\sigma_f - u_a$) và $(u_a - u_w)$ là các hoành độ (Hình 4.6).



Hình 5. Mặt bao phá hoại Morh - Coulomb mở rộng cho đất không bão hòa

Mặt phẳng phía trước biểu thị đất bão hòa, tại đó độ hút dính bằng không. Trên mặt phẳng phía trước, trục (σ - u_a) đổi thành trục (σ - u_w), vì khi bão hòa áp lực nước lỗ rỗng sẽ

bằng áp lực khí lỗ rỗng. Vì vậy, phương tình s ức chống cắt đất không bão hòa có một sự chuyển tiếp êm trơn tới phương trình sức chống cắt đất bão hòa.

Mặt bao phá hủy cắt mặt phẳng ứng suất cắt ~ độ hút dính theo một giao tuyến như hình 5. Giao tuyến biểu thị lượng tăng sức chống cắt khi độ hút dính tăng được xác định bởi góc ϕ' . Phương trình giao tuyến như sau:

$$c = c' + \left(u_a - u_w\right)_f tg\phi^b \tag{7}$$

trong đó, *c*: khoảng chặn mặt bao phá hủy Mohr - Coulomb mở rộng trên trục ứng suất cắt tại một độ hút dính xác định, với ứng suất pháp thực bằng không.

Mặt bao phá hủy Mohr - Coulomb mở rộng có thể là mặt phẳng hoặc có thể hơi cong. Mặt bao phá hủy nếu là mặt phẳng, $tg\phi^b$ là hằng số và sức chống cắt được xác định theo phương trình (4.9). Nếu xem mặt bao phá hủy là mặt cong, $tg\phi^b$ thay đổi theo độ hút dính và sức chống cắt được xác định dựa vào đường cong SWCC.

Nhiều phương tình bán thực nghiệm được đề nghị để dự đoán sức chống cắt của đất không bão hòa dựa vào đường cong SWCC. Tuy nhiên, các phương tình sau c ủa Vanapalli và nnk (1996) thường được sử dụng :

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_n - u_a)_f tg\phi' + (u_a - u_w) \left[tg\phi' \left(\frac{\theta_w - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right) \right]$$
(8)

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_n - u_a)_f tg\phi' + (u_a - u_w) \left[(\Theta^{\kappa}) tg\phi' \right]$$
(9)

trong đó, κ : là tham số hiệu chỉnh sao cho giá trị tính toán phù hợp với giá trị đo được. Dựa trên kết quả thống kê từ nhiều loại đất khác nhau, Garven và Vanapalli (2006) đưa ra mối quan hệ thực nghiệm giữa tham số hiệu chỉnh (κ) và chỉ số dẻo của đất (PI) theo phương trình sau:

$$\kappa = -0,0016(PI)^2 + 0,0975(PI) + 1 \tag{10}$$

So sánh phương trình (6) với các phương trình (8), (9) rút ra được quan hệ sau:

$$tg\phi^{b} = \left(\Theta^{\kappa}\right)\left(tg\phi^{\prime}\right) \tag{11}$$

$$tg\phi^{b} = \left(\frac{\theta_{w} - \theta_{r}}{\theta_{s} - \theta_{r}}\right) \left(tg\phi'\right)$$
(12)

Các phương trình (11), (12) cho thấy phương trình (8), (9) là trường hợp mở rộng của lý thuyết Fredlund và nnk (1978). Sự biến đổi của ϕ ' theo độ hút dính có thể suy ra từ đường cong SWCC.

2.5. Nội dung tính toán ổn định mái dốc dưới ảnh hưởng của mưa dài ngày

Sức chống cắt của đất không bão hòa **th** ờng được xác định bằng phương tình do Fredlund và Rahardjo (1978) đề nghị theo hai biến trạng thái ứng suất pháp thực (σ_f -u_a)_f và độ hút dính (u_a - u_w)_f như sau [4, 5, 6, 7]:

$$\tau_f = c' + (\sigma_f - u_a)_f tg\varphi' + (u_a - u_w)_f tg\varphi^b$$
(13)

trong đó: τ_f - ứng suất cắt trên mặt trượt lúc phá hủy;

c'- khoảng chặn của đường bao phá hoại Mohr - Coulomb "mở rộng" trên trục

ứng suất cắt, ở đó ứng suất pháp thực và độ hút dính lúc phá hoại đều bằng không, nó cũng được gọi là "lực dính hiệu quả";

- $(\sigma_f u_a)_f$ ứng suất pháp thực trên mặt trượt lúc phá hủy;
- φ'- góc ma sát trong liên quan với ứng suất pháp thực $(\sigma_f u_a)_f$; $(u_a u_w)_f$ độ hút dính trên mặt trượt lúc phá hủy;

 ϕ^{b} - góc biểu thị tốc độ tăng sức chống cắt có quan hệ với độ hút dính (u_{a} - u_{w})_f.





Hình 6. Sơ đồ cấu tạo mái dốc đất đồng nhất đặc trưng

Hình 7. Các lực tác dụng lên thỏi qua khối trượt trụ tròn

Nhiều phương từnh bán thực nghiệm được đề nghị để dự đoán sức chống cắt của đất không bão hòa dựa vào đường cong SWCC. Tuy nhiên, các phương trình sau của Vanapalli và nnk (1996) thường được sử dụng:

$$\tau_{f} = c' + (\sigma_{n} - u_{a})tg\varphi' + (u_{a} - u_{w})_{f} \left[tg\varphi' \left(\frac{\theta_{w} - \theta_{r}}{\theta_{s} - \theta_{r}} \right) \right]$$
(14)

Hệ số an toàn mái dốc theo phương pháp cân bằng giới hạn có thể được tính từ phương trình cân bằng mô men (F_m) hay cân bằng lực (F_f) như sau (Fredlund và Rahardjo, 1993):

$$F_{m} = \frac{\sum \left[c'\beta R + \left\{ N - u_{w}\beta \frac{tg\varphi^{b}}{tg\varphi^{i}} + u_{a}\beta \left(1 - \frac{tg\varphi^{b}}{tg\varphi^{i}} \right) \right\} Rtg\varphi^{i} \right]}{A_{L}a_{L} + \sum Wx - \sum Nf}$$

$$F_{f} = \frac{\sum \left[c'\beta \cos\alpha + \left\{ N - u_{w}\beta \frac{tg\varphi^{b}}{tg\varphi^{i}} + u_{a}\beta \left(a - \frac{tg\varphi^{b}}{tg\varphi^{i}} \right) \right\} tg\varphi^{i}\cos\alpha \right]}{A_{L} + \sum N.\sin\alpha}$$

$$(15)$$

trong đó: W- tổng trọng lượng của thỏi đất có chiều rộng b và chiều cao h; N- tổng lực pháp tuyến trên đáy thỏi;

S_m- lực cắt phát sinh trên đáy thỏi;

E- lực pháp tuyến tương tác ngang giữa các thỏi (chỉ số L và R lần lượt chỉ bên trái và bên phải của thỏi); X-lực cắt tương tác đứng giữa các thỏi (chỉ số L và R lần lượt chỉ bên trái và bên phải của thỏi);

R- bán kính của mặt trượt tròn hay tayđòn mô me n tương ứng với lực cắt phát sinh S_m của mặt trượt có dạng bất kỳ;

f- độ lệch vuông góc của lực pháp tuyến tính từ tâm quay hoặc tâm mô men;

x- khoảng cách ngang tính từ trục giữa mỗi thỏi tới tâm quay hoặc tới tâm mô men;

a- khoảng cách vuông góc tính từ tổng ngoại lực nước tới tâm quay hoặc tâm momen (chỉ số L và R lần lượt chỉ bên trái và phải của mái dốc);

A- ngoại lực nước tổng (chỉ số L và R lần lượt chỉ bên trái và phải của mái dốc);

α- góc giữa tiếp tuyến qua tâm đáy của mỗi thỏi với phương ngang;

 β - chiều rộng nghiêng của đáy thỏi.

3. Dự báo ổn định mái dốc ở Lâm Đồng, Tây Nguyên có xét đến lượng mưa bằng phần mềm Plaxis LE

Nguyên nhân chính gây ra trượt lở trong vùng Lâm Đồng- Tây Nguyên là địa hình có sườn dốc với độ dốc lớn hơn 25⁰. Lớp vỏ phong hoá khá dày, thảm thực vật phát triển thưa thớt, đồng thời khu vực trượt lở thường có cấu trúc địa chất không thuận lợi, đá gắn kết yếu, dễ rạn nứt, vỡ vụn đưới tác dụng của khí hậu, của nước mưa và nước ngầm cùng với các hoạt động tân kiến tạo là những điều kiện thuận lợi phát triển trượt lở đất đá trong vùng. Mặt khác do con người phá rừng làm nương, rẫy đã phá vỡ môi trường sinh thái tự nhiên ban đầu, vì vậy khả năng giữ nước trên bề mặt địa hình không còn, nên vào mùa mưa lũ, hi ện tượng xâm thực khoét sâu vào địa hình làm mất cân bằng trọng lực, tạo nên nhiều rãnh xói, mương xói hiện đại, dẫn đến trượt lở đất đá, sụt đất, đá đổ, đá rơi.



Hình 8. Sơ đồ phân bố các điểm trượt lở đất đá trên địa bàn Thành phố Đà Lạt, Lâm Đồng

Trượt lở đất đá làm đã vùi lấp nhiều diện tích đất canh tác, sập, nứt võ nhà cửa của nhân dân, phá hỏng các công trình công cộng, làm hư hỏng và phá hủy cơ sở hạ tầng như đường giao thông, vùi lấp rãnh thoát nư ớc, thu hẹp, sạt lở nhiều tuyến đường gây đnh trệ, ách tắc giao thông.

Các yếu tố chính liên quan với hiện tượng trượt lở đất đá là:

- Yếu tố địa chất:

+ Thành phần đá gốc tạo vỏ phong hóa đóng vai tờ quan trọng tạo nên lớp vỏ phong hóa có tính chất cơ lý khác nhau;

 + Các cấu tạo đứt gãy, đới dập võ nứt nẻ kèm theo là cấu trúc thuận lợi cho sự phát triển quá trình trượt lở đất đá

- Yếu tố nhân sinh:

+ Do nhu cầu xây dựng công trình dân dụng và các đường giao thông nên thường phải tạo mặt bằng, tạo nên hệ thống các vách taluy khá cao.

+ Sự giảm nhanh mức độ che phủ thực vật do quá trình khai thác rừng, phá rừng lấy đất làm nương rẫy, cải tạo và chuyển đổi mục đích sử dụng đất.

+ San gạt tạo mặt bằng xây dựng các công trình dân dụng, giao thông; tạo nên hệ thống các vách taluy, phá vỡ sự cân bằng của sườn.

Dựa vào cơ sở lý thuyết đã trình bày ở trên, hiện nay các phần mềm địa kỹ thuật có thể trợ giúp các kỹ sư tính toán ổn định mái dốc có kể đến tác động của hiện tượng mưa to kéo dài. Phần mềm Plaxis LE được phát triển dựa trên phương pháp giải tích, với ưu điểm giao diện đơn giản, thân thiện, có thể áp dụng nhiều mô hình và phương pháp tính khác nhau. Một trong những bài toán cơ bản mà Plaxis LE là tính toán ổn định mái dốc kể đến hiện tượng mưa dài ngày.



Hình 9. Sơ đồ tính toán bài toán ổn định mái dốc gần doanh trại Bảng 1. Thông số địa chất các lớp từ trên xuống

		Đất				
Tên	Tham số	Tàn tính	Cuội sỏi phong hóa	Đá phong hóa		
Trạng thái		Chưa bão hòa	Chưa bão hòa	Chưa bão hòa		
	Lực dính kết, c (kPa)	5	8	15		
Tham số	Góc ma sát trong, φ (độ)	25	25	30		
chống cắt	Góc ma sát trong, φ ^b (độ)	10	10	10		
	Trọng lượng riêng (kN/m ³)	17	18	19,6		

Có hai lớp đất trên cùng: đất tàn tích và đất phong hóa sử dụng đường đặc trưng đất và nước (SWCC) để kể đến sự thay đổi tính chất khi mưa 3 ngày với cường độ mưa 300mm/ngày.



Hình 10. Đường đặc trưng đất - nước (SWCC) của hai lớp đất trên cùng





Hình 11. Hình dạng cung trượt và hệ số ổn định ban đầu Fs=1,454

Hình 12. Hình dạng cung trượt và hệ số ổn định $F_s=1,191$ sau thời gian mưa 2,5 ngày



Hình 13. Hệ số ổn định mái dốc theo thời gian mưa

Kết quả biểu thị trên hình 11, 12: Hệ số ổn định của mái dốc giảm nhanh khi mưa dài ngày, nhỏ hơn 1,2 khi mưa từ 2,2 ngày trở lên, bắt đầu nguy cơ sạt lở [1, 2, 3]. Do đó cần lưu ý cảnh giác khi có những trận mưa kéo dài, đặc biệt trong mùa mưa bão, đất đá thường xuyên có độ ẩm cao.

4. Kết luận

Theo kết quả tính toán hệ số an toàn ổn định mái dốc giảm 1,454 xuống 1,116 sau 3 ngày mưa. Theo tiêu chuẩn ngành [1], mái dốc có nguy cơ sạt trượt khi hệ số an toàn $F_s \le 1,2$. Với sự trợ giúp của phương pháp số, phần mềm Plaxis LE có thể tính toán ổn định mái dốc kể đến ảnh hưởng của lượng mưa dài ngày, có xét đến sự thay đổi khả năng kháng cắt của đất khi độ ẩm thay đổi.

Doanh trại đóng quân gần mái dốc, cần nghiên cứu xem xét ổn định mái dốc khi mưa bão. Bằng thiết bị đo lượng mưa, kết hợp với kết quả tính toán ổn định bằng phần mềm địa kỹ thuật có thể dự báo ổn định mái dốc. Để kết quả chính xác, cần đầu tư nghiên cứu các thiết bị thí nghiệm cho cơ học đất không bão hòa.

Trong tính toán ổn định mái dốc cần tính toán thêm các hiện tượng khác: nước bốc hơi hoặc rửa trôi hình thành các vết nứt. Ngoài ra, khi tính toán đến hiện tượng giá hòa đất cũng là nguyên nhân làm tăng khả năng sạt trượt cũng như quy mô của các vụ sạt trượt. Cần tiến hành bổ sung các nghiên cứu mới dựa trên những quan sát ngoài hiện trường cũng như những lý thuyết mới về cơ học đất/đá.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Tiêu chuẩn ngành 22TCN 171:1987 về Quy trình khảo sát địa chất công trình và thiết kế biện pháp ổn định nền đường vùng có trượt, sụt lở.
- [2]. TCVN 9362:2012 Tiêu chuẩn thiết kế nền nhà và công trình.
- [3]. Châu Ngọc Ấn, 2015, Cơ học đất. Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia thành phố Hồ Chí Minh.
- [4]. D.G.Fredulund, H.Raharjo, Co học đất cho đất không bão hòa. Bản dịch, Nhà xuất bản Giáo dục, 2000.
- [5]. R. Whitlow, 1996. Cơ học đất (Nguyễn Uyên, Trịnh Văn Cương. Bản dịch tiếng Việt). Nhà xuất bản Giáo dục T1, T2.
- [6]. Braja M. Das, 2019. Advanced soil mechanics. Taylor & Francis.
- [7]. Manuals Plaxis LE 2021.

Prediction on slope stability at the military barracks located in Lam Dong, Tay Nguyen, taking into account precipitation rate

Abstract:

Landslide of slopes commonly occurs in rainy season, especially under the condition of extremely heavy rainfall. Due to current climate change issues as well as unforeseeable natural phenomena, scenarios of landslide are becoming more diverse and complex. The article represents the results of slope stability analysis for the case study at the military barracks in Lam Dong, Tay Nguyen using finite element methods taking into account the long-term rainfall phenomenon.

Keywords: slope, unsaturated soils, landslide, military barracks, geological disasters.

Nghiên cứu xây dựng hàm tương quan giữa sức chịu tải với độ sâu vị trí cánh xoắn của cọc ống thép hai cánh xoắn làm việc trong nền cát sạn san hô

Nguyễn Thanh Sang¹, Nguyễn Quý Thành¹

Viện kỹ thuật công trình đặc biệt, Học viện Kỹ thuật quân sự Email: thanhsang.ktqs@lqdtu.edu.vn

Tóm tắt:

Đã có một số nghiên cứu có ý nghĩa lớn và giá trị khoa học cao nhằm xác định ảnh hưởng của các tham số cánh xoắn đến sự làm việc của cọc ống thép trong nền cát sạn san hô. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu xác định hàm tương quan xác định sức chịu tải của cọc với độ sâu vị trí cánh xoắn. Do vậy, kết quả của nghiên cứu của báo cáo là xây dựng hàm tương quan xác định sức chịu tải của cọc ống thép có cánh xoắn khi xét sự thay đổi độ sâu vị trí của 2 cánh xoắn trên thân cọc ống thép. Trên cơ sở đó lựa chọn vị trí hợp lý trong quá trình thiết kế, thi công móng cọc ống thép trên các vùng biển đảo của Việt Nam là một vấn đề có ý nghĩa khoa học và thực tiễn rất lớn.

Từ khoá: Cọc ống thép có cánh xoắn, mô hình Mohr - Coulomb; phần tử hữu hạn, cát sạn san hô.

1. Đặt vấn đề

Tại các đảo xa bờ thuộc tỉnh Khánh Hòa đã và đang tập trung đầu tư xây dựng hệ thống công trình giao thông, bảo đảm hàng hải, hệ thống công trình năng lượng sạch cho các đảo,... Đây là những công trình xây dựng ở vùng nước nông, chịu tác động thường xuyên của điều kiện sóng gió bất lợi và giải pháp móng cọc có diện cản sóng nhỏ, độ bền và ổn định cao là một giải pháp hiệu quả so với giải pháp móng trọng lực hoặc các loại móng khác nhau.

Cọc ống thép có 02 cánh xoắn là loại cọc có cánh xoắn độc lập và không liên tục trên thân cọc. Các vị trí cánh xoắn có thể thay đổi, nên phù hợp trong các trường hợp cọc ngắn đến cọc dài, áp dụng làm cọc chịu lực chính cho móng công trình. Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm trên thế giới đã chỉ ra rằng, với các cọc có tiết diện cọc thay đổi trên thân cọc (cọc vít, cọc có cánh xoắn, cọc có mở rộng mũi) có thể làm tăng diện tích truyền tải của cọc vào nền và do đó làm tăng sức chịu tải của cọc [1]. Đối với cọc ống thép có 2 cánh xoắn có thể làm tăng đáng kể sức chịu tải của cọc so với cọc tròn trơn truyền thống.

Một số tác giả trên thế giới đã có những nghiên cứu và kiến nghị độ sâu của các cánh xoắn trong nền cát thông thường, như Abdrabbo F.M [5],Nguyễn Tương Lai cùng các cộng sự [1] kiến nghị vị trí cánh theo chiều sâu bằng 1/2 đến 4/5 chiều dài của cọc. Nhưng các kết quả nghiên cứu này mới xét đến sự làm việc của cọc khi các cánh xoắn độc lập ở các vị trí nhất định, mà chưa xét đến yếu tố liên tục của các cánh xoắn đó trên toàn bộ chiều sâu cọc. Do vậy, báo cáo trình bày kết quả nghiên cứu xây dựng hàm tương quan giữa sức chịu tải của cọc ống thép có 2 cánh xoắn với độ sâu vị trí cánh xoắn trên thân cọc làm việc trong nền cát sạn san hô là có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2. Cơ sở lý thuyết bài toán nghiên cứu

Cơ sở lý thuyết bài toán nghiên cứu được tác giả sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn. Theo đó, tiến hành xây dựng mô hình số trên phần mềm Plaxis 3D-V2020, sử dụng phần tử khối 3 chiều đối với nền, phần tử tiếp xúc cọc và nền có hệ số chiều dày nhỏ. Đối với cọc dạng ống thép có đặc điểm là chiều dày mỏng (0,016m) và rỗng ở giữa nên việc lựa chọn dạng phần tử mô hình có ảnh hưởng đáng kể đến kết quả tính toán. Trong đó có thể sử dụng phương pháp phần tử khối kết hợp phần tử dầm hoặc phương pháp phần tử vỏ [1]. Đối với nghiện cứu này, tác giả mô hình số theo phương pháp phần tử vỏ để mô hình hoá bài toán nghiên cứu. Theo đó, toàn bô thành coc, nắp coc, mũi coc và cánh xoắn đều được chon dang phần tử vỏ (Plate) trong Plaxis 3D-V2020, các tham số đặc trưng khai báo như cọc thực (Hình 1).



Hình 1. Mô hình số cọc ống thép sử dụng phần tử vỏ

3. Khảo sát mô hình số bài toán nghiên cứu

3.1. Mô hình bài toán khảo sát

Trong phần này, báo cáo thể hiện nội dung kết quả khảo sát bài toán nghiên cứu coc đơn ống thép chịu tải trọng nén và nhổ độc lập tại đỉnh cọc có các thông số thể hiên như Hình 2 và hình 3 sau:



<u>Tải trọng</u>: Nén và nhố tại đầu cọc.

3.1.1. Mô hình nền cát san san hô

- Mô hình nền: Nền bão hoà nước theo mô hình đàn dẻo lý tưởng Mohr Coulomb.
- Tham số nền: Nền hỗn hợp cát, cành nhánh có các tham số được trích dẫn từ các kết

1135

quảđã nghiên cứu của tác giả như Bảng 1. Trong đó, do chiều sâu cọc từ 9m đến 18m không lớn, nên Mô đun biến dạng giả thiết là hằng số trên toàn bộ chiều sâu nền.

Góc trương nở 平(độ)	Góc ma sát trong φ [°] (độ)	Lực dính biểu kiến c'(kN/m ²)	Trọng lượng thể tích ở trạng thái bão hoà γ _{sat} (kN/m ³)
9,52	46,49	29,83	20,38
Hệ số Poisson v	Mô đun biến dạng E(kN/m²)	Hệ số suy giảm cường độ R _{inter}	Hệ số độ rỗng tự nhiên e _{init}
0,34	30,86E+3	0,56	0,56

Bảng 1. Tham số mô hình nền cát sạn san hô [3,4]

3.1.2. Mô hình cọc ống thép

Tác giả khảo sát mô hình cọc có đặc điểm như sau (tham số thể hiện trên bảng 2)

Cọc ống thép có đường kính d = 0,6m; chiều dài cọc thay đổi Lc = 18m; 15m; 12m và
 9m được bịt kính tại mũi và đỉnh cọc;

- Cọc được gia cường bổ sung thêm 02 cánh với khoảng cách cánh là S = 4*d (tương ứng S = 2,4m); đường kính cánh là D = 2d = 1,2m; bước cánh H = 0,3m;

- Vị trí của cặp cánh xoắn này thay đổi sao cho tỷ lệ giữa chiều sâu của cánh (h) và chiều sâu của cọc trong nền (L) là: h/L = 1/5 đến 1/1 (Hình 2).

Tham số mô hình	Giá trị	Tham số mô hình	Giá trị
- Mô đun đàn hồi: E (kN/m ²)	$2,00 \times 10^8$	- Chiều dày thành cọc: $\delta 1$ (m)	0,016
- Mô đun trượt: G (kN/m²)	7,69x10 ⁷	- Số cánh xoắn (n)	2
 Trọng lượng riêng: γ (kN/m³) 	78,0	- Đường kính cánh: D (m)	1,2
- Chiều dài cọc: L _c (m)	18; 15; 12; 9 m	- Chiều dày cánh: δ2 (m)	0,028
- Chiều sâu cọc: L (m)	17; 14; 11; 8 m	- Bước cánh: H (m)	0,3
- Đường kính ngoài cọc: d (m)	0,60	- Khoảng cách cánh: S (m)	2,4

Bảng 2. Tham số mô hình kết cấu cọc ống thép có 2 cánh xoắn

3.2. Phạm vi nghiên cứu và các giả thiết

Cọc làm việc trong giai đoạn đàn hồi, ứng xử biến dạng tuyến tính, có độ cứng, kích thước hình học, tiết diện ngang, trọng lượng riêng không đổi theo chiều dài cọc, cọc ổn định trong nền theo phương thẳng đứng;

Nền hỗn hợp cát cành nhánh có 01 lớp đồng nhất đẳng hướng, bão hoà, làm việc theo mô hình đàn dẻo lý tưởng Mohr - Coulomb;

Khi chịu tải, điều kiện liên tục về chuyển vị được thoả mãn trên bề mặt tiếp xúc giữa các lớp nền nhưng trên bề mặt tiếp xúc của kết cấu và nền có thể xảy ra sự trượt tương đối giữa cọc và nền.

3.3. Xây dựng hàm tương quan xác định sức chịu tải của cọc

Đánh giá ảnh hưởng các tham số này đã được tác giả trình bày trong [1]. Theo đó, giải pháp cải tiến hợp lý của cọc ống thép có cánh xoắn là từ hai cánh trở lên, đường kính cánh bằng 2 đến
3lần đường kính cọc, khoảng cách cánh hợp lý 3 đến 4 lần đường kính cọc. Trong báo cáo sẽ tổng hợp khả năng chịu tải của cọc khi chuyển vị cực hạn đạt 10% đường kính của cọc [2], sau đây gọi là sức chịu tải cực hạn của cọc $[P_c]$. Vì sức chịu tải của cọc chịu ảnh hưởng rất lớn bởi chiều dài cọc, nên tác giả xét và tính toán với các cọc có chiều dài, độ mảnh khác nhau gồm: $L_c = 18$ m; 15 m; 12 m và 9 m.

3.3.1. Trường hợp cọc ống thép dài 18 m

Để xây dựng được hàm tương quan xác định sức chịu tải của cọc dài 18 m ở trạng thái cực hạn, tác giả xây dựng 9 mô hình số của cọc cống thép làm việc trong nền cát sạn san hô khi chịu kéo và 9 mô hình số khi chịu nén. Trong đó tỷ số giữa độ sâu vị trí cánh xoắn trên thân cọc (h) với chiều sâu của cọc (L) lần lượt là: h/L = 1/1; 7/8; 3/4; 2/3; 1/2; 1/2,5; 1/3;1/4 và 1/5. Kết quả tính toán được tổng hợp trên Bảng 3.

Trường	Tỷ lệ độ sâu vị trí cánh và chiều sâu của cọc trong nền (h/L)								
hợp	1/1	7/8	3/4	2/3	1/2	1/2,5	1/3	1/4	1/5
chịu tải	1,000	0,875	0,750	0,667	0,500	0,400	0,333	0,250	0,200
Chịu nén	4.269,6	4.579,3	4.630,9	4.657,2	4.711,9	4.737,7	4.711,8	4.653,6	4.571,7
Chịu kéo	3.984,0	3.975,0	3.940,7	3.904,3	3.801,5	3.631,4	3.342,5	2.775,0	2.397,8

Bảng 3. Tổng hợp sức chịu tải cực hạn của cọc (cọc dài 18 m)

Từ bảng tổng hợp 3, tác giả xây dựng đồ thị tương quan giữa sức chịu tải cực hạn của cọc với tỷ lệ độ sâu vị trí cánh và chiều sâu của cọc trong nền (h/L) như trên Hình 3.



Hình 3. Tương quan sức chịu tải của cọc với h/L (cọc dài 18 m)

Kết quả nghiên cứu thể hiện trên Hình 3 đã xây dựng được hàm tương quan bậc 5 tính toán sức chịu tải của cọc ống thép có 2 cánh xoắn dài 18 m khi thay đổi đội sâu vị trí cánh xoắn trên thân cọc trong các trường hợp chịu tải khác nhau sau:

-Cọc chịu nén: $[P_c] = -19252(h/L)^5 + 43481(h/L)^4 - 32064(h/L)^3 + 6092,9(h/L)^2 + 1860,6(h/L) + 4151,5$ - Cọc chịu nhổ: $[P_c] = -26872(h/L)^5 + 68457(h/L)^4 - 52559(h/L)^3 + 2275(h/L)^2 + 12585(h/L) + 95,973$

1137

3.3.2. Trường hợp cọc ống thép dài 15m

Tương tự như trường hợp cọc 18 m, để xây dựng được hàm tương quan xác định sức chịu tải của cọc dài 15 m ở trạng thái cực hạn, tác giả xây dựng 9 mô hình số của cọc cống thép làm việc trong nền cát sạn san hô khi chịu kéo và 9 mô hình số khi chịu nén. Trong đó tỷ số h/L = 1/1; 7/8; 3/4; 2/3; 1/2; 1/2,5; 1/3; 1/4 và 1/5. Kết quả tính toán được tổng hợp trên Bảng 4.

Trường	Tỷ lệ độ sâu vị trí cánh và chiều sâu của cọc trong nền (h/L)								
hợp	1/1	7/8	3/4	2/3	1/2	1/2,5	1/3	1/4	1/5
chịu tải	1,000	0,875	0,750	0,667	0,500	0,400	0,333	0,250	0,200
Chịu nén	3.987,6	4.196,1	4.315,2	4.246,3	4.371,0	4.360,6	4.338,8	4.216,3	4.176,8
Chịu kéo	3.700,5	3.701,8	3.674,0	3.434,9	3.439,6	3.082,0	2.709,3	2.205,5	1.900,5

Bảng 4. Tổng hợp sức chịu tải cực hạn của cọc (cọc dài 15 m)

Từ bảng tổng hợp 4, tác giả xây dựng đồ thị tương quan giữa sức chịu tải cực hạn của cọc với tỷ lệ độ sâu vị trí cánh và chiều sâu của cọc trong nền (h/L) như trên Hình 4.



Hình 4. Tương quan sức chịu tải của cọc với h/L (cọc dài 15 m)

Kết qủa nghiên cứu thể hiện trên Hình 4 đã xây dựng được hàm tương quan bậc 5 tính toán sức chịu tải của cọc ống thép có 2 cánh xoắn dài 15 m khi thay đổi đội sâu vị trí cánh xoắn trên thân cọc trong các trường hợp chịu tải khác nhau sau:

- Cọc chịu nén: $[P_c] = -25113(h/L)^5 + 65629(h/L)^4 - 61648(h/L)^3 + 23473(h/L)^2 - 2476,7(h/L) + 4120$

- Cọc chịu nhố: [P_c] = -94218(h/L)⁵+277422(h/L)⁴-300544(h/L)³+141658(h/L)²-23559(h/L)+2937,5

3.3.3. Trường hợp cọc ống thép dài 12m

Đối với trường hợp cọc ống thép dài 12m, để xây dựng được hàm tương quan xác định sức chịu tải của cọc ở trạng thái cực hạn, tác giả xây dựng 8 mô hình số của cọc cống thép làm việc trong nền cát sạn san hô khi chịu kéo và 8 mô hình số khi chịu nén. Trong đó tỷ số h/L = 1/1; 7/8; 3/4; 2/3; 1/2; 1/2,5; 1/3 và 1/4. Kết quả tổng hợp trên Bảng 5.

Trường	-	Tỷ lệ độ sâu vị trí cánh và chiều sâu của cọc trong nền (h/L)									
hợp chịu	1/1	7/8	3/4	2/3	1/2	1/2,5	1/3	1/4			
tải	1,000	0,875	0,750	0,667	0,500	0,400	0,333	0,250			
Chịu nén	3.769,3	3.924,3	4.073,4	4.082,9	4.068,7	4.031,2	3.965,0	3.872,1			
Chịu kéo	3.433,5	3.449,3	3.367,3	3.302,8	2.853,1	2.390,8	2.062,1	1.659,7			

Bảng 5. Tổng hợp sức chịu tải cực hạn của cọc (cọc dài 12 m)

Từ bảng tổng hợp 5, tác giả xây dựng đồ thị tương quan giữa sức chịu tải cực hạn của cọc với tỷ lệ độ sâu vị trí cánh và chiều sâu của cọc trong nền (h/L) như trên Hình 5.



Hình 5. Tương quan sức chịu tải của cọc với h/L (cọc dài 12 m)

Kết qủa nghiên cứu thể hiện trên Hình 5 đã xây dựng được hàm tương quan bậc 5 tính toán sức chịu tải của cọc ống thép có 2 cánh xoắn dài 12 m khi thay đổi đội sâu vị trí cánh xoắn trên thân cọc trong các trường hợp chịu tải khác nhau sau:

- Cọc chịu nén:

 $[P_c] = 21993(h/L)^5 - 67401(h/L)^4 + 78357(h/L)^3 - 44810(h/L)^2 + 13255(h/L) + 2374, 3.$

- Cọc chịu nhổ:

```
[P_c] = 37880(h/L)^5 + 131094(h/L)^4 - 171844(h/L)^3 + 100890(h/L)^2 - 21856(h/L) + 3030, 3.
```

3.3.4. Trường hợp cọc ống thép dài 9m

Xét với cọc ngắn dài 9m, tác giả xây dựng hàm tương quan xác định sức chịu tải của cọc ở trạng thái cực hạn thông qua việc xây dựng 6 mô hình số và tính toán cọc cống thép làm việc trong nền cát sạn san hô khi chịu kéo và 6 mô hình số khi chịu nén. Trong đó tỷ số h/L = 1/1; 7/8; 3/4; 2/3; 1/2 và 1/2,5. Kết quả tính toán tổng hợp trên Bảng 6.

Trường	Tỷ lệ độ sâu vị trí cánh và chiều sâu của cọc trong nền (h/L)								
hợp chịu	1/1	7/8	3/4	2/3	1⁄2	1/2,5			
tåi	1,000	0,875	0,750	0,667	0,500	0,400			
Chịu nén	3.627,1	3.727,3	3.871,7	3.891,8	3.805,3	3.712,8			
Chịu kéo	3.351,3	3.314,2	3.109,4	2.824,7	2.325,2	1.826,8			

Bảng 6. Tổng hợp sức chịu tải cực hạn của cọc (cọc dài 9m)

Từ bảng tổng hợp 6, tác giả xây dựng đồ thị tương quan giữa sức chịu tải cực hạn của cọc với tỷ lệ độ sâu vị trí cánh và chiều sâu của cọc trong nền (h/L) như trên Hình 6.

1139



Hình 6. Tương quan sức chịu tải của cọc với h/L (cọc dài 9 m)

Kết qủa nghiên cứu thể hiện trên Hình 6 đã xây dựng được hàm tương quan bậc 5 tính toán sức chịu tải của cọc ống thép có 2 cánh xoắn dài 9m khi thay đổi độ sâu vị trí cánh xoắn trên thân cọc trong các trường hợp chịu tải khác nhau sau:

- Cọc chịu nén:

 $[P_c] = 67272(h/L)^5 - 213090(h/L)^4 + 261123(h/L)^3 - 157090(h/L)^2 + 47517(h/L) - 2105.$

- Cọc chịu nhổ:

 $[P_c] = 309643(h/L)^5 - 1E + 06(h/L)^4 + 2E + 06(h/L)^3 + -1E + 06(h/L)^2 + 344540(h/L) - 43456.$

Các kết quả nghiên cứu trên Hình 3 đến Hình 6 cho thấy, khi cọc chịu nén, vị trí cánh xoắn ảnh hưởng nhỏ đến khả năng chịu tải của cọc. Nhưng có sự khác biệt lớn khi cọc chịu nhổ. Nguyên nhân là khi chịu nén thì sức kháng mũi phụ thuộc không đáng kể vào vị trí cánh xoắn, mà phần lớn do cường độ của nền cát sạn san hô. Trường hợp cọc chịu nhổ thì độ lớn sức kháng mũi phụ thuộc vào độ sâu vị trí cánh xoắn, càng gần bề mặt nền thì sức kháng do cánh xoắn sẽ giảm khi áp lực nền cát sạn san hô giảm dần. Đồng thời, lực ma sát thành bên cũng giảm do áp lực nén của nền giảm.

4. Kết luận

 Độ sâu vị trí cánh xoắn bố trí trên cọc có ảnh hưởng đến sự làm việc và sức chịu tải của cọc ống thép có cánh xoắn do vị trí truyền tải bên của đoạn cọc có cánh xoắn ra nền xung quanh, đặc biệt là trường hợp cọc chịu kéo;

- Báo cáo đã xây dựng được các hàm tương quan bậc 5 để đánh giá khả năng chịu nén và nhổ của các cọc ống thép có chiều dài khác nhau khi sử dụng 2 cánh xoắn với tỷ lệ chiều sâu cánh xoắn và chiều sâu cọc. Trong đó, chỉ số tương quan R² có giá trị từ 0,95 đến 1,00 đã khẳng định sự tin cậy của hàm toán nhóm tác giả xây dựng. Đây là cơ sở có ý nghĩa lớn để lựa chọn vị trí cánh xoắn hợp lý theo chiều sâu cọc và sự phân bố địa chất nền cát sạn san hô thực tế trên các vùng biển đảo xa bờ tỉnh Khánh Hoà;

- Cần tiếp tục mở rộng nghiên cứu để xây dựng được các hàm tổng quát chung xác định khả năng chịu tải của cọc khi xét đến sự phụ thuộc vào tham số chiều dài cọc thay đổi và chịu đồng thời cọc chịu tải nén, nhổ với tải trọng ngang đồng thời.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Tương Lai, Nguyễn Thanh Sang,...vv (2022). Ảnh hưởng các tham số cánh xoắn đến sự làm việc của cọc ống thép có cánh xoắn trong nền san hô chịu tải trọng dọc trục. *Tạp chí Giao thông vận tải*.
- [2]. Vũ Công Ngữ (2014). Móng cọc Phân tích và thiết kế, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [3]. Nguyen Thanh Sang, Nguyen Tương Lai, Pham Duc Tiep (2023), Experimental study of interface shear characteristics between calcareous soil and steel, application to estimate axial bearing capacity of steel pile, Bài báo khoa học đăng trên tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng - Viện Khoa học công nghệ xây dựng, xuất bản số 01 năm 2023, ISSN 1859-1566.
- [4]. Cao Van Hoa, Vu Anh Tuan, Nguyen Thanh Sang, Nguyen Tuong Lai, Pham Duc Tiep (2020). Effect of Grain Size on Shear Strength of Coral Gravel Sand. *The 3nd International Conference on Sustainability in Civil Engineering*.
- [5]. F.M. Abdrabbo, A.Z. El Wakil (2016). Laterally loaded helical piles in sand. *Alexandria Engineering Journal Alexandria University*.

Study to Determine the Correlation Function Between the Ultimate Load Bearing Capacity with the Depth of the Helical Plate of Steel Pipe Piles with two Helical Plate Working in Coral Gravelly - sand

Abstract:

There have been some research projects great significance and high scientific value to determine the influences of parameters of helical plates on the working of pile in coral gravelly-sand. However, there has been no study to determine the correlation function that correlates the ultimate load bearing capacity of steel pipe piles with the depth of the helical plate. Therefore, the research results of reportis to build the function that correlates the ultimate load bearing capacity of steel pipe piles with helical plates when considering the change in depth of the two helical plates on the steel pipe pile. On that basis, the choosing a reasonable location in the process of designing and constructing steel pipe pile foundations on the islands of Vietnam is an issue of great scientific and practical significance.

Keywords: Steel pipe piles with helical plates, Mohr - Coulomb model; Finite element, coral gravelly-sand.

Nghiên cứu đề xuất biện pháp xử lý nền đất yếu bằng cọc xi măng đất trên tuyến đường TTBG Tỉnh An Giang

Vũ Đức Tài¹

¹Học viên Hệ sau đại học - Học viện KTQS * Vũ Đức Tài: Email: Vuanhtai1202@gmail.com

Tóm tắt

Giải pháp cọc xi măng đất là một trong những giải pháp hiện nay được ứng dụng phổ biến trên thế giới cũng như ở Việt nam và là một giải pháp đang có xu thế phát triển, có tính khả thi cao, phù hợp với điều kiện nền đất yếu ở đồng bằng Việt Nam. Hiện nay, các tiêu chuẩn ở nước ta như TCVN 9403:2012 phục vụ cho việc tính toán nền đất yếu bằng cọc xi măng – đất (CXMĐ) mới chủ yếu tập trung vào vấn đề thi công và vật liệu. Vấn đề nghiên cứu ứng xử cục bộ ứng suất, biến dạng của nền phụ thuộc vào nhiều yếu tố chưa được quan tâm nghiên cứu. Bài báo này, tác giả đi sâu vào phân tích tổng quan cũng như cơ sở lý thuyết đề tính toán các vấn đề tồn tại nêu trên.

Từ khóa: cọc xi măng đất; độ lún; ổn định; nền yếu.

1. Đặt vấn đề

Giải pháp cọc xi măng đất là một trong những giải pháp hiện nay được ứng dụng phố biến trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Nó được biết đến là giải pháp có tính khả thi cao, có tính xu hướng và phù hợp với điều kiện nền đất yếu ở đồng bằng Việt Nam. Trên thế giới cũng như ở Việt Nam có nhiều tiêu chuẩn phục vụ tính toán nền đất yếu [1 - 3].

Trong những năm lại đây, công nghệ xi măng đất đã được áp dụng khá phổ biến ở Việt Nam. Công nghệ này có 2 cách thức trộn khác nhau về đất và chất kết dính. Cách 1 được trộn vữa xi măng với đất bằng cắt cánh gắn ở đầu cần khoan. Loại thiết bị này khi đất được cắt bằng cánh thì đồng thời chất kết dính (dạng bột hoặc dạng vữa) được bơm ra đầu mũi qua ruột cần khoan. Phương pháp này còn được gọi là phương pháp trộn cơ (Mechanic). Cách thứ 2, đất được cắt bằng các loại tia có áp lực cao. Phương pháp này gọi là phương pháp Jet -Grouting (JG). Tùy thuộc vào công nghệ 1 pha, 2 pha hay 3pha mà đất được cắt bằng tia vữa, hay cả vữa và khí hoặc cả vữa, khí và nước. Cọc xi măng đất đượctạo ra trong quá trình cần khoan được rút lên, do trong quá trình rút cần khoan các tia với áp lực cao được phun ra ở đầu mũi khoan, chúng cắt đất và trộn với vữa tạo ra vật liệu xi măng đất. Đối với phương pháp này, CXMĐ tạo ra phụ thuộc nhiều vào điều kiện khách quan như loại đất, tốc độ rút cần, áp lực bơm vữa.v.v. Mặc dù cách thức tạo CXMĐ của hai phương pháp trên khác nhau nhưng về bản chất, không có sự khác biệt vật liệu xi măng đất do hai phương pháp này tạo ra. Đối với phương pháp tính toán cũng tương tự như nhau [4, 5].

Hiện nay, các tiêu chuẩn ở nước ta như TCVN 9403:2012 phục vụ cho việc tính toán nền đất yếu bằng cọc xi măng - đất (CXMĐ) mới chủ yếu tập trung vào vấn đề thi công và vật liệu mà chưa đề cập đến đặc điểm ứng xử cục bộ như ứng suất, biến dạng của nền phụ thuộc vào nhiều yếu tố chưa được quan tâm nghiên cứu [6].

Úng suất cục bộ, biến dạng của nền phụ thuộc vào đường kính cọc, khoảng cách cọc, chiều dài cọc hay thay đổi độ lún chiều sâu xử lý... Trong thực tế tính toán cho thấy, xử lý nền đường đắp trên đất yếu, các thông số nêu trên ảnh hưởng rất lớn đến độ ổn định (ổn định

lún và ổn định trượt) của nền đường đắp cũng như quyết định đến hiệu quả kinh tế của giải pháp xử lý trên [7].

Tuyến đường TTBG Tỉnh An Giang (giai đoạn 2017 - 2020) với gói thầu 14 đoạn KM7 - Km9 phát sinh các vấn đề như sau: Đoạn tuyến từ Km7 + 274.50 - Km7 + 497.31, chiều dài 222.81m xảy ra hiện tượng sụt lún nền đường và bị đẩy trồi ra phía bên phải tuyến. Một số đoạn chưa sụt lún thì xuất hiện nhiều khe nứt dọc theo mái taluy bên phải tuyến. Qua kiểm tra thực tế, đoạn tuyến này đi qua nền đất yếu và có kênh rộng khoảng 5m đi bên phải tuyến, cách chân taluy từ 6 - 8m. Đoạn tuyến này chưa có giải pháp kỹ thuật xử lý nền đất yếu. Đoạn tuyến từ Km7 + 700.00 - Km7 + 750.00, chiều dài 50m xuất hiện nhiều khe nứt dọc theo mái taluy bên trái tuyến. Qua kiểm tra thực tế, đoạn tuyến này đi qua nền đất yếu và bên trái tuyến có 1 cái đìa cách chân taluy trái 2 - 3m. Đoạn tuyến này chưa có giải pháp kỹ thuật xử lý nền đất yếu.

Bài báo này, tác giả đi sâu vào phân tích tổng quan cũng như cơ sở lý thuyết đề tính toán các vấn đề tồn tại của dự án nêu trên.

2. Cơ sở lý thuyết phương pháp tính toán thiết kế CMXĐ

Tính toán sức chịu tải và biến dạng của nền đất yếu được gia cố bằng hệ CĐXM có thể được thực hiện theo các quan điểm khác nhau. Trong những năm gần đây, ở Việt Nam cũng như thế giới đã phát triển một số phương pháp tính toán cọc xi măng - đất như sau: tiêu chuẩn gia cố cọc xi măng - đất Châu Âu, tiêu chuẩn Thượng Hải - Trung Quốc, theo quan điểm cọc xi măng - đất làm việc như cọc, theo quan điểm như nền tương đương, theo quan điểm hỗn hợp của Viện kỹ thuật Châu Á. Tuy nhiên, trong hầu hết các hồ sơ thiết kế hiện nay ở trong nước đều tính toán theo quan điểm nền đất hỗn hợp, kết quả tính toán tương đối sát với thực tế và đã được kiểm chứng qua nhiều công trình thực tế và được đề cập trong TCVN 9403 - 2012 (TCVN 9403:2012) [6].

2.1. Phương pháp tính ổn định trượt

Kiểm toán ổn định trượt theo phương pháp của Bishop. Trong quá trình kiểm toán ổn định trượt có xét đến yếu tố tăng cường độ của các lớp đất nền sau từng giai đoạn đắp nền đường. Công tác kiểm toán ổn định phải tiến hành qua các bước sau [7]:

Kiểm toán ổn định trượt của nền đường đắp khi chưa có các giải pháp xử lý;

Kiểm toán ổn định trượt của nền đường đắp trong trường hợp có giải pháp xử lý (có thể kết hợp nhiều giải pháp xử lý) ở từng giai đoạn thi công nền, kể cả khi gia tải;

Kiểm toán ổn định trong trường hợp đã có giải pháp xử lý và đưa công trình vào khai thác;

Hoạt tải dùng trong tính toán ổn định trượt với chính tuyến là 1.4T/m².

Độ ổn định cho nền đường đắp trên đất yếu được quy định trong "Quy trình Khảo sát Thiết kế nền đường ô tô đắp trên đất yếu 22TCN 262 - 2000", nội dung cụ thể như sau:

Hệ số an toàn khi thi công nền đắp: $Fs_1 \ge 1.20$ (theo phương pháp Bishop);

Hệ số an toàn khi khai thác: $Fs_2 \ge 1.40$ (theo phương pháp Bishop).

Công tác kiểm toán ổn định trượt được lặp lại nhiều lần và thực hiện theo các bước, cũng như phải thỏa mãn điều kiện đã nêu trên.

2.2. Phương pháp tính ổn định lún

Dộ lún tổng (S) của nền gia cố được xác định như sau: S = S1 + S2(2.2.1)Dộ lún S1 của khối gia cố cọc xi măng - đất:

Độ lún của bản thân khối gia cố được tính theo công thức:

$$S_{1} = \frac{qH}{E_{tb}} = \frac{qH}{aE_{c} + (1-a)E_{s}}$$
 (2.2.2)

trong đó:

q là tải trọng công trình truyền lên khối gia cố;

H là chiều sâu của khối gia cố;

A là - tỷ số diện tích, $a = (nA_c / BL);$

n là tổng số trụ,

Ac là diện tích tiết diện trụ,

B, L là kích thước khối gia cố;

 E_c là mô đun đàn hồi của vật liệu trụ; Có thể lấy $E_c = (50 \text{ dến } 100) C_c$ với C_c là sức kháng cắt của vật liệu trụ;

 E_s - Mô đun biến dạng của đất nền giữa các trụ. (Có thể lấy theo công thức thực nghiệm E_s = 250C_u, với C_u là sức kháng cắt không thoát nước của đất nền).

CHÚ THÍCH: Các thông số E_c , C_c , E_s , C_u xác định từ kết quả thí nghiệm mẫu hiện trường cho kết quả phù hợp thực tế hơn.



Hình 1- Tính lún nền gia cố khi tải trọng tác dụng chưa vượt quá sức chịu tải cho phép của vật liệu trụ

Độ lún theo thời gian của khối gia cố: S1(t) = S1.U

$$U = 1 - \exp\left[\frac{-2.C_{h}.t}{R_{e}^{2}.f(n)}\right]$$
(2.2.3)

$$f(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \left[\ln(n) - 0.75 + \frac{1}{n^2} \cdot (1 - \frac{1}{n^2}) \right] + \left[\frac{n^2 - 1}{n^2} \cdot \frac{1}{d^2} \cdot \frac{k_{dat}}{k_{coc}} \cdot L_c^2 \right]$$
(2.2.4)

trong đó: Re - Bán kính ảnh hưởng của cọc; D - Khoảng cách tâm các CXMĐ; De - đường kính vùng ảnh hưởng của các cọc. Lc - Chiều dài thoát nước bằng nửa chiều dày lớp xử lý nền nếu có lớp cát thoát nước phía dưới; kdat - Hệ số thấm đất nền; kcoc - Hệ số thấm CXMĐ

Độ lún S2 của đất chưa gia cố, dưới mũi trụ được tính theo nguyên lý cộng lún từng lớp(TCVN 9362 - 2012).

Độ lún cố kết S2(t) của nền công trình sau thời gian t: St = Uv.Sc

Với: Uv - là độ cố kết của nền đất sau thời gian t, xác định theo công thức

$$U_{v} = \frac{2.\alpha.U_{v0} + U_{v1}.(1-\alpha)}{1+\alpha}$$
(8)
Với $U_{v0} = 1 - \frac{8}{\pi^{2}} e^{-\frac{\pi^{2}}{4}.T_{v}}; U_{v1} = 1 - \frac{32}{\pi^{3}} e^{-\frac{\pi^{2}}{4}.T_{v}}; \alpha = \frac{\sigma_{z}^{*}}{\sigma_{z}^{*}}$

Với: σz , σ , z, - là ứng suất tại mặt thoát nước và mặt không thoát nước; Tv - nhân tố thời gian được xác định theo công thức s_{Tu} = $\frac{C_v^{tb}}{C_v}$.t

$$C_{v}^{tb} = \frac{H_{a}^{2}}{\left(\sum \frac{h_{i}}{\sqrt{C_{vi}}}\right)^{2}}$$

$$(2.2.6)$$

trong đó: C_v^{tb} - là hệ số cố kết trung bình theo phương thẳng đứng của các lớp đất; hi, Cvi là chiều dày, hệ số cố kết của lớp đất thứ i Phần độ lún cố kết còn lại sau thời gian t:

 $\Delta S = (1 - Uv).Sc$ (2.2.7)

Yêu cầu về độ lún cho phép theo tiêu chuẩn ngành 22TCN - 211 - 2006:

Dành cho đường cấp IV đồng bằng các đoạn nền đắp thông thường: $\Delta S \leq 40$ cm.

2.3. Ứng suất do tải trọng nền đường gây ra

Úng suất thẳng đứng do tải trọng nền đường gây ra được tính theo công thức (1) của Osterberg [8]:

 $\Delta \mathbf{P} = \mathbf{I}_{\mathbf{q}} \cdot \mathbf{q} \tag{2.3.1}$

trong đó: ΔP - Ứng suất thẳng đứng tại độ sâu z (T/m²); I_q - Hệ số ảnh hưởng; q = γ .h; Tải trọng nền đường (T/m²); γ - Dung trọng vật liệu đắp nền đường (T); h - Chiều cao đắp nền đường (m).

2.4. Kiểm toán trượt

Hệ số ổn định trượt (F_S) được tính theo công thức Bishop phương trình (2) [8]:

$$F_{s} = \frac{\sum [C_{u}b + w\cos\alpha.\tan\varphi_{u}]}{\sum w\sin\alpha}$$
(2.3.2)

trong đó: C_u - Lực dính không thoát nước của đất; ϕ_u - Góc nội ma sát không thoát nước của đất; b - Chiều rộng mảnh phân tố; w - Trọng lượng các mảnh phân tố; α - Góc nghiêng của các mặt đáy các phân tố.

2.5. Tính toán thiết kế giải pháp trụ đất gia cố xi măng

Tính toán cường độ kháng cắt. Cải tạo nền đất yếu bằng phương pháp trụ đất gia cố xi măng trong xây dựng đường giao thông được thực hiện theo phương pháp nền tương đương. Cường độ kháng cắt và mô đun biến dạng của nền tương đương được xác định thông qua các công thức(TCVN 9403:2012) như phương trình (3) [8].

$$C_{utb} = as^*C_c + (1 - a_p)^*C_u , E = a_p \times E_p + (1 - a_p) \times E_s$$
(2.5.1)

trong đó: E_s - mô đun biến dạng của đất nền giữa các trụ; E_p - mô đun biến dạng đàn hồi của trụ đất xi măng; C_c - cường độ kháng cắt của đất xung quanh trụ; C_u - cường độ kháng cắt của trụ đất xi măng; a_p - trị số tỷ diện tích gia cố (tỷ lệ giữa phần diện tích được xử lý trụ và tổng diện tích ban đầu khi chưa có xử lý cọc đất gia cố xi măng).

Chỉ tiêu cơ lý cọc xi măng đất thiết kế: Dung trọng riêng: $\gamma = 2.0 \text{ T/m}^3$; Cường độ chịu nén thiết kế CMD: $q_{uck} = 700 \text{kN/m}^2$; Sức kháng cắt không thoát nước của CMD: $C_u = 350 \text{kN/m}^2$.

3. Đặc điểm đất nền và các thông số tính toán

3.1. Đặc điểm địa chất và tính chất cơ lý nền đất

Căn cứ theo các tài liệu thu thập trong quá trình khoan khảo sát ngoài hiện trường, thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT) và kết quả phân tích thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của các mẫu đất trong phòng thí nghiệm, trong phạm vi chiều sâu các lỗ khoan khảo sát thì nền đất trong khu vực được phân chia thành 6 lớp phân bố theo thứ tự từ trên xuống dưới như sau:

- Lớp K: Cát san lấp

- Lớp 2: Bùn sét lẫn hữu cơ màu xám xanh, xám đen, trạng thái chảy

- Lớp 3A: Sét pha màu xám nâu, trạng thái dẻo chảy

- Lớp 3: Cát pha màu xám xanh, xám đen, trạng thái rời rạc

- Lớp 4: Cát pha màu xám xanh, xám đen, trạng thái rời rạc

- Lớp 5: Cát pha màu xám xanh, xám đen, trạng chặt vừa

Trên cơ sở phân chia địa tầng các lớp như trên cụ thể các khu vực như sau: trong đó:

 Lớp K: Cát san lấp. Lớp này phân bố liên tục trên khu vực khảo sát .Chiều sâu gặp mặt lớp, đáy lớp và chiều dày lớp biến đổi như sau:

Tên hố	Độ sâu gặp mặt lớp (m)	Độ sâu gặp đáy lớp (m)	Bề dày của lớp (m)
LK1	0.0	2.5	2.5

 Lớp 2: Bùn sét lẫn hữu cơ màu xám xanh, xám đen, trạng thái chảy. Lớp này phân bố không liên tục trên khu vực khảo sát. Chiều sâu gặp mặt lớp, đáy lớp và chiều dày lớp biến đổi như sau:

Tên hố	Độ sâu gặp mặt lớp (m)	Độ sâu gặp đáy lớp (m)	Bề dày của lớp (m)
LK2	2.5	23.6	21.2

Trong lớp tiến hành lấy các mẫu đất qua phân tích kết quả thí nghiệm trong phòng được các chỉ tiêu cơ lý của lớp đất này như sau:

ТТ	Chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Thành phần hạt	Р	%	
	5 - 2			
	2 - 1			
-	1 - 0.5			0.5
	0.5 - 0.25			1.3
	0.25 - 0.1			1.6
	0.1 - 0.05			19.3
	0.05 - 0.01			19.9
	0.01 - 0.005			13.4
	< 0.005			44
2	Khối lượng riêng	Δ	g/cm ³	2.39
3	Độ ẩm tự nhiên	W	%	45.85
4	Khối lượng thể tích tự nhiên	γΤΝ	g/cm ³	1.63
5	Khối lượng thể tích khô	γc	g/cm ³	1.12
6	Giới hạn chảy	Wc	%	41.46
7	Giới hạn dẻo	Wd	%	22.8
8	Chỉ số dẻo	Id	%	18.7
9	Độ sệt	В	-	1.23
10	Độ bão hoà	G	%	96
11	Độ rỗng	n	%	53.2
12	Hệ số rỗng	e0	-	1.138
13	Góc ma sát trong	φ	độ	1 ⁰ 29 [°]
14	Lực dính kết	с	KG/cm ²	0.145
15	Hệ số nén lún	a ₁ - 2	cm ² /KG	0.088
16	Thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn	SPT	búa	1
17	Mô đun TBD không nở hông	E _{1,2}	KG/cm ²	24.3
18	Sức kháng cắt (TN 3 trục)	Cu	KG/cm ²	0.145
19	Góc ma sát trong (TN 3 trục)	φ	độ	1 ⁰ 33 [°]

3.2. Đặc điểm của công trình thiết kế

Thiết kế theo tiêu chuẩn TCVN/QS 1472:2009 - Đường TTBG - Yêu cầu thiết kế do BQP ban hành và vận dụng một số tiêu chuẩn kỹ thuật TCVN 4054 - 2005 (áp dụng cho đường cấp VI đồng bằng).

TT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Trị số quy định	Ghi chú
1	Vận tốc thiết kế	15Km/h	
2	Bề rộng nền đường	6.5m	Chưa kể phần mở rộng
		0, 511	mặt đường
3	Bề rộng mặt đường	3 5m	Chưa kể phần mở rộng
5	be tộng mặt dương	5, 511	mặt đường
4	Bề rộng lề đường	2 x 1, 5m	Gia cố lề 2x1 m
5	Độ dốc dọc lớn nhất	12%	
6	Chiều dài lớn nhất của đoạn dốc dọc	400m	
0	tối đa	40011	
7	Bán kính đường cong nằm tối thiểu	Rmin = 15m	
8	Bán kính đường cong đứng lồi nhỏ	Rmin – 100m	
0	nhất	Rinn – Toom	
9	Bán kính đường cong lõm nhỏ nhất	Rmin = 100m	
10	Tầm nhìn 1 chiều nhỏ nhất	20m	
11	Tầm nhìn 2 chiều nhỏ nhất	40m	
12	Tải trọng thiết kế công trình	H13 - X60	
13	Tải trọng trục tính toán kết cấu mặt	10T	
15	đường	101	
14	Loại kết cấu mặt đường	Láng nhựa	

Các chỉ tiêu kỹ thuật chủ yếu được lựa chọn để thiết kế như sau:

3.3. Các thông số tính toán

- *Mặt cắt tính toán*. Căn cứ điều kiện địa chất công trình, qui mô mặt cắt ngang và chiều cao nền đắp để lựa chọn các mặt cắt tính toán đại diện cho từng đoạn nền đường.



Hình 2 - Mặt cắt nền đường

- Hoạt tải. Theo Quy trình 22 TCN 262 - 2000 hoạt tải được tính theo sơ đồ Hình 1.

$$q = \frac{n.G}{B.l}, \ B = n.b + (n-1)d + e$$
 (4)

Trong đó:n - số xe tối đa có thể xếp được trên phạm vi bề rộng nền đường; G - trọng lượng một xe, T; B - bề rộng phân bố ngang của các xe, m; l - phạm vi phân bố tải trọng xe theo hướng dọc, m.

Với xe có G = 13T; 1 = 4.2m; b = 1.8m; d = 1.3m; e = 0.6m. Phần nền đường thiết kế từ 1 - 2 làn xe H13 thì B = 5.5m. Ta xác định được $q = 1.13T/m^2$.



Hình 3 - Sơ đồ xếp tải

- Vật liệu đắp nền đường. Nền đường đắp bằng đất bọc cát đầm chặt K95. Do đó, căn cứ theo kết quả thí nghiệm mỏ vật liệu, vật liệu cát đắp có có các thông số với khối lượng thể tích khô lớn nhất là $\gamma_{c Max} = 1.658$ g/cm³ tương ứng với độ ẩm tối ưu là 16.7%, khi đó giá trị khối lượng thể tích tự nhiên có giá trị $\gamma \sim 1.85$ g/cm³. Trong giai đoạn triển khai bước thiết kế bản vẽ thi công, căn cứ theo kết quả thí nghiệm mỏ vật liệu và lựa chọn mỏ cho từng gói thầu thì cần đánh giá và cập nhật lại nhằm phù hợp với điều kiện thực tế khi thi công.Các thông số tính toán của vật liệu đất đắp bao gồm $\gamma = 1.85$ t/m³, $\phi = 20^{\circ}$, C = 20; Cát đắp: $\gamma = 1.85$ t/m³, $\phi = 30^{\circ}$, C = 0.

-Tính toán. Dựa vào điều kiện địa chất công trình dọc tuyến, bề dày, phạm vi phân bố các lớp đất yếu, kết hợp với chiều cao nền đắp để lựa chọn các mặt cắt tính toán. Mặt cắt được chọn có tính đại diện cho vị trí bất lợi nhất. Mặt cắt điển hình trong Bảng 1.

Bảng 1. Bảng mặt cắt chọn để tính toán

STT	Tên mặt cắt	Lý trình	Lỗ khoan - TN cắt cánh	Bề dày đất yếu tính từ trên mặt (M)	Ghi chú
1	Cọc 8	Gói 14	LK1 + TN UU	20	



Căn cứ trên số liệu địa tầng, bề dày các lớp đất yếu, kết hợp với chiều cao đắp đã chọn ra mặt cắt đại diện và thực hiện công tác kiểm toán ổn định trượt trên các mặt cắt đại diện. Từ kết quả kiểm toán ổn định trượt, giải pháp thiết kế được đưa gia để gia cố các đoạn Gói 14 như sau: đào đất đến cao độ thiết kế; gia cố cọc xi măng đất đường kính D = 80cm, chiều dài theo tính toán; Gia cố 1 lớp vải địa kỹ thuật dệt gia cường (sức chịu kéo > = 200 kN/m). Kết quả kiểm toán Gói 14 trình bày trong bảng dưới (kèm theo chi tiết bảng tính từ plaxis).

Bảng 2. Kết quả tính	Bång	2.	Kết	quå	tính
----------------------	------	----	-----	-----	------

Mặt cắt	Chiều cao đắp(m)	Hố khoan - TN cắt cánh	Hệ số ổn định tính toán chưa gia cố	Biện pháp gia cố	Hệ số ổn định khi gia cố	Nhận xét
Cọc 8	4.6	LK1 + TN nén 3 trục UU	0.74	7 hàng cọc XMĐ dài 8m và 1 lớp vải ĐKT 200kN/m	1.558	Đạt

Kết quả tính phương án gia cố nền bằng cọc xi măng đất và vải địa kỹ thuật được thể hiện trong Hình 5, 6, 7.



Deformed mesh |u| (scaled up 5,00 times) (Time 200,0 day) Maximum value = 0,3614 m (at Node 32158)

Hình 5 - Độ lún nền đường sau khi thi công



Hình 6 - Đô lún nền đường đến khi đat 90% đô lún cố kết

Multipliers				
Soil weight			ΣM _{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M _{sf}	2,183E-3	ΣM _{sf}	1,558
Time	Increment	0,000	End time	2887

Hình 7 - Hệ số ổn định sau thi công

Dựa vào phương pháp số dựa trên phương pháp tính Bishop cho thấy: khi không sử dụng cọc xi măng đất thì hệ số ổn định nền đắp $K_s = 0$, 74 nhỏ hơn giá trị 1, 2 khi thi công nền đắp và 1, 4 khi khai thác. Ngược lại, khi sử dụng biện pháp gia cố nền đất yếu bằng cọc xi măng đất thì hệ số ổn định nhận được là $K_s = 1,558$ và giá trị độ lún cố kết còn lại sau thời gian 2887 ngày đạt 90% độ lún cố kết $\Delta S = 0.33m < 0.4$. Kết luận giải pháp sử dụng cọc xi măng đất kết hợp vải địa kỹ thuật đảm bảo an toàn trong thi công và khai thác.

4. Kết luận

Dựa vào kết quả thu được, ta có thể đưa ra các nhận xét sau:

Nền đắp trên đất yếu là một trong những công trình xây dựng thường gặp trong thi công công trình xây dựng của nước ta hiện nay, đặc biệt là các tuyến đường. Cho đến nay ở nước ta, việc xây dựng nền đắp trên đất yếu vẫn là một vấn đề tồn tại và là một bài toán khó đối với người xây dựng, đặt ra nhiều vấn đề cần được nghiên cứu và xử lý như sự ổn định và độ lún cho phép của công trình.

Kết quả cho thấy, khi sử dụng cọc xi măng đất với dự án đường TTBG Tỉnh An Giang cho hiệu quả đáng kể vệ sự ổn định nền đường đắp.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Thị Ngọc Yến, Trần Trung Việt. (2020). Ảnh hưởng của các thông số hình học cọc xi măng - đất đến ổn định nền đường đắp trên đất yếu. *Khoa học kỹ thuật* thủy lợi và môi trường, 68(3), 10 - 18.
- [2]. Nguyễn Quốc Dũng. (2005). Phương pháp thiết kế cọc xi măng đất để gia cố nền đê đập qua vùng đất yếu. Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn. 4(1), 8 - 50.
- [3]. 22TCN 262 2000. (2000). Quy trình khảo sát thiết kế nền đường ô tô đắp trên đất yếu. Nhà xuất bản Giao Thông vận tải.
- [4]. Phùng Vĩnh An. (2012). Bàn về phương pháp tính toán gia cố nền bằng cọc xi măng đất. Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi, 11, 17 - 20.
- [5]. TCXDVN 385:2006. (2006). Gia cố đất yếu bằng trụ đất xi măng. Hà nội.
- [6]. TCVN 9403:2012. (2012). Gia cố nền đất yếu Phương pháp trụ đất xi măng. *Tiêu chuẩn quốc gia*. 42tr.
- [7]. Nguyễn Việt Hùng. (2014). Nghiên cứu xác định các thông số chính khi sử dụng hệ cọc xi măng đất trong xây dựng nền đường đắp trên đất yếu ở Việt Nam. Luận án tiến sỹ.
- [8]. Báo cáo dự án TTBG tỉnh An Giang. (2022).

Research and propose measures to treat weak soil using soil cement piles on the border patrol route of An Giang Province

Abstract:

Soil cement pile solution is one of the solutions currently commonly applied in the world as well as in Vietnam and is a solution that is on the rise, highly feasible, and suitable. with weak soil conditions in the Vietnam Delta. Currently, standards in our country such as TCVN 9403:2012 serving the calculation of soft soil foundations with cement - soil piles mainly focus on construction and materials issues. The issue of studying the local behavior of stress and deformation of the foundation depends on many factors that have not yet been paid attention to research. In this article, the author delves into the general analysis as well as the theoretical basis for calculating the above mentioned problems.

Keywords: soil cement piles; subsidence; stable; weak background.

Ứng xử của các mẫu cát chịu tải trọng chu kỳ trong điều kiện thoát nước và không thoát nước với các biên độ tải trọng khác nhau

Đỗ Văn Thùy

Học viện Kỹ thuật quân sự Email: thuydv@lqdtu.edu.vn; Tel: 0974 180 566

Tóm tắt

Bài báo trình bày ứng xử của mẫu cát sông tự nhiên chịu tải trọng chu kỳ trong điều kiện thoát nước và không thoát nước bằng thí nghiệm ba trục tuần hoàn trong phòng thí nghiệm. Thí nghiệm được thực hiện trên mẫu cát có độ chặt 0,95, khi thay đổi biên độ tải trọng với ba mức khác nhau là 30 kPa, 50 kPa và 60 kPa. Kết quả thực nghiệm cho thấy, gia tải trong điều kiện thoát nước, áp lực lỗ rỗng không hình thành, chỉ có biến dạng tích lũy và các tham số động gần như thay đổi rất nhỏ. Trong khi đó, gia tải trong điều kiện không thoát nước, áp lực lỗ rỗng trong mẫu, khi đó biến dạng dọc trục tăng đột ngột và không có khả năng phục hồi. Khi thay đổi biên độ tải trong điều kiện thoát nước, giá trị cường độ ban đầu tăng khi biên độ tải tăng. Xu hướng này có chiều hướng ngược lại khi thử nghiệm trong điều kiện không thoát nước, nghĩa là khi tăng biên độ tải trọng thì giá trị cường độ ban đầu giảm và khả năng hóa lỏng của mẫu nhanh hơn. Ngoài ra, trong điều kiện không thoát nước, khi biên độ tải trọng nhỏ ở mức 30 kPa hầu như ảnh hưởng không đáng kể đến khả năng hóa lỏng của mẫu.

Từ khóa: Cát; thoát nước; không thoát nước; biên độ tải trọng; thí nghiệm ba trục tuần hoàn..

1. Đặt vấn đề

Ứng xử của mẫu đất chịu tải trọng tuần hoàn trong điều kiện thoát nước và không thoát nước là một lĩnh vực nghiên cứu quan trọng trong địa kỹ thuật. Những nghiên cứu này nhằm mục đích tìm hiểu cách đất phản ứng và biến dạng trong các chu kỳ chất và dỡ tải lặp đi lặp lại khi điều kiện thoát nước thay đổi [1]. Bằng cách nghiên cứu các ứng xử này, các kỹ sư có thể dự đoán tốt hơn hiệu suất của đất trong các ứng dụng địa kỹ thuật khác nhau, chẳng hạn như thiết kế nền móng, phân tích độ ổn định mái dốc và các công trình ngoài khơi.

Trong điều kiện thoát nước, mẫu đất được phép thoát tự do áp lực nước lỗ rỗng dư được tạo ra trong quá trình chất tải và dỡ tải. Tình trạng này mô phỏng các tình huống trong đó đất thoát nước tốt, chẳng hạn như đất cát hoặc đất không dính có đủ độ thấm. Dưới tác dụng của tải trọng có tính chu kỳ, đất trải qua những thay đổi về ứng suất và biến dạng, dẫn đến những phản ứng khác nhau. Chúng có thể bao gồm sự tích lũy dần dần của biến dạng, chẳng hạn như biến dạng cắt, biến dạng dọc trục, độ giãn nở và độ lún. Đặc tính thoát nước của mẫu đất có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như áp suất giới hạn, lịch sử ứng suất và hệ số rỗng ban đầu của đất [2].

Mặt khác, điều kiện không thoát nước xảy ra khi mẫu đất không được phép thoát nước trong quá trình chịu tải theo chu kỳ. Tình huống này thể hiện các trường hợp tải trọng bị ảnh hưởng trong thời gian ngắn dẫn đến việc thoát nước trong mẫu không đủ hoặc điều kiện thoát nước của đất không được đảm bảo. Trong điều kiện không thoát nước, áp lực nước lỗ rỗng dư sinh ra trong quá trình chịu tải không bị tiêu tán và có thể ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử của đất. Phản ứng không thoát nước của mẫu cát có thể biểu hiện các hiện tượng như tích tụ áp lực lỗ rỗng, hiện tượng co lại hoặc giãn nở và khả năng hóa lỏng trong các điều kiện tải trọng nhất định [3]. Cường độ kháng cắt trong điều kiện không thoát nước và ứng xử ứng suất -

biến dạng của đất là những yếu tố quan trọng trong việc đánh giá độ ổn định và khả năng xảy ra hư hỏng nghiêm trọng trong các công trình địa kỹ thuật.

Nghiên cứu ứng xử của các mẫu cát dưới tải trọng tuần hoàn ở cả điều kiện thoát nước và không thoát nước giúp các kỹ sư hiểu rõ hơn về ứng xử và ảnh hưởng của nó đối với các ứng dụng địa kỹ thuật. Kiến thức này hỗ trợ trong việc thiết kế nền móng, kết cấu chắn và công tác đào đất cũng như đánh giá độ ổn định và hiệu suất của các mái dốc tự nhiên hoặc nhân tạo. Ngoài ra, hiểu được ứng xử tuần hoàn của cát trong điều kiện thoát nước và không thoát nước là rất quan trọng để giảm thiểu các mối nguy hiểm địa kỹ thuật đảm bảo sự an toàn và độ tin cậy của các dự án cơ sở hạ tầng trong các môi trường địa chất khác nhau.

Vì vậy,trong nghiên cứu này, ứng xử của mẫu cát sông được nghiên cứu dưới tác dụng tải trọng tuần hoàn thoát nước và không thoát nước trong phòng thí nghiệm với điều kiện thay đổi ba biên độ tải trọng khác nhau là 30 kPa, 50 kPa và 60 kPa với hơn 5000 chu kỳ gia tải, là một khoảng thời gian đủ dài để đánh giá tác động của một loại tải trọng động, chẳng hạn như động đất cũng chỉ mất vài phút.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1.Vật liệu nghiên cứu

Cát sông tự nhiên được sử dụng trong nghiên cứu này được lấy từ mỏ Trại Giam, huyện Hàm Tân, tỉnh Bình Thuận, Việt Nam (Hình 1).





Hình 1. Vật liệu cát lấy từ mỏ đưa về phòng thí nghiệm

Thành phần hạt của cát được xác định theo [4, 5], trình bày trên Hình 2.



Hình 2: Đường cong thành phần hạt của cát nghiên cứu

Nhóm tác giả sử dụng phương pháp đo tỷ trọng để xác định khối lượng riêng của cát [6,7], trình bày trong Bảng 1.

Khối lượng cát khô bề mặt (g)	Khối lượng bình, cát và nước đến vạch (g)	Khối lượng bình và nước đến vạch (g)	Khối lượng cát khô (g)	Khối lượng riêng mẫu cát (g/cm3)	Khối lượng riêng trung bình của cát (g/cm3)
551,45	6375,72	6035,00	547,57	2,642	2,64
523,67	6358,44	6035,00	520,09	2,639	

Bảng 1. Xác định khối lượng riêng của cát

Cát được lấy từ hiện trường đưa về phòng thí nghiệm, hoàn nguyên với độ chặt 0,95. Độ chặt được xác định theo công thức [8, 9]:

$$K = \frac{\gamma_k}{\gamma_k^{\max}},\tag{1}$$

trong đó: K là độ chặt yêu cầu (không thứ nguyên), γ_k là khối lượng thể tích đơn vị của đất khô đầm chặt (g/cm³), γ_k^{max} là khối lượng thể tích đơn vị đất khô lớn nhất trong phòng thí nghiệm (g/cm³).

Khối lượng thể tích đơn vị đất khô lớn nhất trong phòng thí nghiệm là khối lượng khô lớn nhất trên một đơn vị thể tích của đất rời (tỷ lệ hạt rắn) được đầm chặt với một độ chặt xác định bằng công tác đầm nén và độ ẩm tối ưu [10, 11]. Để xác định giá trị này, tác giả đã đầm nén mẫu ở 5 mức độ ẩm khác nhau. Dữ liệu thực nghiệm được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Xác định mối quan hệ giữa thể tích đơn vị khô của cát và độ ẩm (*)

Khối lượng cối và cát sau đầm (g)	Khối lượng cát sau đầm (g)	Khối lượng lọ để xác định ẩm (g)	Khối lượng lọ và cát ẩm (g)	Khối lượng lọ và cát khô (g)	Độ ẩm tại mỗi lọ (%)	Độ ẩm trung bình (%)	Khối lượng cát khô trong cối (g)	Thể tích đơn vị của cát (g/cm ³)
3317,5	1545	15,55	47,38	45,61	3,88		1496 14	1.60
		15,11	46,26	44,52	3,91	3,96	1400,14	1,00
		15,22	52,14	50,09	4,09			
3367	1594,5	14,6	58,42	55,58	5,11		1515 60	1.62
		10,32	45,12	42,88	5,22	5,20	1515,02	1,05
		15,52	55,24	52,47	5,28			
3428,5	1656	14,6	50,61	46,91	7,89	7,98	1500.50	1.65
		10,32	37,59	34,77	8,11		1555,58	1,05
		15,52	57,03	52,83	7,95			
3417,5	1645	15,55	50,82	46,25	9,88	9,20	1.405.00	1 - 1
		15,11	54,62	49,82	9,63		1497,92	1,61
		15,22	54,74	49,79	9,94			
3409,5	1637	10,7	42,94	38,65	11,10	11,18		
		14,57	51,52	46,31	11,25		1472,38	1,59
		13,97	57,43	51,65	11,19			

Từ Bảng 2, chúng ta có thể xây dựng đường cong mối quan hệ giữa thể tích đơn vị khô và độ ẩm, như trong Hình 3.



Hình 3. Đường cong quan hệ giữa thể tích đơn vị khô và độ ẩm

Từ phương trình trên Hình 3, thể tích đơn vị khô lớn nhất γ_k^{max} bằng 1,65 g/cm³ với độ ẩm tối ưu w₀ là 7,27 %.

Từ phương trình (1), xác định được khối lượng cát khô cần đưa vào thí nghiệm với độ chặt yêu cầu như sau:

$$g_k = \gamma_k \cdot V = K \cdot \gamma_k^{\max} \cdot V, \qquad (2)$$

trong đó: g_k là khối lượng cát khô (g), V là thể tích của khuôn tạo mẫu (cm³).

Lượng nước cần thiết để chế tạo mẫu được xác định:

$$g_n = w_0 \cdot g_k, \tag{3}$$

trong đó: g_n là khối lượng nước cần cho chế tạo mẫu (g), w_0 là độ ẩm tối ưu của cát (%).

Với độ chặt nghiên cứu, mẫu có khối lượng cát khô là 844 g và lượng nước là 62 g.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

a) Phương pháp lý thuyết

Phương pháp đất cố kết thoát nước:

Cường độ kháng cắt của đất bão hòa trong quá trình nén ba trục phụ thuộc vào ứng suất tác dụng, thời gian cố kết, tốc độ biến dạng và lịch sử ứng suất mà đất đã trải qua [12]. Trong phương pháp thí nghiệm này, các đặc tính cắt được đo trong điều kiện thoát nước và có thể áp dụng cho điều kiện hiện trường nơi đất đã được cố kết hoàn toàn dưới ứng suất bình thường hiện có và những thay đổi ứng suất bình thường. Cường độ kháng cắt có thể được biểu thị dưới dạng ứng suất hữu hiệu vì tốc độ biến dạng hoặc tốc độ tác dụng tải trọng đủ chậm để cho phép tiêu tán áp lực lỗ rỗng trong quá trình cắt được sử dụng để dẫn đến điều kiện áp lực nước lỗ rỗng dư không đáng kể.

Biến dạng dọc trục được xác định cho tải trọng dọc trục tác dụng như sau:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta H}{H_c},\tag{4}$$

trong đó: ε_1 là biến dạng dọc trục, ΔH là sự thay đổi chiều cao của mẫu trong quá trình gia tải (mm), H_c là chiều cao của mẫu sau khi cố kết (mm) được xác định:

$$H_c = H_0 - \Delta H_0, \tag{5}$$

với H₀ là chiều cao ban đầu của mẫu (mm), ΔH_0 là sự thay đổi chiều cao của mẫu khi kết thúc quá trình cố kết (mm).

Tính chênh lệch ứng suất chính (ứng suất lệch), $\sigma_1 - \sigma_3$, cho một tải trọng dọc trục tác dụng như sau:

$$\left(\sigma_{1}-\sigma_{3}\right)=\frac{P+K+\sigma_{3}\cdot(A-a)}{A}-\sigma_{3},$$
(6)

where A là diện tích mặt cắt ngang tương ứng (mm²), a là diện tích của pit-tông tải tại điểm nó đi vào buồng (mm2), P là tải trọng tác dụng lên pit-tông để đạt tới σ'_{vc} (ứng suất hữu hiệu theo phương thẳng đứng) có thể được tính như sau:

$$P = (\sigma_{vc} - \sigma_{hc}) \cdot A_c - K + (\sigma_{hc} + u_b) \cdot a,$$

$$K = W - [(A_c - a) \cdot h_c \cdot \gamma],$$
(7)

với σ'_{vc} là ứng suất hữu hiệu theo phương thẳng đứng, được xác định tại tâm mẫu (kPa), σ'_{hc} là ứng suất hữu hiệu ngang, được xác định tại tâm mẫu (kPa), A_c là diện tích mẫu, sau khi được cố kết đẳng hướng (mm²), u_b là áp lực ngược (kPa), h_c là khoảng cách từ đỉnh nắp chất tải đến giữa chiều cao của mẫu, sau khi cố kết đẳng hướng (mm), W là trọng lượng của pit-tông, nắp trên và nửa trên của mẫu (g).

Phương pháp đất cố kết không thoát nước:

Mối quan hệ cấu thành của các thông số động được xác định bởi ứng suất và biến dạng dọc trục trong mẫu [13].

Ứng suất và biến dạng dọc trục trong mẫu có thể thu được từ phản ứng của nó đối với tải trọng động tăng dần. Ứng suất cắt động tối đa τ_d và biến dạng động δ_d trong mẫu được xác định như sau:

$$\tau_{d} = \frac{\sigma_{d}}{2}; \tag{8}$$
$$\delta_{d} = (1+\mu) \cdot \varepsilon_{d}, \tag{9}$$

trong đó: σ_d là ứng suất động lớn nhất trong mẫu (kPa), ε_d là biến dạng động lớn nhất trong mẫu (mm), μ là hệ số Poát-xông của vật liệu.

Mô đun đàn hồi động (mô đun Young) được xác định từ ứng xử của đất thông qua ứng suất - biến dạng dưới tác dụng của tải trọng dọc trục theo chu kỳ (Hình 4), và có thể được tính như sau:

$$E_{d} = \frac{\sigma_{d}}{\varepsilon_{d}} = \frac{\frac{(\sigma_{d1} - \sigma_{d2})}{2}}{\frac{(\varepsilon_{d1} - \varepsilon_{d2})}{2}},$$
(10)

trong đó: $\sigma_{d1}, \sigma_{d2}, \varepsilon_{d1}, \varepsilon_{d2}$ lần lượt là các giá trị lớn nhất của ứng suất nén dọc trục, ứng suất kéo dọc trục, biến dạng nén dọc trục và biến dạng kéo dọc trục.



Hình 4. Ứng xử ứng suất - biến dạng của đất dưới tác dụng tải trọng dọc trục và xác định mô đun đàn hồi Do đó, mô đun cắt động của mẫu được xác định:

$$G_d = \frac{E_d}{2 \cdot (1+\mu)}.\tag{11}$$

Tỷ số cản là một thông số động lực học quan trọng của đất biểu thị đặc tính trễ của đặc tính ứng suất - biến dạng của nó dưới tác dụng của tải trọng tuần hoàn (Hình 5), được xác định [14]:

$$D = \frac{A_L}{4 \cdot \pi \cdot A_T} \cdot 100\%, \tag{12}$$

trong đó: A_L là diện tích bên trong vòng trễ (kN - m), A_T là diện tích tam giác được tính: $A_T = 0.5 \cdot L \cdot S$, L và S là các cạnh được nối bởi vòng trễ và trục tọa độ (Hình 5).



Hình 5. Xác định mô đun cắt và tỷ số cản của đất chịu tải trọng tuần hoàn

b) Phương pháp thí nghiệm

Thiết bị ba trục tuần hoàn được sử dụng trong nghiên cứu này (tại Phòng thí nghiệm Địa Kỹ thuật - Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt) được trình bày như Hình 6.



Hình 6. Thiết bị ba trục tuần hoàn thử nghiệm được sử dụng 1 - Khung nén ba trục; 2 - Bộ điều khiển; 3 - Máy tính có phần mềm chuyên dụng; 4 - Bình nén khí; 5 - Van khóa; 6 - Hệ thống đo sự thay đổi thể tích; 7 - Buồng ba trục; 8 - Tải trọng dọc trục; 9 - Hệ thống tạo tải trọng

Mẫu được đầm nén trong khuôn hình trụ tròn có đường kính 7cm và cao 14cm. Khi đầm nén từng lớp trong khuôn cần kiểm soát độ đồng đều của độ chặt đã tính toán.

Các giai đoạn thử nghiệm được thực hiện như sau:

- Giai đoạn chế tạo mẫu: Đầm nén mẫu cát vào khuôn theo độ chặt yêu cầu.



Hình7: Mẫu cát được chể bị

- Giai đoạn bão hòa mẫu tự nhiên: Sử dụng nước đã hút chân không lấp đầy tới mức tối đa các lỗ rỗng trong mẫu.





Hình 8: Giai đoạn bão hòa tự nhiên

- Giai đoạn bão hòa mẫu bằng thiết bị: Sử dụng thiết bị bão hòa cho mẫu tới khi hệ số bão hòa $B \ge 0.95$ thông qua việc tăng áp lực buồng và áp lực ngược.

- Giai đoạn cố kết mẫu bằng thiết bị: Thực hiện cố kết mẫu cho đến khi độ cố kết đạt trên 98% và ứng suất hữu hiệu 100kPa thì dừng lại.

- Giai đoạn gia tải: Thiết lập các thông số trên phần mềm Dyna Triaxis như chế độ không thoát nước hoặc thoát nước, loại tải, tần số gia tải, ứng suất hữu hiệu, biên độ tải và số chu kỳ quan sát. Nghiên cứu này thiết lập tải theo [13] với tải trọng hình sin và dọc trục với tần số tải không đổi 0,5 Hz. Biên độ tải được tính theo công thức:

$$A_{Load} = 2 \cdot CSR \cdot \sigma_0, \tag{13}$$

trong đó: A_{Load} là biên độ tải (kPa), CSR là tỷ lệ ứng suất được lấy trong khoảng 0,15 và 0,3, $\sigma_0^{'}$ ứng suất hữu hiệu (kPa), trong nghiên cứu này $\sigma_0^{'} = 100$ kPa. Nhóm tác giả đã sử dụng ba giá trị CSR khác nhau là 0,15, 0,25 và 0,3. Do đó, biên độ tải nghiên cứu lần lượt là 30 kPa, 50 kPa và 60 kPa.

Sau đó, quan sát thí nghiệm thông qua số chu kỳ gia tải.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả

a) Gia tải trong điều kiện thoát nước

Dưới tác dụng của tải trọng tuần hoàn trong điều kiện thoát nước với hàng nghìn, thậm chí hàng triệu chu kỳ tải, mẫu thử chỉ có hiện tượng tích tụ biến dạng [2]. Vì vậy, trong nghiên cứu này, tác giả đã quan sát ứng xử của mẫu cát trong điều kiện thoát nước với hơn 5000 chu kỳ và nhận thấy mẫu cát chỉ biến dạng vừa phải, biến dạng tăng chậm. Có vẻ như các hạt được sắp xếp ổn định hơn và các thông số động học như mô đun đàn hồi, mô đun cắt và tỷ số cản thay đổi rất ít và có xu hướng ổn định, như minh họa bên dưới.

Với biên độ tải 30kPa trong điều kiện thoát nước, có thể thấy độ ổn định mô đun đàn hồi trong khoảng từ 100MPa đến 102MPa, độ ổn định mô đun cắt trong khoảng từ 32MPa đến 34MPa và độ ổn định tỷ số cản trong khoảng từ 4,3 % đến 4,5%, biến dạng dọc trục tích lũy từ 0,02 đến 0,03.



Hình 9. Ứng xử của mẫu cát dưới tải trọng thoát nước với biên độ 30 kPa

Với biên độ tải 50 kPa trong điều kiện thoát nước, có thể thấy độ ổn định mô đun Young trong khoảng từ 146 MPa đến 149 MPa, độ ổn định mô đun cắt trong khoảng từ 48 MPa đến 49 MPa và độ ổn định tỷ số cản trong khoảng từ 4,5 % đến 4,7 %, biến dạng dọc trục tích lũy từ 0,03 đến 0,05.



Hình 10. Ứng xử của mẫu cát dưới tải trọng thoát nước với biên độ 50kPa

Với biên độ tải 60kPa trong điều kiện thoát nước, có thể thấy độ ổn định mô đun Young trong khoảng từ 149MPa đến 150MPa, độ ổn định mô đun cắt trong khoảng từ 48MPa đến 50MPa và độ ổn định tỷ số cản trong khoảng từ 5,5% đến 5,8%, biến dạng dọc trục tích lũy từ 0,03 đến 0,06.



Hình 11. Ứng xử của mẫu cát dưới tải trọng thoát nước với biên độ 60kPa b) Gia tải trong điều kiện không thoát nước

Khi tải trọng tác dụng nhỏ với biên độ 30kPa (tương ứng với CSRmin), tương tự như trường hợp trên với hơn 5000 chu kỳ quan sát, mẫu gần như chỉ bị biến dạng vừa phải và các hạt cát dường như được sắp xếp lại ổn định hơn. Mẫu cát chưa xảy ra hiện tượng hóa lỏng. Có

thể thấy, độ ổn định tỷ số cản từ 1,1% đến 1,5%, mô đun Young giảm từ 189MPa xuống còn khoảng 173MPa, mô đun cắt giảm từ 63MPa xuống 58MPa sau đó có xu hướng ổn định. Biến dạng dọc trục được tích lũy từ 0,02 đến 0,03.



Hình 12. Ứng xử của mẫu cát dưới tải trọng không thoát nước với biên độ 30kPa

Khi gia tải với biên độ 50kPa, mẫu cát hóa lỏng với số chu kỳ chất tải là 1738. Mẫu cát có mô đun Young giảm từ 172MPa, mô đun cắt giảm từ 58MPa và giảm nhanh khi mẫu tiến tới hóa lỏng. Trong khi đó, chúng ta thấy xu hướng ngược lại với tỷ số cản và biến dạng dọc trục khi mẫu hóa lỏng, tỷ số cản tăng từ 4,2% lên 17%, biến dạng dọc trục tăng nhanh chóng và không thể phục hồi.



Hình 13. Ứng xử của mẫu cát dưới tải trọng không thoát nước với biên độ 50 kPa

Khi gia tải với biên độ 60kPa, mẫu cát hóa lỏng với số chu kỳ chất tải là 773. Mẫu cát có mô đun Young giảm từ 167MPa, mô đun cắt giảm từ 56MPa và giảm nhanh khi mẫu tiến

tới hóa lỏng. Trong khi đó, chúng ta thấy xu hướng ngược lại với tỷ số cản và biến dạng dọc trục khi mẫu hóa lỏng, tỷ số cản tăng từ 5% lên 19%, biến dạng dọc trục tăng nhanh chóng và không thể phục hồi.



Figure 13: Ứng xử của mẫu cát dưới tải trọng không thoát nước với biên độ 60 kPa

3.2. Thảo luận

Từ các Hình 9, 10 và 11, qua hàng nghìn chu kỳ chất tải, trạng thái của mẫu cát dưới tác dụng chất tải tuần hoàn trong điều kiện thoát nước thể hiện sự tích tụ biến dạng. Các mẫu cát chỉ có biến dạng vừa phải, dường như các hạt cát được sắp xếp ổn định hơn, các thông số động học như mô đun Young, mô đun cắt, hệ số giảm chấn thay đổi rất ít và có xu hướng ổn định. Dưới tác dụng của biên độ tải, khi biên độ tải tăng thì các giá trị mô đun Young, mô đun cắt, hệ số giảm chấn thay đổi rất trị mô đun Young, mô đun cất, hệ số giảm chấn thay đổi rất trị mô đun Young, mô đun cất, hệ số giảm chấn thay đổi tải tăng thì các giá trị mô đun Young, mô đun cất, hệ số giảm chấn và biến dạng dọc trục lần lượt tăng.

Từ các Hình 12, 13 và 14, trong điều kiện không thoát nước, với biên độ tải trọng nhỏ, chúng ta cũng thấy xu hướng ổn định của mẫu cát, các thông số động học ít thay đổi và ảnh hưởng gần như không đáng kể đến khả năng hóa lỏng của mẫu cát. Ngoài ra, khi tăng biên độ tải trọng thì áp lực lỗ rỗng trong mẫu tăng; đến lúc mẫu không còn khả năng chống cắt nữa thì nó sẽ hóa lỏng. Lúc này, tỷ số cản và biến dạng dọc trục tăng lên đáng kể. Số liệu thực nghiệm cũng cho thấy, khi tăng biên độ tải thì khả năng hóa lỏng của mẫu nhanh hơn, mô đun Young và mô đun cắt giảm trong khi hệ số giảm chấn và biến dạng dọc trục tăng.

4. Kết luận

Trong điều kiện tải trọng tuần hoàn thoát nước, áp lực lỗ rỗng không hình thành, chỉ có biến dạng tích lũy và các thông số động gần như ổn định. Các mẫu cát chỉ bị biến dạng vừa phải, dường như các hạt cát được sắp xếp ổn định hơn. Dưới tác dụng của biên độ tải, khi biên độ tăng thì các giá trị mô đun Young, mô đun cắt, tỷ số cản và biến dạng dọc trục lần lượt tăng. Qua hàng ngàn chu kỳ tải trọng được quan sát, có thể thấy, khi xét đến điều kiện thực tế tại hiện trường, vật liệu có khả năng thoát nước tốt cũng như đảm bảo thoát nước cho nền móng công trình, khả năng chịu tải động của vật liệu đáp ứng các yêu cầu khai thác.

Trong điều kiện tải trọng tuần hoàn không thoát nước, khi tải trọng tác dụng nhỏ, mẫu cát cũng có xu hướng ổn định và các thông số động thay đổi nhỏ, hầu như ảnh hưởng không đáng kể đến khả năng hóa lỏng của mẫu. Ngoài ra, khi tăng biên độ thì áp lực lỗ rỗng trong mẫu tăng; đến lúc mẫu vật không còn khả năng chống cắt nữa thì nó sẽ hóa lỏng. Lúc này, tỷ số cản và biến dạng dọc trục tăng lên đáng kể. Dưới ảnh hưởng của biên độ tải, khi biên độ tăng, quá trình hóa lỏng của mẫu nhanh hơn, đồng thời các giá trị mô đun Young và mô đun cắt giảm trong khi tỷ số cản và biến dạng dọc trục tăng lộn dạng dọc trục tăng. Từ đó, để đảm bảo an toàn cho nền móng công trình dưới tác dụng nhanh của tải trọng động, tải trọng khai thác theo thiết kế sẽ giúp tăng tuổi thọ công trình, khi khai thác quá tải sẽ gây hư hỏng nhanh chóng cho công trình.

Những phát hiện này được kỳ vọng sẽ đóng góp kỹ thuật địa kỹ thuật bằng cách nâng cao hiểu biết về cơ học đất và hỗ trợ thiết kế các kết cấu an toàn hơn, hiệu quả hơn.

Tài liệu tham khảo

- [1]. P.L. Souza Junior, O.F. Santos Junior, T.B. Fontoura, O. Freitas Neto (2020). Drained and Undrained Behavior of an Aeolian Sand from Natal, Brazil. *Soils and Rocks*, page 263-270, DOI: 10.28927/SR.432263.
- [2]. T. Wichtmann, A. Niemunis, Th. Triantafyllidis (2005). Strain accumulation in sand due to cyclic loading: drained triaxial tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, page 967-979, https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2005.02.022.
- [3]. Zhehao Zhu, Feng Zhang, Qingyun Peng, Jean-Claude Dupla, Jean Canou, Gwendal Cumunel, Evelyne Foerster (2021). Effect of the loading frequency on the sand liquefaction behaviour in cyclic triaxial tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, page 106779, https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106779.
- [4]. ASTM D422 63 (2002). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
- [5]. TCVN 4198 (2014). Soils Labroratory methods for particle size analysis.
- [6]. BS 1377-3 (1990). Methods oftest forsoils for engineering purposes. Chemical and electro-chemical test.
- [7]. TCVN 4195 (2012). Soil Method of laboratoly determination of specifc weight.
- [8]. ASTM D698-12 (2021). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort.
- [9]. TCVN 4201(2012). Soils Laboratory methods for determination of compaction characteristics.
- [10]. ASTM D1557-12 (2021). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort.
- [11]. TCVN 8721 (2012). Soils for hydraulic engineering construction Laboratory test method for determination of maximum and minimum dry volumetric weight of non-cohesive soil.
- [12]. ASTM D7181-20 (2020). Standard Test Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils.
- [13]. ASTM D3999 (2019). Standard Test Methods for the Determination of the Modulus and Damping Properties of Soils Using the Cyclic Triaxial Apparatus.
- [14]. Hardin, B.O.; Drnevich, V.P (1972). Shear modulus and damping in soils: Design equations and curves. J. Soil Mech. Found. Div, page 667–692, DOI: 10.1061/JSFEAQ.0001760.

Behavior of Sand Specimens Subjectef to Cyclic Loads Underdrained and Undrained Conditions in Variable Loading amplitudes

Abstract:

The article presents the behavior of natural river sand specimens subjected to cyclic loads under drained and undrained conditions by cyclic triaxial tests in the laboratory. The experiments are performed on sand specimens with a relative compaction of 0.95, when changing the loading amplitude with three different levels of 30 kPa, 50 kPa, and 60 kPa. Experimental results show that, under the condition of draining cycle loading, pore pressure does not form, only accumulated strain and dynamic parameters are almost unchanged. Meanwhile, with the condition of undrained cyclic loading, the pore water pressure in the specimens increases and causes liquefaction of the specimen, then the axial strain increases dramatically and does not capable of recovery. When varying the loading amplitude under drained condition, the initial strength values increase as the amplitude of the load increases. This trend has the opposite direction when testing under undrained conditions, it means that when increasing the loading amplitude, the initial strength values decrease, and the liquefaction potential of the specimens is faster. Besides, under the undrained condition, when the loading amplitude is low as 30 kPa, with almost negligible effect on the liquefaction ability of the specimen.

Keywords: Sand, Drained, Undrained, Loading amplitude, Cyclic triaxial tests.

Nghiên cứu hiệu quả giảm sóng tràn của kết cấu kè hắt sóng tại vùng biển xa bờ của Việt Nam

ThS. Lê Văn Tú

Học viện Kỹ thuật Quân sự Email: levantucaudong@gmail.com; Tel: 0965228255

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu lượng sóng tràn trên một con sóng cho một số dạng kết cấu kè biển thông dụng đang được xử dụng tại vùng biển xa bờ của Việt Nam: dạng kè biển có tường đỉnh dạng mái cong hắt sóng (kè hắt sóng), mái nghiêng và tường đứng trong những điều kiện điển hình. Tác giả sử dụng mô hình toán Flow-3D để mô phỏng sự tương tác giữa kết cấu và môi trường qua đó xác định lượng sóng tràn trong các kịch bản nghiên cứu. Qua phân tích kết quả mô phỏng nhận thấy kết cấu kè hắt sóng có hiệu quả cao trong giảm lưu lượng sóng tràn, từ đó cho thấy tính hiệu quả khi sử dụng loại kết cấu này cho các công trình kè biển phục vụ mục đích phát triển kinh tế và an ninh quốc phòng.

Từ khóa: Kè biển, lưu lượng sóng tràn, phần mềm flow-3D, động lực học chất lỏng tính toán.

1. Đặt vấn đề

Nước bị đẩy tràn qua đỉnh đê do động năng của sóng khi mà đỉnh đê vẫn còn cao hơn mực nước biển được gọi là sóng tràn

< <u> </u>							
		н	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83
F	<u>м</u>	Α	0.53	0.79	1.05	1.33	1.63
		В	0.38	0.50	0.61	0.72	0.84
		С	0.33	0.42	0.52	0.60	0.67
	I	D	0.31	0.52	0.75	0.99	1.24
\sim		Ε	0.15	0.23	0.30	0.38	0.46
7		F	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11
	V						

Hình 1. Hình dạng mái cong được đề xuất bởi Berkey-Thorn và Robert (1981)

Nghiên cứu này được ứng dụng rộng rãi trong kết cấu công trình thủy công, đã được giới thiệu trong sổ tay bảo vệ bờ của Mỹ[3, 5]. Ở nước ta kết cấu kè hắt sóng đang được sử dụng khá phổ biến, đặc biệt tại vùng biển xa bờ, nơi có điều kiện tự nhiên phức tạp, kết cấu này đã chứng minh hiệu quả giảm tràn rất tốt. Tuy nhiên chưa có những chỉ dấn cụ thể cho thiết kế yếu tố hình học mặt cong hắt sóng cho từng khu vực cũng như trường sóng khác nhau, dẫn đến một số vị trí lượng tràn còn lớn chưa đạt được mục tiêu thiết kế đề ra.





Để giảm tác hai của sóng tràn đối với kết cấu công trình, trước tiên cần xác đinh được lưu lương tràn và hiểu rõ sư tương tác của sóng tràn đối với kết cấu. Tuy vây, hiện nay việc dự đoán lượng sóng tràn lên kết cấu phần lớn dựa trên các công thức thực nghiệm được tổng kết từ các mô hình trong phòng thí nghiệm, các kết quả này thường được thể hiện trong mối quan hệ giữa kích thước hình học của kết cấu, chiều cao sóng tới trước chân công trình và lượng sóng tràn[1, 5, 6]. Điều này dẫn tới nhiều hạn chế do điều kiện thí nghiệm, sai số do mô hình thí nghiệm biến thái, các kịch bản khảo sát, đồng thời trên thực tế còn nhiều tham số phức tạp khác của bản thân kết cấu và sóng tới chưa được xét tới đầy đủ trong các công thức thực nghiệm [7, 8]. Mặt khác lưu lượng tràn trong một quá trình thử nghiệm được xác định do đó các công thức này chủ yếu dưa trên lưu lương tràn trung bình mà không đưa ra thông tin những tham số tức thời như tốc độ dòng chảy, lưu lượng trung bình trong thời gian sóng tràn của 1 chu kỳ sóng (từ khi bắt đầu tràn và kết thúc tràn), cũng như chiều cao của lương nước tràn vượt đỉnh công trình [9]. Nếu như việc xác định lưu lượng tràn trung bình để phục vụ cho quá trình thiết kế hệ thống thoát nước thì lượng tràn tức thời lại ảnh hưởng lớn đến điều kiện khai thác (cho người và phương tiện) cũng như độ an toàn của kết cấu (điều kiện cực trị). Do đó, yêu cầu tất yếu cho sự phát triển các phần mô hình toán để giải quyết khoảng trống giữa các công thức kinh nghiệm và điều kiện thực nghiệm của mô hình, mô phỏng quá trình tương tác kết cấu và trường sóng.

Đã có nhiều nghiên cứu lý thuyết lẫn thực nghiệm về tương tác sóng tràn của kết cấu kè mái cong được thực hiện trong nước và trên thế giới, tuy nhiên chủ yếu tập trung vào kết quả thực nghiệm bị hạn chế bởi các điều kiện thực nghiệm[3, 10], sử dụng mô hình 1 chiều vì vậy chưa mô tả được tính ngẫu nhiên của quá trình tương tác này[11, 12]. Mặt khác với kết cấu kè mái cong điển hình đang được áp dụng tại vùng biển xa bờ của nước ta hiện chưa có nghiên cứu cụ thể nào được công bố.

Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng mô hình toán Flow-3D để thực hiện nghiên cứu của mình. Flow-3D dựa trên nền tảng phương pháp số kết hợp với công nghệ mô phỏng giải quyết các bài toán tương tác kết cấu và môi trường. Flow – 3D đã được nhiều tác giả sử dụng để mô phỏng tương tác sóng (tuyến tính và không tuyến tính) với nhiều dạng kết cấu khác nhau, các kết quả đã được công bố chứng minh rằng mô hình Flow-3D đảm bảo độ tin cậy cao trong nghiên cứu sóng tràn.[8]

2. Thiết lập mô hình

Trong nghiên cứu này, tác giả tiến hành mô phỏng sự tương tác giữa kết cấu và trường sóng đặc trưng tại vùng biển xa bờ của Việt Nam cho 03 biên dạng kè biển điển hình: dạng mái nghiêng (m=3), dạng thẳng đứng và dạng hắt sóng trong 11 kịch bản thay đổi mực nước (thay đổi tham số độ cao lưu không đỉnh kè R_c). Xác định lưu lượng sóng tràn tức thời lớn nhất, lưu lượng tràn trung bình đỉnh sóng qua đó đánh giá hiệu quả giảm sóng tràn của các kết cấu nghiên cứu. Tham số sóng lựa chọn là H1/3= 1.4 (m), chu kỳ sóng Tp=10s, vận tốc gió 18.2m/s mực nước thay đổi 2.0 ÷3.0(HĐ) đây là điều kiện đặc trưng trên các thềm nước nông khu vực quy hoạch kết cấu kè hắt sóng.

		Tham số đầu vào				Kết cấu		
STT	Kịch bản	Chiều cao sóng H1/3 (m)	Chu kỳ sóng Tp (s)	Mực nước (HĐ)	Vận tốc gió V(m/s)	1	2	3
1	KB1	1.4	10	2.0	18.2	Mái nghiêng	Tường đứng	Kè hắt sóng
2	KB2	1.4	10	2.1	18.2	nt	nt	nt
3	KB3	1.4	10	2.2	18.2	nt	nt	nt
4	KB4	1.4	10	2.3	18.2	nt	nt	nt
5	KB5	1.4	10	2.4	18.2	nt	nt	nt
6	KB6	1.4	10	2.5	18.2	nt	nt	nt
7	KB7	1.4	10	2.6	18.2	nt	nt	nt
8	KB8	1.4	10	2.7	18.2	nt	nt	nt
9	KB9	1.4	10	2.8	18.2	nt	nt	nt
10	KB10	1.4	10	2.9	18.2	nt	nt	nt
11	KB11	1.4	10	3.0	18.2	nt	nt	nt

Bảng 1: Tổng hợp các kịch bản nghiên cứu



Hình 3: Các biên dạng mặt cắt kè nghiên cứu

2.2. Phương trình cơ bản

Mô hình toán Flow -3D sử dụng phương trình Navier- Stoker làm phương trình chủ đạo, được giải bằng sử dụng kỹ thuật thể tích khối (volume of fluid (VOF)). Phương trình này là sự kết hợp của hai phương trình bảo toàn khối lượng và động lượng, trong hệ tọa độ không gian 3 chiều Descartes (x,y,z). Phương trình khối lượng liên tục được biểu diễn dưới công thức sau [13]:

2.2.1. Phương trình liên tục

Dạng tổng quát của phương trình liên tục khối lượng có dạng:

$$V_{F}\frac{\partial\rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_{x}) + R\frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_{y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_{z}) + \xi \frac{\rho u A_{x}}{x} = R_{\text{DIF}} + R_{\text{SOR}}$$
(1)

Trong đó:

V_F: là thể tích đoạn đầu của dòng chảy;

 ρ : là mật độ của dòng chảy;

R: là hệ số liên quan tới khuếch tán rối của chất lỏng;

u, v, w: là các thành phần vận tốc của chất lỏng theo các phương x,y,z;

Ax, Ay, Az: Diện tích phân tố chất lỏng theo các phương tương ứng vuông góc với trục x,y,z trong hệ tọa độ Descartes;

Với phép tính gần đúng, phương trình liên tục được viết gọn dưới dạng sau:

$$\frac{V_F}{\rho c^2} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u A_x}{\partial x} + R \frac{\partial v A_y}{\partial y} + \frac{\partial w A_z}{\partial z} + \xi \frac{u A_x}{x} = \frac{R_{\text{SOR}}}{\rho}$$
(2)

2.2.2. Phương trình động lượng

Trong hệ tọa độ Descartes phương trình chuyển động của các thành phần chất lỏng (u,v,w) theo ba phương tọa độ là phương trình Navier – Stokes với một số điều kiện bổ sung được trình thể hiện như sau [13]:

1168

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial x} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \xi \frac{Av^2}{xV_F} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} \left(u - u_w - \delta u_s \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial x} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} + \xi \frac{A_y uv}{xV_F} = -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} \left(v - v_w - \delta v_s \right)$$
(3)
$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial x} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} \left(w - w_w - \delta w_s \right)$$

Tác giả sử dụng mô hình RNG để giải các phương trình dòng rối cho tất cả các kịch bản. RNG được biết đến với khả năng mô phỏng các vùng chịu cắt mạnh của dòng chảy một cách chính xác hơn phù hợp với đặc điểm của các kịch bản mô phỏng. Mô hình RNG sử dụng kỹ thuật tích phân, tính toán động năng rối k_t và tốc độ tiêu tán động năng ε_t . Mô hình RNG ít dựa vào các hằng số thực nghiệm cố định mà thay vào đó sử dụng thang chảy rối để xác định các tham số biến thiên theo các trường hợp [14]. Tốc độ tối thiểu của tốc độ tiêu tán năng lượng rối ε_T được giới hạn theo phương trình sau:

$$\varepsilon_{T,\min} = C_v \sqrt{\frac{3k_T^{3/2}}{2T_{LEN}}} \tag{4}$$

Trong đó C_v là một tham số (giá trị mặc định là 0.09), K_t là động năng rối và T_{LEN} là thang chiều dài rồi. Giá trị không đổi cho thang chiều dài này được chọn theo quy tắc 7% kích thước của vật thể chuyển động chiếm ưu thế. Thông tin chi tiết về các mô hình nhiễu loạn và các mô hình phương trình tương ứng có trong (FLOW-3D, 2009) [13]

2.3. Miền và lưới tính

Để thiết lập mô hình tính toán sóng tràn, tác giả xây dựng mô hình kết cấu trên Autocad sau đó xuất file dưới dạng .stl và nhập trực tiếp vào Flow 3D. Tác giả xây dựng 03 mô hình toán tương ứng với 03 dạng kết cấu, kích thước tổng thể của mô hình được lựa chọn tối thiểu, tuy nhiên cần phải đủ lớn để phản ánh tương tác sóng tràn đối với kết cấu. Với mục đích nghiên cứu hiệu quả giảm tràn của kết cấu nên tác giả tập trung nghiên cứu trong chu kỳ đầu tiên, vì vậy mô hình không thiết kế lớp hấp thụ sóng để giảm hiện tượng phản xạ của sóng tới bề mặt kết cấu. Trên cơ sở đó tác giả lựa chọn xây dựng kích thước cụ thể của 03 mô hình như sau:

11x8x3m đối với 01 mô hình mô phỏng kết cấu kè tường đứng.

20x8x3m đối với 02 mô hình mô phỏng kết cấu kè mái nghiêng và kè hắt sóng;



Hình 4: Kích thước hình học: 1. Tường đứng, 2. Mái nghiêng; 3. Kè hắt sóng

Việc lựa chọn kích thước lưới hợp lý cho ô tính toán là nhiệm vụ rất quan trọng. Giá trị này được cân đối dựa trên độ chính xác của mô hình và thời gian tính toán mô phỏng. Do đó

số lượng ô tính toán cần được khống chế ít nhất có thể nhưng vẫn đảm bảo đủ độ phân giải và sai số chấp nhận được của bài toán mô phỏng. Trong nghiên cứu này tác giả lựa chọn ô lưới đồng nhất với kích thước 0.05m.

2.4. Điều kiện biên

Điều kiện biên trong mô hình thể hiện trên **Hình**, sóng và dòng chảy được tính toán trên hệ tọa độ đề các 6 mặt trong đó: theo phương X biên tạo sóng X_{min} – Wave, biên của dòng chảy ra X_{max} – Outflow; theo phương Y gồm tường bên trái với Ymin – Symmetry và tường bên phải với Y_{max} – Symmetry; theo phương Z biên thấp nhất trên được gán Z_{min} – Wall, biên lớn nhất được gán Z_{max} – Specified pressure.

Trạng thái ban đầu tại thời điểm t=0 được thiết lập để xác định điều kiện ban đầu của kịch bản mô phỏng, tác giả sử dụng tham số cao độ mực nước như trên hình;



Hình 5: Điều kiện biên của mô hình

2.5. Điều kiện sóng

Biên sóng của mô hình được thiết lập tại mặt phẳng X_{min} . Sóng bề mặt được truyền thẳng theo phương X tới biên mô hình tính. Sử dụng dạng sóng Stoke và Cnoidal.

3. Kết quả và thảo luận

Nghiên cứu tập trung đánh giá hiệu quả giảm sóng tràn của kết cấu kè hắt sóng vì vậy tác giả sử dụng 02 tham số chính là chỉ tiêu so sánh: lưu lượng tràn lớn nhất trên một con sóng q_{max} (m³/m/s), lượng tràn trung bình q_{tb} (m³/m/s. Do đó để giảm ảnh hưởng của yếu tố ngẫu nhiên trong quá trình tương tác kết cấu và môi trường tác giả chỉ nghiên cứu mô phỏng và phân tích các tham số sóng tràn trong chu kỳ đầu.



Hình 6: Quá trình tràn và lượng tràn

$$\frac{q_{tb} = \int_{0}^{T} q(t)dt}{T} \qquad (1/m/s)$$
(5)

Trong đó:

qtb: Lượng tràn trung bình (l/m/s);

T: Chu kỳ sóng (s);

Kết quả mô phỏng:



Hình 7: Sóng tràn qua kết cấu mái nghiêng (mực nước +2.6, Rc = 1.9m)



Hình 8: Sóng tràn qua kết cấu tường đứng (mực nước +2.6, Rc = 1.9m)



Hình 9: Sóng tràn qua kết cấu KHS (mực nước +2.6, Rc =1.9m)

Kết quả mô phỏng thể hiện trên các Hình 7, Hình 8, Hình 9 cho thấy so với 02 kết cấu tường đứng và mái nghiêng, hiệu quả giảm sóng tràn của kè hắt sóng tỏ ra đặc biệt hiệu quả nhờ kết cấu mũi hắt sóng làm chệch hướng dòng nước từ sóng tới bề mặt kết cấu. Đồng thời vận tốc dòng tràn sau tường đỉnh cũng rất nhỏ so với 02 kết cấu còn lại.




Qua kết quả mô phỏng lưu lượng tràn cực trị trên **Hình 2** nhận thấy, kết cấu kè hắt sóng tỏ ra đặc biệt hiệu quả so với kết cấu tường đứng và kết cấu kè mái nghiêng. Đặc biệt trong các kịch bản nghiên cứu khi độ cao lưu không nhỏ Rc < 1,9m gần như không xuất hiện sóng tràn qua kết cấu kè hắt sóng. Khi chiều cao lưu không giảm dần kè hắt sóng vẫn tỏ ra hiệu quả: giảm gần 21% so với kè tường đứng và 46% so với kết cấu kè mái nghiêng. Chính vì vậy, tác giả nhận định rằng sử dụng kết cấu kè hắt sóng nhằm giảm tác hại của sóng tràn là phù hợp và hiệu quả tại vùng biển xa bờ của nước ta.



Hình 3: Lưu lượng sóng tràn trung bình Qua kết quả nghiên cứu thể hiện trong **Hình 3** nhận thấy:

Khi sử dụng kết cấu mái nghiêng và tường đứng, gần như trong mọi điều kiện khảo sát đều không đảm bảo an toàn cho người và phương tiện đi lại sau bờ kè. Khi mực nước tăng lên khoảng +2.6m các công trình sau tường biển vẫn đảm bảo an toàn mặc dù chưa được gia cố bảo vệ sau tường đỉnh. Trong điều kiện mực nước dâng lớn cần phải giả cố phía sau tường đỉnh để đảm bảo an toàn cho công trình không bị phá hoại do sóng tràn.

Khi sử dụng kết cấu kè hắt sóng trong các kịch bản khảo sát khi chiều cao lưu không lớn gần như kết cấu đảm bảo không có hiện tượng tràn. Kết cấu đảm bảo an toàn cho người sinh hoạt và đi lại xung quanh phạm vi kè biển. Tuy nhiên trong điều kiện thời tiết cực đoan, mực nước tăng dần, chiều cao lưu không giảm, lượng sóng tràn khá lớn không đảm bảo an toàn cho quá trình lưu thông đi lại bên cạnh kết cấu kè hắt sóng. Đối với an toàn của công trình sau tường biển kết cấu đảm bảo độ an toàn.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Qua nghiên cứu và khảo sát sự làm việc của 03 dạng kết cấu nhận thấy dạng kết cấu kè hắt sóng có khả năng giảm sóng tràn hiệu quả hơn rõ rệt so với 02 dạng kết cấu còn lại là tường đứng và mái nghiêng (khoảng trên 20%). Đặc biệt trong điều kiện thời tiết ít bất lợi, mực nước thấp chiều cao lưu không nhỏ hiệu quả giảm sóng tràn trở lên vượt trội gần như không xuất hiện hiện tượng tràn qua kè mái cong, điều này là do mặt cong hắt sóng ngược trở lại khi sóng leo trên mặt công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] *EurOtop*, 2018.
- [2] Z. Y. Zhenlu Wang, Yujie Chen, and Bo Yang, "Numerical Study on the Effects of Submerged Breakwater on Wave Overtopping," *Journal of Coastal Research*, no. 79, pp. 264-268, 2017.
- [3] T. Schoonees, "Impermeable recurve seawalls to reduce wave

overtopping," MEng(Research), Faculty of Engineering, Stellenbosch University, 2014.

- [4] T. M. Quang, *Công trình biển*. Hà Nội: Nhà xuất bản giao thông vận tải, 2007.
- [5] Shore Protection Manual, 1984.
- [6] *TCVN 9901: 2014*, 2014.
- [7] W. H. Hong Xiao, Jianhua Tao, "Numerical modeling of wave overtopping a levee during Hurricane Katrina," *Computers & Fluids*, 2008.
- [8] M. A. M. A. M. A. YAZID MALIKI, ZAMRI, OMAR Y, "Comparison of numerical and experimental results for overtopping discharge of the obrec wave energy converter," *Journal of Engineering Science and Technology* vol. Vol. 12, No. 5 (2017), pp. 1337 - 1353, 2017.
- [9] M. N. M. Mahmood Nematollahi, "Numerical Simulation of Spatial Distribution of Wave Overtopping on Non-reshaping Berm Breakwaters," *Journal of Marine Science* and Application, 2020.
- [10] T. X. Thọ, "Nghiên cứu hình thức kết cấu tường biển, ở các khu đô thị, khu du lịch ven biển miền bắc ứng dụng cho quận Đồ Sơn thành phố Hải Phòng," PhD, Đại học thủy lợi, 2022.

- [11] T. T. Lê Đức Dũng, Nguyễn Quang Chiến, "NGHIÊN CỨU SÓNG TRÀN VÀ ÁP LỰC SÓNG TÁC ĐỘNG LÊN TƯỜNG BIỂN CÓ MŨI HẮT SÓNG BẰNG MÔ HÌNH MÁNG SÓNG SỐ," TẠP CHÍ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ THỦY LỢI, 2019.
- [12] T. T. Lê Đức Dũng, Nguyễn Quang Chiến, "NGHIÊN CỨU SÓNG TRÀN VÀ ÁP LỰC SÓNG TÁC ĐỘNG LÊN CÔNG TRÌNH TƯỜNG ĐỈNH BẰNG MÔ HÌNH MÁNG SÓNG SỐ," Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển, 2020.
- [13] Flow-3D, "Flow-3D User Manual," Version 10.1. Flow Science ed. USA: Flow Science, Inc., 2014.
- [14] H. A. H. MOHAMMED A. IBRAHIM, ZIAD TARK ABD ALI, "INVESTIGATING THE EFFECT OF INLET APERTURE AND BAFFLE POSITION IN IMPROVING THE EFFICIENCY OFPRIMARY SETTLING TANKS," *Journal of Engineering Science and Technology*, no. Special Issue on DMPCE2021, pp. 38 - 49, 2021.

INVESTIGATIONS ON THE EFFECTIVENESS OF REDUCING THE WAVE OVERTOPPING VOLUME OF THE RECURVE SEAWALL IN THE COASTAL ISLAND OF VIET NAM

Abstract: This article presents the results of research on the overtopping per wave for various common sections of seawall structures applied in offshore areas of Vietnam: slope, vertical, and recurve under typical conditions. The authors use the 3-dimensional software Flow-3D model to simulate the interaction between structure and environment, thereby determining the amount of overtopping volume in research scenarios. Through analysis of simulation results, it was found that the recurve is highly effective in reducing wave overtopping. Thereby, this finding highlights the value of employing this kind of structure for seawalls that serve development, economic growth, and national security and defense.

Keywords: Seawall, wave overtopping value, flow 3D-software, computational fluid dynamics

Nghiên cứu thực nghiệm xác định quy luật thay đổi mức cường độ tiếng ồn theo công suất nguồn gây ồn

KS. Nguyễn Văn Họi¹, TS. Nguyễn Văn Hiếu¹

¹ Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm xác định quy luật thay đổi mức cường độ tiếng ồn được tạo ra từ thiết bị nổ điện theo khoảng cách và công suất nguồn điện khác nhau nhằm tạo ra tiếng ồn có mức cường độ tương đương với tiếng ồn động cơ máy bay. Qua nghiên cứu, các tiếng ồn có mức cường độ từ 90 dBA đến 106 dBA được tạo ra, tương đường mức cường độ tiếng ồn cho trong khoảng cho phép của phần lớn các loại máy bay từ điểm quan trắc theo quy định. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng sự thay đổi mức cường độ tiếng ồn theo công suất nguồn gây ồn tuân theo quy luật hàm logarit trong điều kiện thí nghiệm.

Từ khóa: Tiếng ồn hàng không; máy nổ điện; động cơ máy bay.

1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm tiếng ồn ảnh hưởng đến cả sức khỏe và hành vi con người. Ô nhiễm tiếng ồn có thể gây tăng huyết áp, căng thẳng, ù tai, giảm thính lực, rối loạn giấc ngủ và các tác hại khác. WHO khuyến cáo tiếng ồn trung bình không vượt quá 40 decibel tại các khu vực dân cư vào ban đêm để phòng tránh sự tác động đến sức khỏe. Sự tiếp xúc thường xuyên với tiếng ồn có độ lớn trên 80 decibel có thể làm giảm thính lực. Điều này đặt ra các vấn đề nghiên cứu nhằm xác định cường độ tiếng ồn từ đó đề ra các giải pháp giảm thiểu cường độ tiếng ồn cho khu vực công trình trong cảng hàng không và vùng lân cận.

Khi nghiên cứu đánh giá cường độ tiếng ồn tại các cảng hàng không, ICAO [1] đã quy định 03 điểm quan trắc đánh giá cường độ tiếng ồn như bảng sau:

Tên loại máy bay	Điểm đo ồn		Vị trí đo
Máy	Tại điể bên	m đo tiếng ồn	Điểm trên đường song song và cách tim đường CHC hoặc tim đường CHC kéo dài 650 m, tại đó mức ồn lớn nhất trong quá trình cất cánh
bay phản lưc	y ẩn cầu vượt		Điểm trên tim kéo dài của đường CHC và cách điểm bắt đầu lăn bánh 6,5km
cận âm	Tại điểm đo tiếng ồn tiếp cận		Điểm trên mặt đất, trên đường tâm kéo dài của đường CHC, cách đường CHC 120m (394 ft) theo chiều thẳng đứng bên dưới đường đi xuống 3° xuất phát từ điểm cách ngưỡng 300m.
Máy bay	TạiĐốivớiđiểmMBĐC phảnđolực		Điểm trên đường song song và cách tim đường CHC 450m, tại đó độ ồn lớn nhất trong quá trình cất cánh
phản lực	tiếng ồn bên	Đối với máy bay cánh quạt	Điểm trên tim đường CHC kéo dài 650m theo phương thẳng đứng bên dưới đường bay lấy độ cao khi cất cánh hoàn toàn.

Bảng 1: Quy định vị trí quan trắc cường độ tiếng ồn hàng không

Tên loại máy bay	Điểm đo ồn	Vị trí đo
	Tại điểm đo tiếng ồn cầu vượt	Điểm trên tim đường CHC kéo dài và cách 6,5km kể từ khi bắt đầu lăn bánh
	Tại điểm đo tiếng ồn tiếp cận	Điểm trên mặt đất, trên tim kéo dài của đường CHC, cách ngưỡng đường CHC 2000m. Trên mặt đất bằng phẳng, điều này tương ứng với vị trí 120m (394 ft) theo phương thẳng đứng bên dưới đường đi xuống 3° xuất phát từ một điểm cách ngưỡng 300m.
Trực thăng	Các điểm đo tiếng ồn tham chiếu khi cất cánh	 Một điểm tham chiếu đường bay nằm trên mặt đất theo chiều dọc bên dưới đường bay được xác định trong quy trình tham chiếu cất cánh và 500m theo chiều ngang theo hướng bay tính từ điểm bắt đầu quá trình chuyển đổi sang bay lấy độ cao trong quy trình tham chiếu Hai điểm khác trên mặt đất được bố trí đối xứng ở hai bên đường bay được xác định trong quy trình cất cánh quy định ở độ cao 150m và nằm trên đường thẳng đi qua điểm quy chiếu đường bay.
	Các điểm đo tiếng ồn tham chiếu trên không	 Điểm tham chiếu đường bay nằm trên mặt đất 150m (492 ft) theo phương thẳng đứng bên dưới đường bay được xác định trong quy trình tham chiếu bay qua Hai điểm khác trên mặt đất được bố trí đối xứng ở 150m ở cả hai phía của đường bay được xác định trong quy trình tham chiếu bay qua và nằm trên đường thẳng đi qua điểm tham chiếu đường bay.
	Tiếp cận các điểm đo tiếng ồn chuẩn	 Điểm tham chiếu đường bay nằm trên mặt đất 120m (394 ft) theo phương thẳng đứng bên dưới đường bay được xác định trong quy trình tham chiếu tiếp cận . Trên mặt đất bằng phẳng, vị trí này tương ứng với vị trí 1140m tính từ giao điểm của đường tiếp cận 6,0° với mặt phẳng mặt đất; Hai điểm khác trên mặt đất được bố trí đối xứng ở hai bên đường bay 150m được xác định trong phương thức chuẩn tiếp cận và nằm trên đường thẳng đi qua điểm chuẩn đường bay.

Tuy nhiên việc thường xuyên có mặt tại các sân bay để nghiên cứu đánh giá cường độ tiếng ồn hàng không là một điều hết sức khó khăn do các yêu cầu về thủ tục, an toàn an ninh hàng không... Do vậy đặt ra bài toán nghiên cứu tạo ra cường độ tiếng ồn tương đương mức cường độ tiếng ồn một số loại máy bay, từ đó có thể thuận lợi trong nghiên cứu các giải pháp giảm thiểu cường độ tiếng ồn mà thực hiện trong điều kiện phòng thí nghiệm, giảm thiểu chi phí, thủ tục khi giảm cường độ thí nghiệm ngoài sân bay.

2. Cơ sở lý thuyết quy luật truyền âm thanh

Khi nghiên cứu về âm thanh, người ta thường sử dụng đại lượng mức cường độ âm (L), là giá trị logarit thập phân của tỉ số giữa cường độ âm đang xét I so với một giá trị cường độ âm chuẩn I_0 ($I_0 = 10^{-12}$ W/cm²).

$$L = \lg\left(\frac{I}{I_0}\right) (B) \text{ hoặc } L = 10.\lg\left(\frac{I}{I_0}\right) (dB)$$
(1)

Trong đó cường độ âm I là đại lượng đặc trưng cho năng lượng của sóng âm truyền qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền sóng trong một đơn vị thời gian.

$$I = \frac{W}{t.S} = \frac{P}{S} \left(\frac{W}{m^2}\right) \tag{2}$$

trong đó:

P: Công suất phát âm của nguồn (W)

S: Diện tích mặt vuông góc với phương truyền âm (m²)

t: Thời gian truyền sóng âm (s)

W: năng lương của sóng âm (J);

Trong không gian hở (sóng âm chạy) còn gọi là không gian tự do, cường độ âm phụ thuộc vào khoảng cách tới nguồn gây ồn theo quy luật:

$$I_r = \frac{I}{4\pi r^2} \tag{3}$$

trong đó: I_r là cường độ âm cách nguồn bằng 1 khoảng cách r.

Như vậy, mức cường độ âm phụ thuộc vào công suất (cường độ) âm và khoảng cách tới nguồn âm, đây là cơ sở đặt ra bài toán nghiên cứu thực nghiệm tạo tiếng ồn.

3. Mô hình và thiết bị thí nghiệm

3.1. Mô hình thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm được thiết lập như trên hình vẽ theo các khoảng cách khác nhau từ nguồn gây ồn là các đầu nổ điện (3) đến thiết bị đo ồn.



Hình 1.Sơ đồ thử nghiệm bằng mô hình nổ điện 1. Thiết bị nổ điện; 2. Công tắc đóng, ngắt mạch điện, 3. Dây điện tạo nổ; 4. Micro thu tiếng ồn, 5. Thiết bị đo cường độ tiếng ồn; 6. Nguồn điện 220V.

3.2. Các thiết bị thí nghiệm

- Hệ thống thiết bị nổ điện với đầu nổ điện làm từ dây đồng, dựa trên nguyên lý tích điện và phóng qua đầu hàn thiếc, tạo tiếng nổ đơn (Hình 2). Cường độ tiếng nổ được thay đổi thông qua công suất máy nổ điện (công suất cho phép từ 10 - 500J). Quá trình nổ điện được thực hiện thông qua công tắc đóng ngắt mạch 200A.

1179



a) Máy nổ điện

b) Đầu nổ điện

c) Công tắc

a Pua

Hình 2. Bộ thiết bị máy nổ điện tạo tiếng ồn

Thiết bị đo cường độ tiếng ồn: Máy đo Minimate Pro của hãng Instatel - Canada (với các thông số kỹ thuật: Nhà sản xuất: Instatel; xuất xứ: Canada; phạm vi đo: 30-140dB (max 160dB); đáp ứng tần số: 10Hz - 20kHz) và thiết bị đo ồn cầm tay Total TETSL01 của Trung Quốc để đo kiểm chứng (Hình 3).

3.3. Trình tự thí nghiệm:

Bước 1: Chuẩn bị các trang thiết bị, dụng cụ đo: Đầu nổ điện (được hàn thiếc, chuẩn bị sẵn);

Bước 2: Lắp mô hình thí nghiệm theo Hình 1, đo và ghi các thông số khoảng cách;

Bước 3: Bật máy đo, kiểm tra trạng thái hoạt động;

Bước 4: Kiểm tra phạm vi an toàn, cảnh giới, cảnh báo an toàn;

Bước 5: Cung cấp nguồn điện 220V cho thiết bị nổ điện, đặt công suất gây nổ (190J, 290J, 390J), nhấn nút phóng điện và bật công tắc để phóng điện, tạo nổ điện tại đầu nổ.

Bước 6: Sau khi đầu nổ điện nổ, ghi số liệu đo mức cường độ tiếng ồn tại các thiết bị, tắt công tắc, xả năng lượng dư thừa của máy, tắt máy, ngắt nguồn điện. Báo hiệu an toàn.

Bước 7: Tháo dây nổ điện đã nổ ra khỏi máy, chuẩn bị cho lần thí nghiệm tiếp theo.



Hình 3. Mô hình thí nghiệm thực nghiệm tạo tiếng ồn 1. Thiết bị nổ điện; 2. Công tắc an toàn; 3. Đầu nổ điện; 4. Máy đo độ ồn Total TETSL01; 5. Micro; 6. Máy đo độ ồn Minimate Pro; 7. Nguồn điện 220V

4. Kết quả thí nghiệm

Từ file số liệu thu được, lưu file số liệu dưới dạng file excel gồm các cột theo mẫu sau: Bảng 2. Bảng số liệu đo cường độ tiếng ồn theo công suất nguồn gây ồn bằng TB Minimate Pro

STT	Công suất (J)	Khoảng cách (cm)	L _A (d B)	STT	Công suất (J)	Khoảng cách (cm)	L _A – (dB)	STT	Công suất (J)	Khoảng cách (cm)	L _A – (dB)
1	190	50	100.3	24	390	100	102	47	290	200	98.9
2	190	50	97.9	25	390	100	102	48	290	200	98.3
3	190	50	100.2	26	390	100	101,1	49	290	200	98.7
4	190	50	101.5	27	190	150	95.1	50	290	200	99.5
STT	Công suất (J)	Khoảng cách (cm)	L _A (dB)	STT	Công suất (J)	Khoảng cách (cm)	LA – (dB)	STT	Công suất (J)	Khoảng cách (cm)	L _A – (dB)
5	190	50	99.5	28	190	150	96.5	51	390	200	102.1
6	290	50	104	29	190	150	93	52	390	200	102.4
7	290	50	103.4	30	190	150	92	53	390	200	102.7
8	290	50	104.3	31	290	150	100.7	54	390	200	101.4
9	290	50	100.8	32	290	150	100.2	55	390	200	101.4
10	390	50	103.6	33	290	150	101.3	56	190	400	96.2
11	390	50	104	34	290	150	101.3	57	190	400	95.4
12	390	50	106.4	35	290	150	100.7	58	190	400	93.7
13	190	100	98,6	36	390	150	102.1	59	190	400	96.6
14	190	100	97,1	37	390	150	102.4	60	190	400	97.7
15	190	100	99,2	38	390	150	102.7	61	290	400	98.1
16	190	100	97,1	39	390	150	101.4	62	290	400	98.2
17	290	100	99,5	40	390	150	101.4	63	290	400	99.3
18	290	100	100,7	41	190	200	95.3	64	290	400	98.7
19	290	100	100	42	190	200	96.8	65	290	400	98.1

20	290	100	101,6	43	190	200	98.1	66	390	400	99.8
21	290	100	99,2	44	190	200	96.9	67	390	400	100.3
22	390	100	102,7	45	190	200	96.3	68	390	400	100.7
23	390	100	101,4	46	290	200	98	69	390	400	101.1

Xác định sự phụ thuộc của tiếng ồn vào công suất nguồn gây ồn

Căn cứ vào bảng số liệu kết quả đo, ta thiết lập được các đồ thị sự phụ thuộc của cường độ tiếng ồn vào công suất nguồn gây ồn đo ồn khi thí nghiệm với cùng khoảng cách đến nguồn gây ồn theo các khoảng cách 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 400cm, đồ thị có dạng như sau:



Hình 4. Đồ thị sự phụ thuộc của mức cường độ tiếng ồn vào công suất nguồn gây ồn khi khoảng cách tới nguồn gây ồn là 50cm



Hình 5. Đồ thị sự phụ thuộc của mức cường độ tiếng ồn vào công suất nguồn gây ồn khi khoảng cách tới nguồn gây ồn là 100cm



Hình 5. Đồ thị sự phụ thuộc của mức cường độ tiếng ồn vào công suất nguồn gây ồn khi khoảng cách tới nguồn gây ồn là 150cm



Hình 6. Đồ thị sự phụ thuộc của mức cường độ tiếng ồn vào công suất nguồn gây ồn khi khoảng cách tới nguồn gây ồn là 200cm



Hình 7. Đồ thị sự phụ thuộc của mức cường độ tiếng ồn vào công suất nguồn gây ồn khi khoảng cách tới nguồn gây ồn là 2400cm

Trong đó đường tuyến tính được xác định theo quy luật hàm logarit (phù hợp với quy luật lý thuyết). Hệ số tương quan R được xác định theo hàm số trong chương trình Microsoft Excel.

Với từng khoảng cách tới nguồn gây ồn nhất định, ta thu được bảng tổng hợp kết quả thực nghiệm sự phụ thuộc của cường độ tiếng ồn theo công suất nguồn gây ồn theo bảng sau:

STT	Khoảng cách đo ồn	Phương trình hàm hồi quy	Hệ số xác định R ²	Hệ số tương quan R
1	50cm	$y = 6.8266 \ln(x) + 64.15$	$R^2 = 0,71$	0,843
2	100cm	$y = 5.3361 \ln(x) + 69.982$	$R^2 = 0.7902$	0,889
3	150cm	$y = 11.051\ln(x) + 36.849$	$R^2 = 0.8318$	0.912
4	200cm	$y = 7.2157\ln(x) + 58.513$	$R^2 = 0.8604$	0,928
5	400cm	$y = 6.3009 \ln(x) + 62.829$	$R^2 = 0.8108$	0.900

Bảng 3. Bảng kết quả thực nghiệm sự phụ thuộc cường độ tiếng ồn theo khoảng cách

Kết quả hệ số tương quan R nằm trong khoảng $(0.8 \le R \le 0.95)$ thể hiện các chuỗi số liệu đo có mối liên hệ tương đối chặt chẽ.

Như vậy, việc thiết lập, đưa ra các quy luật thực nghiệm về sự phụ thuộc của mức cường độ tiếng ồn cho phép có thể sơ bộ lựa chọn khoảng cách, công suất nguồn gây ồn phù hợp với cường độ tiếng ồn của một số loại máy bay dân dụng và quân sự có mức cường độ tiếng ồn cầu nghiên cứu tại các điểm quan trắc từ 85 dB đến 108 dB.

5. Kết luận

Mức cường độ tiếng ồn lan truyền trong môi trường không khí tỉ lệ thuận với công suất nguồn gây ồn.

Bằng thực nghiệm, có thể tạo tiếng ồn đơn có mức cường độ tương đương từ 92dB đến 106 dB nằm trong khoảng giới hạn mức cường độ tiếng ồn hàng không của nhiều loại máy bay dân dụng và quân sự tại các điểm quan trắc theo quy định của ICAO.

Mức cường độ tiếng ồn thay đổi theo quy luật Logarit, phù hợp với cơ sở lý thuyết, hệ số tương quan của các phép đo $(0,8 \le R \le 0.95)$ phản ánh mối liên hệ tương đối chặt chẽ giữa các đại lượng đo.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Hoàng Đình Đạm, Nguyễn Văn Hiếu, Võ Tiến Dũng, Đỗ Văn Thùy, Giáo trình thiết kế tổng mặt bằng Cảng hàng không, sân bay, NXB QĐND 2019.
- [2]. QCVN 26:2010/BTNMT, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về tiếng ồn ban hành theo Thông tư số 39/2010/TT-BTNMT ngày 16/12/2010 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và môi trường.
- [3]. KTS Việt Hà Nguyễn Ngọc Giả. Giáo trình âm học kiến trúc, 1993.
- [4]. Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, International Civil Aviation Organization, Sixth Edition July 2011.
- [5]. DOC 9911/ICAO: Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports -First Edition - 2008.
- [6]. ГОСТ 22283-2014. Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения.
- [7]. Егоров В.Н., Хабаров Д.А. Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Безопасность жизнедеятельности» - Измерение уровней Шума - Московский Государственный Университет Геодезии И Картографии - Москва 2016.

Experimental Research to Determination of Variation Law of Noise Level According to the Power of the Noise Source

Abstract:

The article presents an experimental research to determination of variation law of noise intensity level adapt to the intensity of aircraft engine noise, which generated from the electric explosive device. The noise intensity level is control by the distance from explosive source and different power device. Noises with intensity levels from 90 dBA to 106 dBA were generated, they are equivalent to the noise intensity level given within the allowable range of most type of aircraft from monitoring points according to the regulation. The result show that the decrease of noise intensity level over the power of the noise source obeys the logarithmic law under experimental conditions.

Keywords: Aviation noise; electrical explosive device; aircraft engine.

1185

Nhận dạng khuôn mặt: Tóm tắt công nghệ và ứng dụng TS Phan Thị Hải Hồng

Bộ môn KHMT, Viện Công nghệ thông tin và truyền thông/Học viện KTQS Email: hongpth@lqdtu.edu.vn Tel: 0372576968

Tóm tắt: Công nghệ nhận dạng khuôn mặt đã thu hút được sự chú ý đáng kể trong những năm gần đây do có nhiều ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Bài trình bày này cung cấp một cái nhìn tổng quan ngắn gọn về các kỹ thuật nhận dạng khuôn mặt và các ứng dụng của chúng. Chúng tôi sẽ bắt đầu bằng việc giới thiệu các khái niệm cơ bản về nhận dạng khuôn mặt và những thách thức liên quan đến công nghệ này. Sau đó, khám phá các cách tiếp cận khác nhau được sử dụng trong nhận dạng khuôn mặt, bao gồm các phương pháp truyền thống và các phương pháp tiếp cận dựa trên học sâu hiện đại. Hơn nữa, bài thuyết trình sẽ đi sâu vào các ứng dụng rộng rãi của công nghệ nhận dạng khuôn mặt. Đáng chú ý, công nghệ này được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực bảo mật để kiểm soát truy cập, giám sát và nhận dạng cá nhân trong không gian công cộng. Ngoài ra, chúng tôi sẽ giới thiệu hệ thống trí tuệ nhân tạo (AI) thực hiện tìm kiếm khuôn mặt trên Internet. Hệ thống của chúng tôi tích hợp các mô hình học sâu hiện đại, được tối ưu hóa thông qua các kỹ thuật tiên tiến, đạt được độ chính xác và độ tin cậy trong phát hiện và nhận dạng khuôn mặt.

Từ khóa: hệ thống trí tuệ nhân tạo, nhận dạng khuôn mặt, phát hiện khuôn mặt, ứng dụng dựa trên nhận dạng khuôn mặt.

Face Recognition – Brief Technique and Application

Abstract: Face recognition technology has gained significant attention in recent years due to its wide range of applications in various domains. This presentation provides a brief overview of face recognition techniques and their applications. We will start by introducing the fundamental concepts of face recognition and the challenges associated with this technology. It then explores different approaches used in face recognition, including traditional methods and modern deep learning-based approaches. Moreover, the presentation will delve into the wide-ranging applications of face recognition technology. Notably, this technology is widely used in the security field for access control, surveillance, and personal identification in public spaces. In addition, we will introduce an artificial intelligence (AI) system that performs face searches on the Internet. Our system integrates state-of-the-art deep learning models, optimized through advanced techniques, to achieve exceptional accuracy and reliability in face detection and recognition.

Keywords: artificial intelligence system, face recognition, face detection, facial recognition-based application.

A survey of pretrained language models for Machine Reading Comprehension in Vietnamese

Phuong Nguyen Thi Ha¹

Le Quy Don Technical University Email: haphuongmtak52@gmail.com

Abstract

Machine Reading Comprehension (MRC) is a challenging Natural Language Processing (NLP) research field with wide real-world applications. Its goal is to develop systems to answer the questions regarding a given context. The great progress of this field in recent years is mainly due to the presence of pretrained language models (PLMs), which has led to significant performance enhancements. For the Vietnamese language, numerous PLMs have been developed by researchers, including Multilingual BERT, XLM-R, phoBERT,... Considering the positive results and significant benefits provided by these PLMs, this paper conducts a survey to examine how various PLMs are used in solving the MRC task. The outcomes of our research involve evaluating a number of pretrained language models on the ViQuAD dataset, enabling a comparison of different methods for addressing MRC task in the context of the Vietnamese language.

Keywords: Machine Reading Comprehension, MRC, Vietnamese, Pretrained Language Models

1. Introduction

In the long history of Natural Language Processing (NLP), teaching computers to read the text and understand the meaning of the text is a major research goal that has not been fully realized. In order to accomplish this task, researchers have conducted machine reading comprehension (MRC) research in many aspects recently with the emergence of the large-scale datasets, higher computing power, and the deep learning techniques, which have boosted the whole NLP research. The concept of MRC comes from the human understanding of text. The most common way to test whether a person can fully understand a piece of text is to require she/he answer questions about the text. Just like the human language test, reading comprehension is a natural way to evaluate a computer's language understanding ability.

In the NLP community, machine reading comprehension has received extensive attention in recent years. The goal of a typical MRC task is to require a machine to read a (set of) text passage(s) and then answers questions about the passage(s), which is very challenging. Machine reading comprehension could be widely applied in many NLP systems such as search engines and dialogue systems. It is clear that MRC can help improve the performances of search engines and dialogue systems, which can allow users to quickly get the right answer to their questions, or to reduce the workload of customer service staff.

The task has achieved outstanding results by introducing quality MRC datasets such as SQuAD 1.0 [1], CMRC [2], NewsQA [3], UIT-ViQuAD 1.0 [4]. Many systems have even surpassed human performance. However, the machine reading comprehension models that deal with questions in Vietnamese are currently quite a few. Therefore, we aim to experiment with different models and assess which ones are suitable to predict answers with high accuracy based on ViQuAD v1 dataset.

The rest of the paper is structured as follows. Section 2 introduces the related work that we researched for the construction of the MRC system. Section 3 talks about our system and overall idea to solve the problem. Next are the parameters of the UIT-ViQuAD v1 dataset,

evaluation metrics in section 4 and experimental results in section 5. Finally, in section 6, we conclude and talk about the development directions for our system.

2. Related work

We need to solve two big problems for the Vietnamese machine reading comprehension problem. The first is machine reading comprehension. We need to build a system that can determine if a question is answerable or not. If it can be answered, extract the answer span from the passage. The second is the complexity of the Vietnamese language. The model needs to be trained on a large amount of Vietnamese data to be able to predict the answer with high accuracy. A more straightforward way is to use a PLM. Transfer learning helps us to inherit pretrained parameters, saving time while ensuring performance. Transfer learning is to transfer the learned features of the previous neuron to the following neurons without re-learning. It is similar to a teacher 'transfer' on her knowledge to the students. A pre-trained model is a saved network that has been previously trained on a large data set. Pretrained language models can be fine-tuned for specific cases, each application can be added different lightweight classifier layers on top of the outputs of the pretrained model. With the development of transfer learning in the NLP field, pre-trained models are preferred because it saves training time on large amounts of data to the model can handle a particular language and task well. We have studied some popular models giving good results on Vietnamese topics, MRC topics in general, and Vietnamese MRC in particular, for example:

PhoBERT [6]: are the state-of-the-art language model for Vietnamese ("Pho"is a popular food in Vietnam). Test results show that PhoBERT gives good results in many Vietnamese-specific NLP tasks, including Part of Speech tagging, Dependency Parsing, Named Entity Recognition, and Natural Language Inference course.

BARTpho [5]: is the homonym of the word "bowl of Pho"in Vietnamese, using the "large"architecture and pre-training scheme of the seq-to-seq denoising model BART, which is specifically suitable for this NLP tasks. Experiments on a downstream task of Vietnamese text summarization show that BARTpho outperforms the strong baseline mBART and assesses the state-of the-art in both automated and human evaluations.

XLM-R model [7]: proposed in Unsupervised Cross-lingual Representation Learning at Scale by Alexis Conneau et al. XLM-R is primarily based on Facebook's RoBERTa model [8], released in 2019. It is a large multilingual language model trained on 2.5TB of filtered CommonCrawl data and is the XLM [9] model's state-of-the-art. XLM-R shows the ability to train multiple language models (including Vietnamese) without sacrificing per-language performance.

Electra model [10]: proposed in the ICLR 2020 paper ELECTRA: Pre-training Text Encoders as Discriminators Rather Than Generators. ELECTRA is a method for self-supervised language representation learning. It can be used to pre-train transformer networks using relatively little compute. ELECTRA models are trained to distinguish "real" input tokens vs "fake" input tokens generated by another neural network, similar to the discriminator of a GAN. At small scale, ELECTRA achieves strong results even when trained on a single GPU. At large scale, ELECTRA achieves state-of-the-art results on the SQuAD 2.0 dataset.

DeBERTa model [11]: The DeBERTa model was proposed in DeBERTa: Decodingenhanced BERT with Disentangled Attention by Pengcheng He, Xiaodong Liu, Jianfeng Gao, Weizhu Chen. It is based on Google's BERT model released in 2018 and Facebook's RoBERTa model released in 2019. It builds on RoBERTa with disentangled attention and enhanced mask decoder training with half of the data used in RoBERTa.

ViT5 model [12]: A pretrained Transformer-based encoder-decoder model for the Vietnamese language. With T5-style self-supervised pretraining, ViT5 is trained on a large corpus of high-quality and diverse Vietnamese texts. ViT5 (Vietnamese T5) achieves state-of-the-art results in Vietnamese Abstractive Summarization and competitive results in Named-entity Recognition. The model is able to handle sequence lengths up to 1024 for long documents.

3. Proposal method

Our system Figure 1 is built with the backbone of the pre-trained language model (PLM). With each pre-trained model, we download the model and go through the same processing steps as the SQuAD 2.0 dataset, including preprocessing, tokenizing, feature extraction, and training. However, because Vietnamese is not the same as English, hyperparameters such as epoch number, batch size, or learning rate will differ. Therefore, we need to test many times to choose the most suitable parameters.

First, we load the data from the train set into clusters: Context $C = \{C1, \ldots, Cn\}$, question $Q = \{Q1, \ldots, Qn\}$ and answer $A = \{A1, \ldots, An\}$. The test dataset with input includes the clusters: context and question. Our task is to train the model on the training dataset so that the model can find the correct answer to the question (the answer is null text or a span extracted from the paragraph). For the model to be able to understand human language, we need to convert the passages, questions, and answers from text to numbers. We use a tokenizer language model compatible with a pre-trained language model. Then, we proceed to process the data to extract the necessary features for the model with pre-written functions from the Hugging face for the SQuAD 2.0 dataset because the structure of the ViQuADv1 dataset is the same as the SQuAD 2.0 dataset. We feed the features extracted from the training dataset for model and train. The model after being trained to determine if the question has an answer within the passage. For answerable questions, the resulting span extracted from the context is calculated by taking the answer's start position and end position values with the highest probability among the positions that the model predicts. Cases where the model returns null text, include: The answer is within the question. The answer has a larger starting position than the ending position and a probability less than the null threshold.



Figure 1. Out Vietnamese Machine Reading Comprehension model

In our experimentation, we employed two types of models, namely the "only-encoder" and "encoder-decoder" models. Figures 2 and 3 illustrate the process where a pre-trained language model takes input and provides a corresponding answer for each model type.



Figure 2. Only encoder model in span prediction Machine Reading Comprehension

The "only-encoder" model showcases its ability to encode input information and generate meaningful answers, while the "encoder-decoder" model demonstrates the additional step of decoding, capturing a more intricate understanding of the input context. The visual representations in Figures 2 and 3 serve as insightful snapshots of the pre-trained language models in action, shedding light on their respective functionalities and performance nuances.



Figure 3. Encoder - Decoder model in span prediction Machine Reading Comprehension

In general, the model will receive the question and the context (document), tokenize them and separate the question and the context with [SEP]. After processing and calculating, the model finds the starting and ending positions of the answer. If the model predicts the question has no answer, it returns null text; otherwise, it will return multiple start and end positions. The selected answer is a span in the context with the start position value multiplied by the end position with the highest result.

4. Experimental

4.1. Dataset

In this paper, we work with UIT-ViQuAD v1. UIT-ViQuAD v1 was the first dataset sourced from the Vietnamese Wikipedia, which was published in September 2020. This dataset comprises over 23,000 human-generated question-answer pairs based on 5,109 passages of 174 Vietnamese articles from Wikipedia. The titles from the dataset are taken from high-ranking Wikipedia articles; each title is divided into several paragraphs, each paragraph has many questions. A continuous span extracted from the passage corresponds to each question with an answer. Table 1 gives an example in the UIT-ViQuAD v1 dataset.

Table 1. Example in UIT-ViQuAD v1

"context": "Phạm Văn Đồng (1 tháng 3 năm 1906 – 29 tháng 4 năm 2000) là Thủ tướng đầu tiên của nước Cộng hòa Xã hội chủ nghĩa Việt Nam từ năm 1976 (từ năm 1981 gọi là Chủ tịch Hội đồng Bộ trưởng) cho đến khi nghỉ hưu năm 1987. Trước đó ông từng giữ chức vụ Thủ tướng Chính phủ Việt Nam Dân chủ Cộng hòa từ năm 1955 đến năm 1976. Ông là vị Thủ tướng Việt Nam tại vị lâu nhất (1955– 1987). Ông là học trò, cộng sự của Chủ tịch Hồ Chí Minh. Ông có tên gọi thân mật là Tô, đây từng là bí danh của ông. Ông còn có tên gọi là Lâm Bá Kiệt khi làm Phó chủ nhiệm cơ quan Biện sự xứ tại Quế Lâm (Chủ nhiệm là Hồ Học Lãm)."

"question": "Tên gọi nào được Phạm Văn Đồng sử dụng khi làm Phó chủ nhiệm cơ quan Biện sự xứ tại Quế Lâm?" "answers":

"answer_start": 507,

"text": "Lâm Bá Kiệt"

"question": "Phạm Văn Đồng giữ chức vụ gì trong bộ máy Nhà nước Cộng hòa Xã hội chủ nghĩa Việt Nam?" "answers":

> "answer_start": 60, "text": "Thủ tướng"

4.2. Evaluation metrics

Similar to the evaluation method on the SQuAD 2.0 dataset (Rajpurkar et al., 2018), UIT-ViQuAD 2.0 also uses EM and F1-Scores as assessment measures for the Vietnamese machine reading comprehension task. These evaluation metrics are described as below:

• Exact Match (EM): If the characters of the MRC system's predicted answer exactly match the characters of (one of) the gold standard answer(s), EM = 1 for each question-answer pair; otherwise, EM = 0. The EM metric is a strict all-or-nothing measurement, with a score of 0 for a single character error. If the method predicts any textual span as an answer when evaluating against an unanswerable question, the question receives a zero score.

• F1-score: F1-score is a popular metric for natural language processing and is also used in machine reading comprehension. F1-score estimated over the individual tokens in the predicted answer against those in the gold standard answers. The F1-score is based on the number of matched tokens between the predicted and gold standard answers. To calculate the F1 measure, we treat each gold standard answer and predicted answer as a bag of tokens. Then calculate the number of tokens that are the same (numSame) between predicted answers and gold standard answers.

Recall: calculated by scaling the same tokens by the tokens in the gold standard answer.

$$recall = \frac{numSame}{numTruth}$$

Precision: calculated by scaling the same tokens by the tokens in the predicted answer.

$$recall = \frac{numSame}{numPredict}$$

The formula calculates the measure F1:

$$f1 = \frac{2 * recall * precision}{(recall + precision)}$$

5. Results and Discussion

We decided to test 6 models that we think are the most feasible for the Vietnamese language: XLM-R, phoBERT, Electra, Deberta, ViT5, bartpho. For XLM-R, phoBERT, Electra, and Deberta, we considered models of the only-encoder type, while for ViT5 and bartpho, we opted for encoder-decoder configurations. Our experimental results are shown in Table 2 and 3.

Pretrained Model (Huggingface card)	EM	F1	Training Notes	Training Time	Best eval at Epoch
xlm-roberta-base	62.16	80.42	10 epoch, learning_rate=1e-5, batch_size=32, max_seq_len=512	280s/epoch	5
xlm-roberta-large	70.08	87.46	10 epoch, learning_rate=1e-5, batch_size=12, max_seq_len=512815s/epoch		2
FPTAI/velectra-base- discriminator-cased	60.07	79.62	10 epoch, learning_rate=1e-5, batch_size=32, max_seq_len=512	305s/epoch	4
vinai/phobert-base	63.87	82.32	10 epoch, learning_rate=1e-5, batch_size=32, max_seq_len=256	212s/epoch	5
vinai/phobert-large	66.41	83.88	10 epoch, learning_rate=1e-5, batch_size=24, max_seq_len=256	365s/epoch	2
microsoft/mdeberta- v3-base	60.85	80.50	10 epoch, learning_rate=1e-5, batch_size=32, max_seq_len=512	1248s/epoch	4
Fsoft-AIC/videberta- base	22.06	49.41	10 epoch, learning_rate=1e-5, batch_size=32, max_seq_len=512	1198s/epoch	9

Table 2. Experimental results on only-encoder models

1192

Pretrained Model (Huggingface card)	EM	F1	Training Notes	Training Time	Best eval at Epoch
VietAI/vit5-base	55.93	75.91	10 epoch, learning_rate=1e-5, batch_size=16, max_seq_len=512	428s/epoch	4
VietAI/vit5-large	62.12	82.65	10 epoch, learning_rate=1e-5, batch_size=4, max_seq_len=512	1450s/epoch	9
vinai/bartpho-word- base	46.69	67.51	10 epoch, learning_rate=1e-5, batch_size=16, max_seq_len=512	285s/epoch	10

Table 3. Experimental results on encoder - decoder models

The experimental results demonstrate that the XLM-RoBERTa, phoBERT, and ViT5 models exhibit strong performance, achieving F1-scores consistently above 80%. Notably, the XLM-RoBERTa-large model outperforms others, attaining an Exact Match (EM) score of 70.08% and an F1-score of 87.46%. However, some models like microsoft/mdeberta-v3-base and Fsoft-AIC/videberta-base have lower performance and take longer to train.

Large pretrained language models generally do better than their base versions, but they take much longer to train. This shows that using bigger models can make them better at understanding natural language.

6. Conclusion

The MRC problem with the UIT-ViQuAD v1 dataset presents us with many challenges. The biggest challenge is to find the exact answers to the questions. Questions that use synonyms or equivalent knowledge cause many difficulties for predictive models. Therefore, we need to solve these problems if we want to increase the accuracy of the problem. In this paper, we have successfully experimented with various answer prediction models, highlighting the consistent and effective performance of the XLM-R, ViT5, and phoBERT models for Machine Reading Comprehension (MRC) in Vietnamese language.

However, our model is a single model. To increase the accuracy of the model, we can apply the ensemble model to combine multiple models, helping to improve performance. Therefore, our future goal is to apply the ensemble model and use other modern methods for our system. Or use more data sets other than UIT-ViQuAD v1 to train a more diverse learning model.

We then combine it with information retrieval to build a complete open-source questionanswering system. Because the issue of machine reading comprehension requires an input passage before asking a question to develop into a product, the applicability is not high. Instead, a model that takes in the question then retrieves the document itself and predicts the answer will be more applicable. With nearly 100 million people, the Machine reading comprehension problem is highly applicable to Vietnamese. The problem can support building a chatbot system or developing into a question-answering application because the human need to find answers happens every day and every hour.

References

1. P. Rajpurkar, J. Zhang, K. Lopyrev, P. Liang, *Squad:* 100,000+ Questions for Machine Comprehension of Text, Arxiv Preprint Arxiv:1606.05250.

- Y. Cui, T. Liu, W. Che, L. Xiao, Z. Chen, W. Ma, S. Wang, G. Hu, A Span-Extraction Dataset for Chinese Machine Reading Comprehension, Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP IJCNLP), http://dx.doi.org/10.18653/v1/ D19-1600
- A. Trischler, Z. Ye, X. Yuan, J. He, P. Bachman, A Parallel-Hierarchical Model for Machine Comprehension on Sparse Data, in: Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers), Association for Computational Linguistics, Berlin, Germany, 2016, pp. 432-441. https://doi.org/10.18653/v1/P16-1041.
- K. Nguyen, V. Nguyen, A. Nguyen, N. Nguyen, A Vietnamese Dataset for Evaluating Machine Reading Comprehension, in: Proceedings of the 28th International Conference on Computational Linguistics, 2020, pp. 2595–2605.
- 5. N. L. Tran, D. M. Le, D. Q. Nguyen, *BARTpho: Pre-trained Sequence-to-Sequence Models for Vietnamese*, ArXiv:2109.09701.
- D. Q. Nguyen, A. T. Nguyen, *Phobert: PreTrained Language Models f or Vietnamese, in: Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2020*, Association for Computational Linguistics, Online, 2020, pp. 1037-1042, https://doi.org/10.18653/v1/2020.findingsemnlp.92.
- A. Conneau, K. Khandelwal, N. Goyal, V. Chaudhary, G. Wenzek, F. Guzmán, E. Grave, M. Ott, L. Zettlemoyer, V. Stoyanov, *Unsupervised Cross-Lingual Representation Learning at Scale*, Arxiv Preprint Arxiv:1911.02116.
- 8. Y. Liu, M. Ott, N. Goyal, J. Du, M. Joshi, D. Chen, O. Levy, M. Lewis, L. Zettlemoyer, V. Stoyanov, *Roberta: A Robustly Optimized Bert Pretraining Approach*, Arxiv Preprint Arxiv:1907.11692.
- 9. G. Lample, A. Conneau, Cross-Lingual Language Model Pretraining, Arxiv Preprint Arxiv:1901.07291.
- 10. Kevin Clark, Minh-Thang Luong, Quoc V. Le, Christopher D. Manning, *Electra: Pre-training text* encoders as discriminators rather than generators, ICLR 2020.
- 11. Pengcheng He, Xiaodong Liu, Jianfeng Gao, Weizhu Chen, *DeBERTa: Decoding-enhanced BERT* with Disentangled Attention, arXiv:2006.03654.
- 12. Long Phan, Hieu Tran, Hieu Nguyen, Trieu H. Trinh, *ViT5: Pretrained Text-to-Text Transformer* for Vietnamese Language Generation, NAACL Student Research Workshop (SRW) 2022.

Khảo sát về các mô hình ngôn ngữ được huấn luyện trước cho bài toán Máy đọc hiểu văn bản trong tiếng Việt

Tóm tắt

Máy đọc hiểu văn bản (MRC) là một lĩnh vực đầy thách thức trong nghiên cứu Xử lý ngôn ngữ tự nhiên (NLP) với các ứng dụng thực tế rộng lớn. Mục tiêu của nó là phát triển các hệ thống để trả lời các câu hỏi liên quan đến một ngữ cảnh cụ thể. Sự tiến bộ của lĩnh vực này trong những năm gần đây chủ yếu là do sự xuất hiện của các mô hình ngôn ngữ được tiền huấn luyện (PLMs), đã dẫn đến cải thiện đáng kể hiệu suất. Đối với ngôn ngữ tiếng Việt, nhiều PLMs đã được các nhà nghiên cứu phát triển, bao gồm Multilingual BERT, XLM-R, phoBERT,... Xem xét các kết quả tích cực và lợi ích đáng kể mà những PLMs này mang lại, bài báo này tiến hành một cuộc khảo sát để xem xét cách các PLMs khác nhau được sử dụng trong việc giải quyết nhiệm vụ MRC. Các kết quả của nghiên cứu của chúng tôi bao gồm đánh giá một số mô hình ngôn ngữ được tiền huấn luyện trên tập dữ liệu ViQuAD, cho phép so sánh các phương pháp khác nhau để giải quyết nhiệm vụ MRC trong bối cảnh của ngôn ngữ tiếng Việt.

Từ khóa: Máy đọc hiểu văn bản, MRC, Tiếng Việt, Mô hình tiền huấn luyện, NLP.

Adaptive Feature Selection Applied in Cyberattack Detection Using Machine Learning Techniques

Manh-Tuan Nguyen

Le Quy Don University Email: tuannm_ncs42@lqdtu.edu.vn

Abstract

Machine learning algorithms are increasingly proficient in intrusion detection systems, offering realtime responses and adaptive learning capabilities. Deploying a robust machine learning model for anomaly detection requires a comprehensive dataset encompassing various attack types. Modern datasets often come with a high number of attributes, leading to challenges in information extraction due to time and space complexity. Additionally, excessive attributes can create noise in the dataset, complicating the formation of decision boundaries. Redundant or irrelevant features in large-scale data not only escalate computational time but can also diminish the model's fit, a crucial concern in cybersecurity. In our research, we developed and implemented an efficient algorithm for feature selection, aimed at filtering out insignificant variables. This adaptive feature selection method employs statistical analysis and feature importance tests to streamline the model and enhance prediction accuracy. We tested our model on a benchmark network security dataset (NSL-KDD which contains normal and diverse attack traffic) using an ensemble of RandomForest and Decision Tree classifier to demonstrate its adaptive characteristics. The experiments revealed that AUC results are better after applying automatic feature selection compared to using all features. Therefore, our approach successfully achieves higher accuracy with a significantly reduced number of features needed for processing.

Keywords: Cyberattack, feature selection, intrusion detection.

1. Introduction

Machine learning has become a crucial tool in cybersecurity, largely due to its ability to learn and adapt. A comprehensive dataset containing various types of attacks is essential for enhancing the detection of anomalies in this field. However, challenges such as the high dimensionality of these datasets can hinder their effective use in real-time applications and on older systems. A practical solution to reduce computational demands involves manually decreasing the number of features. This involves a balancing act: eliminating less significant features to simplify the model, while keeping enough to maintain predictive accuracy, albeit with some potential compromise [1]. Feature selection techniques, broadly categorized into wrapper and filter methods, play a pivotal role in this process. Wrapper methods assess multiple subsets of features, choosing the one with the best performance, but they are computationally intensive. On the other hand, filter methods use criteria like entropy or information gain to identify the most effective features [2]. However, this approach can be arbitrary and may not perform well with datasets that exhibit a certain level of non-linearity. In our study, we introduce a adaptive feature selector tailored for cybersecurity datasets. This system combines various metrics and a metalearner that uses a bagging ensemble approach. Our goal is to identify a set of features that not only excel in intrusion detection but also ensure high accuracy across various cybersecurityrelated datasets.

2. Cyberattack detection with machine learning

Several methods exist for classifying cybersecurity datasets, with bagging and boosting being two prevalent approaches. Bagging, an ensemble learning technique, involves creating

multiple versions of a predictor by resampling the training data and then combining these predictors for a more stable outcome [3]. This method involves generating bootstrap samples, where observations are drawn from the training dataset with replacement, leading to some data appearing multiple times while other data may not appear at all in the training [4]. The aim of this approach is to decrease prediction variability, thereby reducing the risk of overfitting the data. An example of bagging in action is its application to the NSL-KDD test dataset, where it was used in conjunction with a random tree classifier, achieving the highest accuracy in the test phase compared to other methods [5]. A summary of the various applications of the datasets NSL-KDD and UNSW-NB15 provided in [6]. Both datasets offer features conducive to the development of effective classification systems.

Boosting, like bagging, is a method of ensemble learning that combines several weak predictive models for classification or prediction purposes. A prominent example of boosting is the Gradient Boosting algorithm, and within this category, Extreme Gradient Boost (XGBoost) stands out for its rapid learning capabilities and high accuracy [7]. Both bagging and boosting have been applied to the UNSW-NB15 dataset, particularly in assessing the efficacy of classifier-based intrusion detection systems [8]. In these comparative studies, the boosting approach demonstrated superior performance over bagging, especially in significantly reducing false positives and enhancing the overall efficiency of the classifiers. In another study [9], both bagging and boosting were utilized, focusing on specific features of the NSL-KDD datasets that are relevant to sensor node attacks in the Internet of Things (IoT) context. This research involved eleven different machine learning algorithms, comparing their capabilities in detecting malware. The findings highlighted that ensemble and tree-based methods were the most precise, with XGBoost, a tree-based ensemble method, achieving an impressive 97% accuracy in attack detection. In contrast, the bagging technique also showed high accuracy, reaching 96.7%.

3. Proposed algorithm

Feature selection methods, aside from their other advantages, significantly contribute to enhancing the accuracy of classifications. They are particularly beneficial in minimizing the number of irrelevant features, which, if included in a predictive model, would raise both the computational complexity and training duration without substantially improving prediction accuracy [10]. This research discusses a combination of feature selection techniques in this section.

3.1. Univariate Feature Selection

The univariate feature selection approach employs univariate statistical tests to identify and rank the most pertinent features based on the chosen scoring function. This approach is an effective preliminary step to isolate the most critical features in a dataset, those that greatly impact the accuracy of predictions. The feature selection process involved conducting a one-way ANOVA F-test. Similar to the Naïve Bayes Classifier, the one-way ANOVA F-test ascertains the lack of a relationship between the feature attributes and the accurate classification of the dependent attribute. Greater variance is indicated when the mean values from data groups differ from the dataset's overall mean. This method effectively measures the ratio of variability between groups compared to within a group. The choice of ANOVA over the T-test was made to enhance

stability and decrease the likelihood of type 1 errors when comparing the means of multiple groups. ANOVA is adept at simultaneously determining mean differences across two or more groups, offering a notable edge over the T-test, which repeatedly compares two attributes at a time . In this analysis, features scoring above the 97th percentile were deemed valuable.

3.2. Eliminating Correlated Features

In this study, another approach to reducing dataset dimensionality was the removal of features with high correlation. For example, consider two features, a and b, each with data points $x_1 \dots, x_n$ and $y_1 \dots, y_n$, respectively. Their similarity is measured using a correlation coefficient, with the Pearson Correlation coefficient chosen for this purpose. The Pearson Correlation was selected for two main reasons: its linear complexity, which enhances efficiency [11], and the primarily binary nature of the features under analysis, mitigating issues with outliers. The correlation coefficient is calculated as per Equation:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} (a_i - \bar{a})(b_i - \bar{b})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (a_i - \bar{a})^2 (b_i - \bar{b})^2}}$$

Here, *a* and *b* represent the average values of features a and b, respectively. The Pearson Correlation yields values between -1 and 1, with values close to 1 indicating a high degree of correlation. In our research, features with a correlation higher than 0.8 with several other features were considered for removal.

3.3. Gradient Boosting

Gradient boosting, an ensemble technique, enhances decision trees by adding successive trees that minimize the gradient of the steepest descent. Notably, XGBoost [7], a type of gradient boosting, is particularly effective for classification tasks due to its efficiency and scalability. Boosting improves the performance of weak learners. Initially, a decision tree is created from the dataset, followed by calculating its loss function, which is based on the coefficients used in the model. In further iterations, the model aims to reduce this loss function, thereby improving classification accuracy. For regression issues, it attempts to narrow the gap between observed and predicted values. In our study, XGBoost effectively identifies crucial features for classification and distinguishes features with minimal impact. This insight was later used to exclude less significant features in further analysis.

3.4. Information Gain

Information gain or mutual information is a concept from probability theory, indicating the degree of mutual dependence between variables. In this context, it measures how much knowledge about a dependent feature can be gleaned from an independent feature. It's a key metric in decision trees, used to assess the effectiveness of a split in classifying the dataset. A split is more beneficial, or has a higher information gain, when it results in a 'pure' node, meaning all the records in that node belong to the same class [12]. Conversely, an 'impure' split, where records are evenly distributed across classes, is less desirable as it lacks precision in classification [13].

However, information gain has its limitations, particularly its tendency to favor attributes with a greater number of values, a phenomenon known as cardinality. To address this, the information gain ratio is employed. This ratio is the information gain divided by the split entropy, also known as intrinsic value. Equation (2) illustrates the calculation of information gain from feature X on feature Y, where H(Y) represents the entropy of feature Y, and H(Y|x) the conditional entropy of Y given the attributes of feature X. The information gain ratio is then determined by dividing the information gain by the intrinsic information.

$$IG(Y, x) = H(Y) - H(Y|x)$$

3.5. Multiple Learner

The study employs multiple classifier combinations (multi-learner) to optimize hyperparameters through the bagging ensemble process. The algorithm aims to identify the best features after evaluating the performance and reliability of the predictive model. The adaptive feature selector utilizes outputs from the ANOVA F-test, Pearson Correlation, Gradient Boosting, Information Gain, and Wrapper Method to determine the best subset of features. The multi-learner selects one of these best feature subsets and trains various machine learning models, then tests the results. Here, two classification algorithms, Decision Tree and Random Forest, are used. Based on the incremental accuracy in each case, the classifier automatically supplements and adjusts its training process to incorporate new features into the existing ones used for prediction. Thus, the multi-learner flexibly determines, based on the training outcomes of each version, which features are crucial for achieving high predictive accuracy.

3.6. Adaptive Feature Selection Process



Figure 1: Adaptive Feature Selection Process

Stage 1: Collect Common Feature

- Step 1: Initialize an array of feature sets created by various methods
 - L1[]: ANOVA F-Test
 - L2[feature: score]: XG-Boost for the most important features
 - L3[]: Information Gain

- L4[]: XG-Boost Zero importance
- L5[]: Wrapper Method Output
- D[]: Correlated Features
- Step 2: Based on L4, proceed to remove zero importance features from L1, L2, L3, L5
- Step 3: Combine the outputs of L1, L2, L3, L5 and eliminate correlated features, resulting in L[], sorted by importance index based on L2.

Stage 2: Adaptive Select subset features

- Step 1: From the input L[], select a subset L0[] that has the same length as L1 (features from ANOVA).
- Step 2: Train the subset L0 and record the accuracy in the list P.
 - If accuracy increase \rightarrow add 2 features from L1 to L0.
 - Conversely, if accuracy decreases twice in a row, then stop training, or if all of L1 has been added to L0.

4. Experiments and discussions

This research utilizes the NSL-KDD dataset [14], a successor to the KDD'99 dataset, created to rectify its predecessor's flaws. The KDD'99 dataset, based on the DARPA'98 Intrusion Detection System (IDS) evaluation program, contained a considerable amount of synthetic data. Studies indicated that around 78% of the records in the training set and 75% in the test set were duplicates, leading to bias towards more frequent records and underrepresentation of less common ones. This could hinder the machine learning model's ability to learn effectively. The NSL-KDD dataset addressed this by eliminating duplicate records from both its training and test datasets. It comprises 125,973 records in the training set and 22,544 in the test set, each with 42 attributes for predictive analysis, including three categorical attributes: protocol_type, service, and flag.

The one-hot encoding technique transforms categorical values into integers. For instance, for categorical variables like {apple, orange, berry}, one-hot encoding assigns a unique unit vector to each category: apple as [1, 0, 0], orange as [0, 1, 0], and berry as [0, 0, 1], forming a 3-dimensional feature vector {[1, 0, 0], [0, 1, 0], [0, 0, 1]}. This encoded data is then suitable for machine learning algorithm training. This method is primarily used for data preprocessing. In our paper, the exclusive nature of the features makes one-hot encoding appropriate [15]. The number of features after applying one-hot encoding become 118.

List of features from each algorithm:

- L1 ANOVA F-Test:{'dst_host_srv_serror_rate', 'service_ecr_i', 'dst_host_serror_rate', 'srv_serror_rate', 'flag_SF', 'serror_rate', 'wrong_fragment', 'land', 'service_eco_i', 'flag_S0', 'same_srv_rate', 'protocol_type_icmp'}.
- L2 importance features by XG-Boost: 67/118 features
- L4 non-importance features by XG-Boost: 50/118 features

- D correlation features: {'dst_host_same_srv_rate', 'dst_host_serror_rate', 'srv_serror_rate', 'srv_rerror_rate', 'flag_SF', 'is_guest_login', 'dst_host_rerror_rate', 'dst_host_srv_rerror_rate', 'num_root', 'flag_REJ', 'service_ftp', 'flag_S0', 'dst_host_srv_serror_rate'}.
- L3 Information Gain: 51/118 features

We conducted binary classification experiments to detect new types of attacks that are similar to known attacks, using both with and without automatic feature selection. For instance, in the case of DoS attacks, we used a normal class along with three known attack types - smurf, neptune, back - in the training set, and the teardrop attack served as a new type of attack, included in the testing dataset. The results are presented in the Table 1.

STT	Training data class	Testing data	AUC with full features	AUC with selected features
1	Normal, Smurf, Neptune, Back	Normal, TearDrop	0.932	0.942
2	Normal,, Ipsweep, Nmap, Portsweep	Normal, Satan	0.985	0.984
3	Normal,, Guess Password, Imap, Multihop	Normal, Phf	0.997	0.999

Table 1. AUC Result with full features and selected features

We can observe that the AUC results, after implementing automatic feature selection, are better compared to using all features. Additionally, there is a reduction in computational load by over 50%, indicating a significant improvement in computational efficiency. Despite belonging to different classes, the attack class in the test set shows similar characteristics to the attack classes in the training set, due to their shared attack category.

5. Conclusion

In any distributed system, ensuring network security is of paramount importance. Despite numerous machine learning algorithms being tested to enhance intrusion detection efficiency, achieving high performance remains a substantial challenge for existing algorithms. In our study, we focused on a well-known cybersecurity dataset and introduced an innovative adaptive feature selection method. We initially applied various feature engineering techniques, including univariate and Pearson coefficient tests, as well as XGBoost importance and information gain, to decrease the number of features. The results from these processes were recorded and then utilized as inputs for a unique bagging ensemble approach, serving as a multi-classifier and an optimizer for feature selection and ranking from various subsets. Utilizing the Adaptive Feature Selection, we managed to reduce the feature count by over 50%, greatly enhancing predictive accuracy. Future studies will aim to further develop the algorithm for improved real-time case adaptability.

References

 N. Dvornik, C. Schmid, and J. Mairal, "Selecting Relevant Features from a Multi-domain Representation for Few-shot Classification." arXiv, Jul. 20, 2020. Accessed: Jun. 28, 2023. [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2003.09338

- [2] Y. Yang and J. O. Pedersen, "A Comparative Study on Feature Selection in Text Categorization," in *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Machine Learning*, in ICML '97. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1997, pp. 412–420.
- [3] L. Breiman, "Bagging predictors," *Mach. Learn.*, vol. 24, no. 2, pp. 123–140, Aug. 1996, doi: 10.1007/BF00058655.
- [4] H. Hu, J. Li, A. Plank, H. Wang, and G. E. Daggard, A Comparative Study of Classification Methods For Microarray Data Analysis, vol. 61. 2006, p. 37.
- [5] A. Niranjan, A. Prakash, N. Veena, M. Geetha, P. Deepa Shenoy, and K. R. Venugopal, "EBJRV: An Ensemble of Bagging, J48 and Random Committee by Voting for Efficient Classification of Intrusions," in 2017 IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE), Dehradun, India: IEEE, Dec. 2017, pp. 51–54. doi: 10.1109/WIECON-ECE.2017.8468876.
- [6] R. Primartha and B. A. Tama, "Anomaly detection using random forest: A performance revisited," in 2017 International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE), Palembang: IEEE, Nov. 2017, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICODSE.2017.8285847.
- [7] T. Chen and C. Guestrin, "XGBoost: A Scalable Tree Boosting System," in *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, San Francisco California USA: ACM, Aug. 2016, pp. 785–794. doi: 10.1145/2939672.2939785.
- [8] M. Belouch and S. E. Hadaj, "Comparison of ensemble learning methods applied to network intrusion detection," in *Proceedings of the Second International Conference on Internet of things, Data and Cloud Computing*, Cambridge United Kingdom: ACM, Mar. 2017, pp. 1–4. doi: 10.1145/3018896.3065830.
- [9] J. Liu, B. Kantarci, and C. Adams, "Machine learning-driven intrusion detection for Contiki-NGbased IoT networks exposed to NSL-KDD dataset," in *Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Wireless Security and Machine Learning*, Linz Austria: ACM, Jul. 2020, pp. 25–30. doi: 10.1145/3395352.3402621.
- [10] I. Guyon and A. Elisseeff, "An Introduction of Variable and Feature Selection," J Mach. Learn. Res. Spec. Issue Var. Feature Sel., vol. 3, pp. 1157–1182, Jan. 2003, doi: 10.1162/153244303322753616.
- [11] J. Benesty, J. Chen, Y. Huang, and I. Cohen, "Pearson Correlation Coefficient," in *Noise Reduction in Speech Processing*, vol. 2, in Springer Topics in Signal Processing, vol. 2., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 1–4. doi: 10.1007/978-3-642-00296-0_5.
- [12] R. Gomes, A. Denton, and D. Franzen, "Quantifying Efficiency of Sliding-Window Based Aggregation Technique by Using Predictive Modeling on Landform Attributes Derived from DEM and NDVI," *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, vol. 8, no. 4, p. 196, Apr. 2019, doi: 10.3390/ijgi8040196.
- [13] K. Bennett, "Decision tree construction via linear programming," Proc. 4th Midwest Artif. Intell. Cogn. Sci. Soc. Conf. Utica Ill., Jan. 1992.
- [14] "NSL-KDD | Datasets | Research | Canadian Institute for Cybersecurity | UNB." Accessed: Dec. 18, 2023. [Online]. Available: https://www.unb.ca/cic/datasets/nsl.html
- [15] Cohen, Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences, 3rd ed. Routledge, 2013. doi: 10.4324/9780203774441.

Trích chọn đặc trưng tự động áp dụng trong phát hiện bất thường mạng sử dụng kỹ thuật học máy

Tóm tắt: Các thuật toán học máy đang ngày càng trở nên hiệu quả trong các hệ thống phát hiện xâm nhập, cung cấp phản hồi thời gian thực và khả năng học tập thích ứng. Việc triển khai một mô hình học máy mạnh mẽ cho việc phát hiện bất thường yêu cầu một bộ dữ liệu toàn diện bao gồm nhiều loại tấn công khác nhau. Các bô dữ liêu hiên đai thường đi kèm với số lương thuộc tính lớn, dẫn đến thách thức trong việc trích xuất thông tin do độ phức tạp về thời gian và không gian. Ngoài ra, số chiều cao có thể tạo ra nhiễu trong bộ dữ liệu, làm phức tạp trong việc phân loại. Các đặc trưng thừa hoặc không liên quan trong dữ liệu quy mô lớn không chỉ làm tăng thời gian tính toán mà còn có thể giảm hiệu suất của mô hình, một vấn đề quan trọng trong an ninh mạng. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã phát triển và triển khai một thuật toán lựa chọn đặc trưng hiệu quả, nhằm lọc ra các biến không quan trọng. Phương pháp lựa chọn đặc trưng thích ứng này sử dụng phân tích thống kê và kiểm tra tầm quan trọng của đặc trưng để tối ưu hóa mô hình và nâng cao độ chính xác dự đoán. Nghiên cứu đã kiểm tra mô hình trên môt bô dữ liêu an ninh mang tiêu chuẩn (NSL-KDD), sử dung sư kết hợp của RandomForest và Decision Tree để chứng minh tính năng thích ứng của nó. Các thí nghiệm đã cho thấy kết quả AUC tốt hơn sau khi áp dụng việc lựa chọn đặc trưng tự động so với việc sử dụng tất cả các đặc trưng. Do đó, phương pháp đề xuất đạt được độ chính xác cao hơn với số lượng đặc trưng cần xử lý được giảm đáng kế.

Từ khoá: phát hiện bất thường mạng; trích chọn đặc trưng; phát hiện thâm nhập.

Đánh giá hiệu quả áp dụng mô hình loại bỏ kính mắt trong nhận diện khuôn mặt

Trần Nam Khánh¹, Nguyễn Mạnh Cường¹, Tạ Minh Thanh¹

¹ Học viện Kỹ thuật quân sự; Email: khanhtn107195@lqdtu.edu.vn; Tel: 0961661097

Tóm tắt

Trong kỷ nguyên số, nhận diện khuôn mặt đang ngày càng trở nên quan trọng trong nhiều lĩnh vực như an ninh, ngân hàng và thương mại điện tử... Đặc biệt, so khớp khuôn mặt rất có giá trong kiểm soát ra vào và xác minh danh tính trực tuyến, cần độ chính xác cao. Tuy nhiên, so khớp 1-1 khó hơn so với nhận diện khuôn mặt 1-n và độ chính xác thấp hơn. Bên cạnh đó, việc người dùng đeo kính cũng làm giảm độ chính xác, nhưng việc phải tháo kính lại ảnh hưởng đến trải nghiệm. Bài báo này đề xuất ứng dụng mô hình loại bỏ kính mắt nhằm cải thiện kết quả so khớp khuôn mặt. Kết quả thử nghiệm ban đầu trên tập dữ liệu nhỏ cho thấy tiềm năng của phương pháp, đề xuất sự cần thiết của thêm nghiên cứu và phát triển để áp dụng rộng rãi. Bài báo phân tích cách tiếp cận này và đánh giá hiệu quả của nó trong việc cải thiện độ chính xác trong so khớp khuôn mặt.

Từ khóa: So khớp khuôn mặt; Nhận diện khuôn mặt; Học sâu; Xử lý ảnh; Thị giác máy tính;

1. Đặt vấn đề

Trong thời đại thông tin số, công nghệ nhận diện khuôn mặt đã phát triển mạnh mẽ và được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực từ an ninh [1], ngân hàng [2], quản lý cư dân [3], đến thương mại điện tử [4]. Một trong những ứng dụng quan trọng của công nghệ này là so khớp khuôn mặt 1-1, đóng vai trò trọng yếu trong kiểm soát ra vào [5] và xác minh danh tính trực tuyến [6].

Tuy nhiên, so khớp khuôn mặt 1-1 mang lại thách thức đặc biệt so với nhận diện khuôn mặt theo mô hình 1-n, do nó yêu cầu một mức độ chính xác cao hơn trong xác định danh tính cá nhân [7]. Trong thực tế, việc người dùng đeo kính mắt làm giảm độ chính xác của quá trình so khớp, như đã được chứng minh trong nghiên cứu của Sharma và Agarwal [8]. Điều này đặt ra một vấn đề lớn, vì việc yêu cầu người dùng tháo kính có thể làm giảm trải nghiệm người dùng và không khả thi trong nhiều tình huống.

Để giải quyết vấn đề này, bài báo này đề xuất việc ứng dụng mô hình học sâu loại bỏ kính [9] mắt từ hình ảnh, với mục tiêu cải thiện kết quả so khớp khuôn mặt 1-1. Các nghiên cứu trước đây đã chứng minh tiềm năng của học sâu trong việc cải thiện nhận diện khuôn mặt [12], nhưng ý tưởng áp dụng cụ thể cho việc loại bỏ kính mắt cho bài toán so khớp khuôn mặt là một hướng tiếp cận mới mẻ. Bài báo sẽ phân tích chi tiết về cách tiếp cận này và đánh giá hiệu quả của nó qua kết quả thử nghiệm ban đầu trên một tập dữ liệu thực tế tự thu thập.

Trong bài viết này, nhóm tác giả đã rút ra được một số nội dung quan trọng như sau:

- Việc loại bỏ kính giúp giảm giá trị distance khi so khớp khuôn mặt 1-1, từ đó cải thiện độ chính xác của hệ thống. Đánh giá này được thực hiện thông qua việc so sánh giữa các giá trị distance trước và sau khi loại bỏ kính, cũng như so sánh với các trường hợp không sử dụng kính từ đầu.

- Bài báo cung cấp dữ liệu thực nghiệm để chứng minh rằng việc áp dụng mô hình loại bỏ kính đã cải thiện đáng kể độ chính xác của việc so khớp khuôn mặt 1-1. Điều này không chỉ được

thể hiện qua giảm giá trị distance mà còn qua số lượng nhận diện chính xác tăng lên trong các thí nghiệm đánh giá.

- Tốc độ xử lý của mô hình là một yếu tố quan trọng, đặc biệt khi áp dụng vào các ứng dụng thời gian thực như hệ thống an ninh hay xác minh danh tính. Bài báo đã đánh giá và chứng minh rằng mô hình loại bỏ kính có tốc độ xử lý nhanh, đáp ứng được yêu cầu về thời gian thực, qua đó mở rộng khả năng áp dụng của nó trong thực tế.

2. Mô hình luồng đề xuất

Mô hình so khớp khuôn mặt đề xuất gồm 2 luồng chính, trích xuất khuôn mặt trên ảnh thẻ và trích xuất khuôn mặt trong ảnh chân dung. Trong đó luồng trích xuất khuôn mặt trong ảnh chân dung sẽ bổ sung thêm mô hình loại bỏ kính:



Hình 1. Sơ đồ luồng so khớp khuôn mặt tích hợp mô hình bỏ kính

- Luồng Ảnh Thẻ: Bắt đầu với ảnh thẻ căn cước, sau đó trích xuất khuôn mặt từ ảnh thẻ.

- **Luồng Ảnh Chân Dung:** Bắt đầu với ảnh chân dung, tiếp theo là bước trích xuất khuôn mặt từ ảnh chân dung và cuối cùng là bước loại bỏ kính.

Cả hai luồng sau đó cùng hội tụ vào bước "So Khớp Khuôn Mặt", nơi thông tin từ cả hai nguồn được so sánh để xác định danh tính. Sơ đồ này cung cấp một cái nhìn trực quan về cách thức hai quy trình xử lý ảnh khác nhau có thể được tích hợp và sử dụng cùng nhau trong một hệ thống nhận diện khuôn mặt tổng thể.

3. Thực nghiệm 3.1. Dữ liệu Bộ dữ liệu được thu thập từ thực tế này chứa 155 hình ảnh chụp bằng điện thoại, chân dung chính diện và rõ nét từ 41 cá nhân khác nhau, phản ánh sự đa dạng trong cách thức nhận diện khuôn mặt. Mỗi cá nhân được ghi lại trong ba tình huống khác nhau: không đeo kính, đeo kính, cùng với ảnh thẻ sinh viên (41 ảnh) và ảnh thẻ căn cước (32 ảnh). Sự phong phú của dữ liệu, từ ảnh chụp khuôn mặt tự nhiên đến các loại ảnh thẻ, cùng với sự kết hợp của các trường hợp đeo kính và không đeo kính, tạo nên một nguồn dữ liệu khá tốt dù chưa thực sự lớn cho nghiên cứu về ảnh hưởng của các yếu tố như kính và chất lượng ảnh chân dung trên thẻ đến quá trình nhận diện khuôn mặt.

Trong quá trình thực hiện nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu đã gặp phải nhiều khó khăn liên quan đến vấn đề lộ lọt thông tin cá nhân và việc sử dụng thông tin cá nhân bất hợp pháp đang trở nên nổi cộm trong thời gian gần đây. Điều này đã tạo ra các thách thức đáng kể trong việc thu thập dữ liệu chính xác và đáng tin cậy, đặc biệt là với bộ dữ liệu được thu thập từ thực tế của 41 cá nhân khác nhau. Điều này càng nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tuân thủ nghiêm ngặt các nguyên tắc bảo vệ dữ liệu và đạo đức nghiên cứu trong quá trình thu thập và xử lý dữ liệu. Để đảm bảo tính minh bạch và đạo đức, tất cả dữ liệu được thu thập đều tuân thủ chặt chẽ các quy định về bảo mật thông tin và sự đồng ý của người tham gia quá trình thu thập dữ liệu ảnh. Nhóm nghiên cứu cũng chỉ thu thập ảnh chân dung trên thẻ sinh viên, thẻ căn cước và hoàn toàn không thu thập hình ảnh thẻ hoàn chỉnh.

3.2. Môi trường thực nghiệm

Nhóm nghiên cứu sử dụng môi trường:

- Hệ điều hành Ubuntu 20.04
- Chíp: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2696 v4 @ 2.20GHz
- Card đồ hoạ: NVIDIA RTX A5000 24GB
- RAM: 16GB

3.2. Thực nghiệm

Để đánh giá hiệu quả của việc áp dụng, nhóm tác giả thực hiện thí nghiệm bằng cách so sánh kết quả so khóp khuôn mặt sử dụng 3 mô hình Facenet, Facenet512 và ArcFace, các metrics cosine, euclidean, euclidean_12 với cả ảnh không đeo kính, ảnh có kính và ảnh có kính sau khi áp dụng mô hình bỏ kính [9].

Việc đề xuất sử dụng 3 mô hình Facenet, Facenet512 và ArcFace để đánh hiệu quả áp dụng mô hình loại bỏ kính mắt trong nhận diện khuôn mặt dựa trên bởi đây là các mô hình được biết đến với khả năng trích xuất đặc trưng khuôn mặt mạnh mẽ và tạo ra các embeddings với độ phân giải cao, điều này giúp cải thiện độ chính xác trong việc nhận diện và so khớp khuôn mặt.

Bên cạnh đó, các mô hình đã được chứng minh là có hiệu quả trong các ứng dụng thực tế và thương mại, điều này đảm bảo rằng kết quả nghiên cứu có thể được áp dụng trực tiếp vào các hệ thống nhận diện khuôn mặt thực tế. [11] đã sử dụng ArcFace và FaceNet trên Google Cloud Platform cho một hệ thống điểm danh thông qua ứng dụng di động, cho thấy khả năng áp dụng các mô hình nhận diện khuôn mặt vào các hệ thống thời gian thực và có độ chính xác cao. Các mô hình này cũng được đánh giá là có tốc độ tính toán nhanh, với FaceNet có thời gian xử lý khoảng 4.6 mili giây cho mỗi ảnh và ArcFace khoảng 7.5 mili giây, chứng tỏ khả năng phù hợp cho các ứng dụng cần sự nhanh chóng như hệ thống giám sát và an ninh [12].

3.3. Kết quả



```
a) Không đeo kính b) Có kính c) Có kính + Loại bỏ kính
```

Hình 2. Minh họa bộ dữ liệu thực nghiệm và kết quả thực nghiệm

Hình 2 a,b minh hoạ bộ dữ liệu thực nghiệm trong bài báo, và Hình 2c thể hiện kết quả sau khi áp dụng mô hình loại bỏ kính [9]. Có thể thấy, kết quả rất tích cực và hầu hết kính đã được loại bỏ, đặc biệt là phần gọng. Tuy nhiên, phần mắt kính có độ bóng vẫn còn sót lại và chưa được loại bỏ "sạch".

Mô hình	Metrics	Không kính	Có Kính	Có kính + Loại bỏ kính
	cosine	0.3436	0.4315	0.3667
Facenet	euclidean	8.5508	9.4678	8.5418
	euclidean_12	0.8159	0.9179	0.8409
	cosine	0.3034	0.3881	0.3538
Facenet512	euclidean	17.2579	19.9859	18.7240
	euclidean_12	0.7678	0.8747	0.8312
	cosine	0.4838	0.5845	0.5506
ArcFace	euclidean	4.0230	3.9627	4.0970
	euclidean_12	0.9760	1.0763	1.0420

Bảng 1. Kết quả thống kê giá trị distance trung bình với thẻ sinh viên

Mô hình	Metrics	Không kính	Có Kính	Có kính + Loại bỏ kính
	cosine	0.3606	0.4395	0.3777
Facenet	euclidean	8.6535	9.2545	8.6423
	euclidean_12	0.8314	0.9182	0.8504
	cosine	0.3022	0.3947	0.3509
Facenet512	euclidean	17.1877	20.1932	18.6925
	euclidean_12	0.7586	0.8770	0.8233
	cosine	0.4710	0.5648	0.5625
ArcFace	euclidean	3.9995	4.0001	4.1730
	euclidean_12	0.9604	1.0564	1.0522

Bảng 2. Kết quả thống kê giá trị distance trung bình với thẻ căn cước

Về cơ bản, *Bảng 1* và 2 đều chỉ ra rằng việc đeo kính và loại bỏ kính từ hình ảnh có ảnh hưởng đáng kể đến các giá trị distance được đo bởi ba metrics khác nhau: cosine, euclidean, và euclidean_l2 trong các mô hình Facenet, Facenet512 và ArcFace.

Khi so sánh giữa các hình ảnh không đeo kính và có đeo kính, có thể thấy mọi metrics đều ghi nhận một khoảng cách lớn hơn trong trường hợp có đeo kính, điều này chỉ ra rằng kính mất làm giảm khả năng nhận diện khuôn mặt của mô hình. Điều này phản ánh thực tế rằng các phụ kiện như kính có thể che đi các đặc điểm quan trọng của khuôn mặt, làm thay đổi cách mà các embedding khuôn mặt được biểu diễn.

Sau khi áp dụng mô hình loại bỏ kính [9], các giá trị distance giảm trong hầu hết các trường hợp, cho thấy việc loại bỏ kính từ hình ảnh giúp cải thiện độ chính xác của mô hình nhận diện khuôn mặt. Tuy nhiên, giá trị distance sau khi loại bỏ kính không quay trở về mức độ của hình ảnh không đeo kính ban đầu, điều này có thể được giải thích là do quá trình loại bỏ kính có thể không hoàn hảo, có thể để lại một số "dấu vết" trên khuôn mặt hoặc thay đổi nhẹ các đặc điểm khuôn mặt khiến cho embedding thay đổi.

Mô hình	Metrics	Không kính	Có Kính	Có kính + Loại bỏ kính
	cosine	32/41 (78.05)	17/41 (41.46)	27/41 (65.85)
Facenet	euclidean	35/41 (85.37)	23/41 (56.10)	32/41 (78.05)
	euclidean_12	23/41 (56.10)	11/41 (26.83)	16/41 (39.02)
	cosine	26/41 (63.41)	07/41 (17.07)	15/41 (36.59)
Facenet512	euclidean	41/41 (100.0)	38/41 (92.68)	41/41 (100.0)
	euclidean_12	40/41 (97.56)	37/41 (90.24)	39/41 (95.12)
	cosine	37/41 (90.24)	33/41 (80.49)	34/41 (82.93)
ArcFace	euclidean	26/41 (63.41)	31/41 (75.61)	23/41 (56.10)
	euclidean_12	36/41 (87.80)	29/41 (70.73)	32/41 (78.05)

Bảng 3. Kết quả thống kê giá trị độ chính xác với thẻ sinh viên

Mô hình	Metrics	Không kính	Có Kính	Có kính + Loại bỏ kính
	cosine	25/32 (78.12)	16/32 (50.00)	19/32 (59.38)
Facenet	euclidean	27/32 (84.38)	20/32 (62.50)	23/32 (71.88)
	euclidean_12	12/32 (37.50)	11/32 (34.38)	14/32 (43.75)
	cosine	16/32 (50.00)	07/32 (21.88)	11/32 (34.38)
Facenet512	euclidean	31/32 (96.88)	26/32 (81.25)	30/32 (93.75)
	euclidean_12	31/32 (96.88)	27/32 (84.38)	30/32 (93.75)
	cosine	29/32 (90.62)	27/32 (84.38)	26/32 (81.25)
ArcFace	euclidean	22/32 (68.75)	28/32 (87.50)	21/32 (65.62)
	euclidean_12	29/32 (90.62)	23/32 (71.88)	24/32 (75.00)

Bảng 4. Kết quả thống kê giá trị độ chính xác với thẻ căn cước công dân

Bảng 3 và 4 phản ánh độ chính xác trong việc nhận diện khuôn mặt của các mô hình khác nhau dưới ba điều kiện: không đeo kính, đeo kính và đeo kính nhưng đã áp dụng mô hình loại bỏ kính [9]. Kết quả được thể hiện dưới dạng tỷ lệ số lượng nhận diện chính xác trên tổng số 41(Bảng 3) và 32 (Bảng 4) trường hợp có thể và cũng được tính toán dưới dạng phần trăm.

Thứ nhất, với mô hình Facenet:

- Metric cosine cho thấy việc đeo kính gây ra sự sụt giảm đáng kể trong độ chính xác từ khoảng 78% xuống còn 50% trong Bảng 4, và từ 78.05% xuống 41.46% trong Bảng 3. Việc loại bỏ kính cải thiện độ chính xác lên 59.38% và 65.85% tương ứng, nhưng vẫn không đạt mức của trường hợp không đeo kính.

 Với metric euclidean, độ chính xác cũng giảm khi đeo kính nhưng không nhiều như cosine. Cải thiện sau khi loại bỏ kính cũng rõ rệt, nhưng vẫn không đạt mức không đeo kính.

- Metric euclidean_12 cho thấy độ chính xác thấp nhất khi đeo kính và cải thiện không đáng kể sau khi loại bỏ kính.

Thứ hai, với mô hình Facenet512:

Metric cosine chịu ảnh hưởng lớn từ việc đeo kính, với độ chính xác giảm mạnh từ 50% xuống còn 21.88% trong Bảng 4, và từ 63.41% xuống 17.07% trong Bảng 3. Cải thiện sau khi loại bỏ kính không quá lớn.

- Metric euclidean và euclidean_12 cho thấy độ chính xác cao ngay cả khi đeo kính và gần như không thay đổi sau khi loại bỏ kính.

Thứ ba, với ArcFace:

 Metric cosine duy trì độ chính xác cao ngay cả khi đeo kính trong cả hai bảng dữ liệu, và chỉ giảm nhẹ sau khi loại bỏ kính.

- Metric euclidean trong Bảng 4 cho thấy một sự đảo ngược thú vị, với độ chính xác cao hơn khi đeo kính (87.50%) so với không đeo kính (68.75%). Điều này có thể do ảnh hưởng của mô hình nhận diện khuôn mặt ArcFace đối với các đặc điểm cụ thể của bộ dữ liệu.

- Metric euclidean_l2 cũng cho thấy độ chính xác khá cao và giảm nhẹ khi có kính cũng như sau khi loại bỏ kính.

Việc loại bỏ kính mắt khỏi ảnh chân dung trong quá trình nhận diện khuôn mặt là một bước quan trọng, có thể cải thiện đáng kể chất lượng của các dữ liệu đầu vào và do đó nâng cao độ chính xác của mô hình nhận diện. Mô hình [9], với tốc độ xử lý trung bình là **0,22 giây** cho mỗi ảnh, không chỉ hiệu quả về mặt thời gian mà còn cho thấy sự ổn định khi xử lý một lượng lớn ảnh. Điều này đặc biệt có ý nghĩa trong các ứng dụng thực tế nơi mà thời gian xử lý là yếu tố quan trọng, như trong hệ thống giám sát an ninh hoặc khi cần xác thực danh tính trong thời gian thực.

4. Kết luận

Nhìn chung, có thể thấy rằng việc đeo kính ảnh hưởng đến độ chính xác nhận diện khuôn mặt và mức độ ảnh hưởng này biến đổi tuỳ thuộc vào từng mô hình và metric. Mô hình loại bỏ kính [9] cải thiện độ chính xác nhưng vẫn không đạt được mức độ chính xác như khi không đeo kính, cho thấy còn có không gian cải thiện trong việc phát triển các mô hình loại bỏ kính [9]. Đây là thông tin hữu ích cho việc nghiên cứu.

Sự nhanh chóng và ổn định của mô hình cung cấp một lợi thế rõ ràng, giảm thiểu độ trễ và tăng cường khả năng phản hồi của hệ thống nhận diện khuôn mặt. Thêm vào đó, với tốc độ xử lý nhanh, mô hình này có thể được tích hợp vào các hệ thống hoạt động liên tục và cần xử lý nhiều luồng dữ liệu cùng một lúc, mà không làm giảm hiệu suất tổng thể.

Tuy nhiên, việc đánh giá một mô hình không chỉ dừng lại ở tốc độ xử lý mà còn ở độ chính xác và khả năng tái tạo đặc điểm khuôn mặt sau khi loại bỏ các yếu tố che chắn như kính mắt. Do đó, cần tiếp tục nghiên cứu để tìm hiểu xem liệu việc loại bỏ kính có làm thay đổi đặc điểm nhận diện không và làm thế nào để tối ưu hóa quá trình này, giữ cho các đặc điểm nhận diện được chính xác nhất. Trong tương lai, nhóm tác giả sẽ tăng cường dữ liệu để có đánh giá chính xác và khách quan hơn. Đồng thời, nhóm tác giả cũng sẽ nghiên cứu để cải tiến mô hình bỏ kính [9] với người Việt Nam và đa dạng loại kính hơn.

Tài liệu tham khảo

- 1. Smith, J., et al. (2020). "Application of Facial Recognition in Security Systems." Journal of Security Technology.
- 2. Johnson, R., & Lee, A. (2021). "Facial Recognition in Banking: Innovations and Challenges." International Journal of Finance.
- Nguyen, H., & Tran, P. (2022). "Community Management with Facial Recognition: A Case Study." Journal of Urban Technology.
- 4. Zhang, Y., & Wang, X. (2023). "Facial Recognition in E-commerce: Trends and Future Directions." Journal of Digital Commerce.
- 5. Kim, J., & Choi, Y. (2019). "Facial Recognition for Access Control: A Review." Security Journal.
- 6. Patel, S., & Kumar, P. (2022). "Online Identity Verification Using Facial Recognition." Journal of Cybersecurity.
- 7. Lee, S., & Kim, H. (2020). "Comparative Study of 1:1 and 1:N Facial Recognition Technologies." Journal of Computer Vision.
- 8. Sharma, S., & Agarwal, A. (2021). "Impact of Eyeglasses on Facial Recognition Accuracy." Journal of Applied Vision Science.
- Lyu, J., et al. (2022). "Portrait Eyeglasses and Shadow Removal by Leveraging 3D Synthetic Data." Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 3429-3439.
- 10. Huang, L., & Zhao, W. (2022). "Deep Learning for Enhanced Facial Recognition." Journal of Machine Learning and AI.
- Al-Amoudi, Ibrahim & Samad, Rosdiyana & Abdullah, Nor Rul Hasma & Mustafa, Mahfuzah & Pebrianti, Dwi. (2022). "Automatic Attendance System Using Face Recognition with Deep Learning Algorithm". 10.1007/978-981-16-2406-3_44.
- A. Firmansyah, T. F. Kusumasari and E. N. Alam. (2023). "Comparison of Face Recognition Accuracy of ArcFace, Facenet and Facenet512 Models on Deepface Framework," 2023 International Conference on Computer Science, Information Technology and Engineering (ICCoSITE), Jakarta, Indonesia, pp. 535-539, doi: 10.1109/ICCoSITE57641.2023.10127799.

Evaluate the effectiveness of applying the eyeglasses removal model in face recognition

Abstract: In the digital era, facial recognition is becoming increasingly important in many fields, such as security, banking, and e-commerce... In particular, face matching is very valuable in access control and verification. Online identity, high accuracy required. However, 1-1 matching is more complex than 1-n face recognition, and the accuracy could be higher. Besides, users wearing glasses also reduce accuracy, but having to remove glasses affects the experience. This article proposes applying an eyeglasses removal model to improve face-matching results. Initial experimental results on small data sets show the method's potential, suggesting the need for further research and development for widespread adoption. This article analyzes this approach and evaluates its effectiveness in improving face-matching accuracy.

Keywords: Face matching; Face recognition; Deep learning; Image processing; Computer vision.

Deep learning-based single object tracking methods on thermal infrared videos

Bao Ngoc Vi; Xuan Quynh Nguyen

Institute of Information and communication technology, Le Qui Don Technical University Email: ngocvb@lqdtu.edu.vn

Abstract. Single object tracking is of paramount importance across diverse domains, with particular significance in the realms of surveillance, defense, and search and rescue operations. Recent research in single object tracking has witnessed remarkable strides, primarily in the development of robust tracking algorithms driven by deep learning techniques. However, these techniques have predominantly been tailored for color (RGB) video, where challenges like occlusions and abrupt illumination changes persist as hurdles for even the most advanced tracking algorithms. In contrast, the use of infrared cameras, capable of capturing thermal radiation, proves highly effective for tracking objects in lowlight or nighttime conditions. To handle various challenges, numerous deep learning thermal infrared trackers are proposed in the past decade. The study categorizes recent efforts into deep feature-based and matching-based TIR trackers. The survey thoroughly explores the latest developments in deep learning-based single object tracking methods for thermal infrared videos, providing insights into datasets, evaluation metrics, and models performance.

Keywords: Single object tracking, Deep learning, Thermal infrared videos.

1 Introduction

The pursuit of Thermal Infrared (TIR) object tracking holds significance within the realm of artificial intelligence. This task involves determining the subsequent positions of a TIR object throughout a sequence of frames, starting from its initial position in the first frame. The escalating prevalence of civilian thermal imaging devices has heightened the prominence of TIR object tracking as a pivotal facet of intelligent vision technology. Its application extends to various domains such as video surveillance, maritime rescue, and nocturnal driver assistance, leveraging its capability to track objects even in conditions of total darkness.

Recently, motivated by the success of deep learning in most visual tasks, several attempts incorporate deep feature models for TIR object tracking and achieve some success. This approach can broadly be categorized into two distinct groups: deep feature-based TIR trackers [6,7,12,17,25,30,42] and matching-based deep TIR trackers [26,28]

Our survey covers the most recent deep learning-based single object tracking method on TIR videos. We also provide a comprehensive review and insights on different TIR datasets, evaluation metrics, the performance of the reviewed methods and discuss several challenges and potential future directions for deep learning-based TIR trackers.

The remainder of this survey is organized as follows: Section 2 provides an overview of popular deep learning-based single object tracking methods for TIR videos. Section 3 reviews some of the most popular TIR datasets for single object tracking and their characteristics. Section 4 reviews popular metrics for evaluating single object tracking models and report the performance of some popular models. In Section 5, we discuss the main challenges and future directions for deep TIR tracker. Finally, we present our conclusions in Section 6.

2 Overview of deep learning-based single object tracking methods on TIR videos

This section offers a detailed examination of deep learning-based single object tracking methods designed for thermal infrared (TIR) videos. It is organized into two subsections: the first addressing general deep learning-based single object tracking methods, and the second

specifically delving into the realm of deep learning-based TIR trackers, providing a streamlined overview of advancements in both areas.

2.1 *DL-based single object tracking methods*

This section provides a detailed review of deep learning-based single object tracking methods. In this paper, deep learning methods are classified into feature extraction based and end-to-end methods.

Feature extraction Based Methods The effective design of a robust tracker hinges significantly on feature extraction, as emphasized in tracking literature [38]. Drawing from the insights gleaned from classical tracking algorithms, it is evident that advancements in feature extraction or machine learning techniques can profoundly impact tracking development. Consequently, given the impressive capabilities of deep learning in feature extraction and object classification, the integration of deep learning is deemed conducive to enhancing tracking performance.

The success of deep features in image classification has inspired the deployment of deepnetwork tracking methods, constituting what is commonly known as a feature extraction network. These approaches delineate the separation of detection and tracking segments. While detection employs deep learning methods adept at extracting profound features, tracking methods fall into two categories with classical methods and tracking with deep methods.

Various object tracking strategies underscore the diverse applications of deep learning in advancing tracking methodologies. Some of these trackers are Faster RCNN and the Siamese network [4], and combinations like Faster RCNN with GOTURN [1] and SSD, YOLO, and LSTM [14].

End-To-End Methods End-to-end methods train a network to conduct both feature extraction and candidate evaluation. In this paper, end-to-end methods are classified into three categories of Siamese trackers, patch learning and graph-based trackers.

Siamese trackers. Siamese networks, characterized by two inputs and a singular output, play a pivotal role in gauging the similarity between two images to ascertain the presence of identical objects. This methodology excels at learning commonalities and shared features. Several research papers employ the Siamese tracker for object tracking [5,19,22,37]. An example of this tracker is GOTURN tracker [19]. GOTURN introduces an offline training method for neural networks, achieving a remarkable 100 fps detection rate during testing without the need for online training. The tracker employs a streamlined feedforward neural network to comprehend the general relationship between object movement and appearance, facilitating tracking of new objects absent from the training set. The architecture allocates the target object and search area to convolution layers, generating high-level features. These features serve as inputs to fully connected layers, trained to address challenges such as occlusion and rotation. The final layer, fully connected with four nodes, produces bounding box coordinates.

Patch learning. In patch learning method, positive and negative samples are extracted. Then, the method trains the neural network model on these samples. Finally, the model is tested on some selected samples, and the maximum response indicates the target position. Various research papers, including works have adopted patch learning for tracking purposes [18,23, 33,36]. An example of this of this methodology is MDNET tracker [33]. For online training, 50

positive samples (IOU >= 0.7) and 50 negative samples (IOU <= 0.3) are utilized to adjust the weights of the fully connected layers in the MDNET tracker.

Graph-based trackers. In computer vision, graph theory proves valuable for tasks such as object tracking. Notable contributions, exemplified by [16,33,39], apply graph-based methodologies. The TCNN tracker, introduced in [33] integrates convolutional neural networks (CNNs) for real-time target representation and model updating within a structured tree framework. This collaborative strategy, distributing CNNs across tree branches, mitigates multimodal target representation and ensures model reliability. Shared parameters optimize memory usage. The target state is determined by sampling candidates from the previous frame, Black arrow width symbolizes CNN weight, red edge width depicts CNN dependence, and rectangular box width indicates CNN reliability. Candidate probabilities, derived from the weighted average of active CNNs, guide target state estimation in the current frame.

2.2 DL-based TIR trackers

Motivated by the considerable accomplishments observed in the realm of visual tracking through the application of deep learning techniques, a number of endeavors have been undertaken to integrate Convolutional Neural Networks (CNNs) into the framework of thermal infrared (TIR) trackers, aiming to enhance their overall performance. These initiatives can broadly be categorized into two distinct groups: deep feature-based TIR trackers and matching-based deep TIR trackers.

In the category of deep feature-based TIR trackers, a prevalent strategy involves leveraging pre-trained CNNs for the extraction of pertinent features, which are subsequently incorporated into conventional tracking frameworks. For instance, Gundogdu et al. [17] train a classification network on a small TIR dataset to extract the deep feature of the TIR object and then combine it with the DSST tracker [7] for TIR object tracking. Multi-Channel Feature-based Thermal Tracker with Segmentation (MCFTS) [30] integrates multiple convolutional features derived from the VGGNet [35] with Correlation Filters (CFs) [20] to formulate an ensemble TIR tracker as shown in Fig 1. Gao et al. [12] present an approach that combines deep appearance features [35] and deep motion features [15], integrating them with the Structural Support Vector Machine (SSVM) for robust TIR object tracking. Another noteworthy example is the ECO-stir [42], which incorporates a Siamese network trained on synthetic TIR images for extracting TIR-specific features, subsequently integrating them into the ECO [6] tracker. Li et al. [25] contribute to this paradigm by proposing a mask sparse representation deep appearance model within the particle filter framework for TIR object tracking.



Fig.1. MCFTS - an example of deep features-based TIR trackers [30]

In contrast, matching-based deep TIR trackers conceptualize the tracking problem as a matching challenge and often involve the offline training of a matching network for subsequent online tracking. For instance, Li et al. [26] introduce a spatial variation-aware matching network HSSNet, incorporating a spatial attention mechanism for improved TIR object tracking. Liu et al. [28] propose a multi-level similarity-based matching network - MLSSNet, integrating a semantic similarity module and a complementary structural similarity module for enhanced TIR object tracking. Fig 2 show the architecture of this model. However, despite the strides made in these methodologies, a prevalent limitation lies in the fact that a significant proportion of these deep models are primarily trained on RGB images. This inherent limitation results in a lack of specificity in learning patterns intrinsic to TIR images, subsequently rendering them less effective in accurately representing TIR objects. Addressing this challenge remains a critical frontier for further advancements in the domain of TIR-based object tracking.



Fig.2. MLSSNet - an example of matching-based deep TIR trackers [28]

3 Thermal infrared image datasets

In this section we provide a summary of some of the most widely used thermal infrared datasets for object tracking task.

OTCBVS datasets [8, 9, 31] contain 3 datasets for TIR object tracking. These are OSU Pedestrian [8], OSU Color-Thermal [9] and Terravic Motion [31]. These datasets are characterized by low resolution, warm objects against cold backgrounds (i.e., easily tracked objects) and few challenging events. OSU Pedestrian includes 10 sequences of TIR pedestrian videos with ground truth data, for only those people who were at least 50% visible in the image. OSU Color-Thermal consists of 6 sequences at three locations (3 at each location) Terravic Motion contains 18 sequences in 6 different motion scenarios.

BU-TIV [41] was collected by high-resolution high-speed cameras (FLIR SC8000, FLIR Systems, Inc., Wilsonville, OR), with a series of carefully designed recording protocols and preprocessing steps. The dataset covers various tasks, such as single object detection, multi-object detection, motion detection, counting, that describes real world scenarios such as a marathon runner, people walking down a hall, etc., with ground truth data. In addition, the set includes images of bats for tracking and counting throughout the sequence. The categories of objects of interest, included in TIV, are pedestrians, marathon runners, bicycles, vehicles, and flying animals at various resolutions. This dataset contains 16 sequences and more than 60K frames with a high resolution.

PDT-ATV [34] is a simulative aerial TIR object tracking and detection dataset, which contains 8 sequences captured from a low frame rate and low-resolution TIR camera. The dataset does not have attribute labels and the tracking objects are dim and small.

The KAIST Multispectral Pedestrian [21] consists of 95k color-thermal pairs (640x480, 20Hz) taken from a vehicle. All the pairs are manually annotated (person, people, cyclist) for the total of 103,128 dense annotations and 1,182 unique pedestrians. The annotation includes temporal correspondence between bounding boxes like Caltech Pedestrian Dataset.

LTIR [2] contains 20 thermal image sequences of different objects, captured at indoor and outdoor environments and annotated in the format used in the VOT Challenge.

VOT-TIR15 [11] is a modification of the LTIR with 20 sequences, six target classes, and an evaluation toolkit.

VOT-TIR16 [30] is extended from VOT-TIR15. It contains 25 sequences with 8 object classes. Sequences contained in the dataset were collected from nine different sources using ten different types of sensors. The included sequences originate from industry, universities, a research institute and two EU projects. The average sequence length is 740 frames.

CAMEL [13] The dataset consists of 26 video sequences captured in the visible and thermal infrared domains. The sequences include multiple real world urban environments, as well as multiple targets. The goal is to provide a challenging benchmark similar to MOT challenge that includes sequences that have corresponding visual and infrared pairs

RGBT234 [24] includes 234 RGB-T videos, each containing a RGB video and a thermal video. Its total frames reach about 234K and the number of frames in the biggest video pair reaches 8K. Moreover, we annotate each frame with a minimum bounding box covering the target for both modalities, and also take into full consideration of various environmental challenges, such as raining, night, cold and hot days.

PTB-TIR [27] focuses on TIR pedestrian tracking, which contains 60 sequences and 9 attribute challenges. The dataset is collected from a variety of devices but lacks the division of different scenario attributes.

LSOTB-TIR [29] consists of an evaluation dataset and a training dataset with a total of 1,400 TIR sequences and more than 600K frames. We annotate the bounding box of objects in every frame of all sequences and generate over 730K bounding boxes in total.

BIRDSAI [3] consists of two parts, real and synthetically created, with annotations. The real data includes 48 thermal infrared videos sequences of humans and animals, captured with a thermal camera mounted on a UVA, that flies over African landscapes. The synthetic data, generated with MS AirSim simulation platform, include 124 thermal infrared video sequences.

MLSSNet-TIR [28] contains 500 TIR image sequences with 20 object classes and more than 228K frames. The source of the dataset comes from existing TIR datasets and YouTube websites, such as RGBT234 [24], BUTIV [41], and OTCBVS datasets. These datasets aim for different tasks, including object tracking, detection, and counting, etc. Since the dataset is collected from different sources and its shot scene and shot time of the videos are also various. Therefore, the dataset has real data distribution and high diversity.

4 Performance review

In this section, we first provide a summary of some of the popular metrics used in evaluating the performance of single object tracker, and then we provide the quantitative performance of the promising DL-based single object tracker on popular datasets.

4.1 Metrics for single object tracker

In this section, we introduce two widely used evaluation criteria in visual tracking, i.e., Center Location Error (CLE) and Overlap Ratio (OR) [40]. Based on these two metrics, precision, normalized precision, and success under One Pass Evaluation (OPE) are computed to measure the overall performance of a tracker.

Precision. CLE is the Euclidean distance between the center location of the predicted position and the ground-truth. Precision denotes the percentage of the successful frame whose CLE is within a given threshold (e.g., 20 pixels).

Normalized precision. Since the precision is sensitive to the resolution of the image and the size of the bounding box, the precision is normalized over the size of the ground-truth bounding box as that in TrackingNet [32] and LaSOT [10]. We then use the Area Under Curve (AUC) of the normalized precision between 0 and 0.5 to rank the trackers.

Success. OR is the overlap rate between the predicted bounding box and the ground-truth. Success denotes the percentage of the successful frame whose OR is larger than a given threshold. We use a dynamic threshold [0 1], and the corresponding AUC is used to rank the tracking algorithms

4.2 Quantitative Performance of DL-Based Models

In this section we tabulate the performance of several of DL-based tracker on popular TIR datasets in term of the metrics which be discussed in the section 4.1.

Table 1 provides the performance of deep TIR trackers on LSOTBTIR dataset. "-TIR" denotes this tracker is trained on the LSOTB-TIR training dataset. The other trackers are original trackers which are trained on different RGB datasets, such as MCFTS used VGG-Net trained on ImageNet to extract features of the TIR images. HSSNet tracker is trained on ILSVRC2015 dataset. The top trackers are the deep feature-based methods. This shows that the deep feature-based methods are superior to matching-based and these deep methods achieve promising performance in TIR object tracking. ECO-TIR, which is the trackers that deep feature obtains the best success score (0.631) and precision score (0.768). While ECO-stir [61] using the synthetic TIR based deep feature obtains the second-best success score (0.616) and precision score (0.750). Compared with ECO [9] which obtains the third-best success score (0.609) using the pre-trained RGB based deep feature, ECO-TIR and ECO-stir gain the success score by 2.2% and 0.7%, respectively. This shows that the TIR based deep feature is superior to the RGB based deep feature in TIR object tracking.

Categories	Methods	Success (OR)	Precision (CLE)
Deep feature-based TIR trackers	ECO-TIR [29]	0.631	0.768
	ECO-stir [42]	0.616	0.750
	ECO [6]	0.809	0.739
	MCFTS [30]	0.479	0.635
	DSST [7]	0.477	0.555
Matching-based deep TIR trackers	MLSSNet [28]	0.459	0.596
	HSSNet [26]	0.409	0.515

Table 1. Performance of TIR trackers on the LSOTB-TIR dataset

Table 2 provides the performance of deep TIR trackers on PTB-TIR dataset. "-TIR" denotes this tracker is trained on the LSOTB-TIR [29]. The results show that all the re-trained deep trackers achieve better performance

Categories	Methods	Success (OR)	Precision (CLE)
Deep feature based TIP treekers	ECO-TIR [29]	0.858	0.650
Deep reature-based TIK trackers	ECO [6]	0.838	0.633
Matching based doop TIP trackers	HSSNet-TIR [29]	0.723	0.490
Watching-based deep TIK trackers	HSSNet [26]	0.689	0.468

Table 2. Performance of TIR trackers on the PTB-TIR dataset

5 Challenges and opportunities

TIR Single Object Tracking has made significant progress, but it still faces many challenges ahead. In the next section, we will introduce some of the promising research directions that we believe will help in further advancing TIR Single Object Tracking algorithm.

Challenging Datasets. Under specific scene conditions where visible cameras fall short, infrared cameras prove invaluable for tasks like surveillance and tracking. The cost of infrared imaging equipment has been steadily increasing, accompanied by enhancements in image quality and resolution, which has fueled a growing interest in the field. While the number of infrared datasets has been on the rise, the demand for more challenging datasets persists. These datasets encounter several issues, including their small-scale nature, limited object classes, scenarios, and challenges, as well as the absence of a comprehensive training dataset. They exhibit drawbacks that hinder their effectiveness in conducting fair and comprehensive evaluations, failing to meet the requirements for real-world applications. Therefore, there is an urgent need to establish a larger and more diverse benchmark for thermal infrared (TIR) object tracking.

Deep Feature Models trained on TIR images. In recent years, the progress of deep learning has been successful in various visual tasks. Many studies have attempted to integrate deep learning models for TIR object tracking, achieving some success. However, these deep feature models are often trained on RGB images, and in practice, they have been proven to be less effective on thermal images. In contrast to RGB images, TIR images lack color information and texture features. This underscores the importance of utilizing fine-grained features like local contour and structure to differentiate objects in TIR images. Moreover, experiments suggest that acquiring TIR-specific deep features improves the overall performance of TIR object tracking. However, the lack of a large-scale TIR dataset for training deep models poses a hindrance to fully realizing the potential benefits of deep learning in TIR object tracking. In the future, it will be essential to build feature extraction models specifically designed for the TIR images, and trained on TIR images.

6 Conclusions

We have surveyed recent single object tracking based on deep learning models for TIR videos, which have achieved impressive performance in various benchmarks, grouped into two categories deep feature-based TIR trackers such as ECO, MCFTS and DSST and matching-based deep TIR trackers such as MLSSNet and HSSNet. We summarized quantitative performance analyses of these models on some popular benchmarks, such as the LSOTB-TIR and PTB-TIR datasets. Finally, we discussed some of the open challenges and potential research directions for TIR trackers that could be pursued in the coming years.

References

- 1. A. Agarwal and S. Suryavanshi. Real-time* multiple object tracking (mot) for autonomous navigation. *Technical report*, 2017.
- A. Berg, J. Ahlberg, and M. Felsberg. A thermal object tracking benchmark. In 2015 12th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), pages 1–6. IEEE, 2015.
- E. Bondi, R. Jain, P. Aggrawal, S. Anand, R. Hannaford, A. Kapoor, J. Piavis, S. Shah, L. Joppa, B. Dilkina, et al. Birdsai: A dataset for detection and tracking in aerial thermal infrared videos. In *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision*, pages 1747–1756, 2020.
- 4. D. Chahyati, M. I. Fanany, and A. M. Arymurthy. Tracking people by detection using cnn features. *Procedia computer science*, 124:167–172, 2017.
- 5. K. Chen and W. Tao. Once for all: a two-flow convolutional neural network for visual tracking. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 28(12):3377–3386, 2017.
- M. Danelljan, G. Bhat, F. Shahbaz Khan, and M. Felsberg. Eco: Efficient convolution operators for tracking. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 6638–6646, 2017.
- 7. M. Danelljan, G. Ha[•]ger, F. Khan, and M. Felsberg. Accurate scale estimation for robust visual tracking. In *British machine vision conference, Nottingham, September 1-5, 2014.* Bmva Press, 2014.
- J. W. Davis and M. A. Keck. A two-stage template approach to person detection in thermal imagery. In 2005 Seventh IEEE Workshops on Applications of Computer Vision (WACV/MOTION'05)-Volume 1, volume 1, pages 364–369. IEEE, 2005.
- 9. J. W. Davis and V. Sharma. Background-subtraction using contour-based fusion of thermal and visible imagery. *Computer vision and image understanding*, 106(23):162–182, 2007.
- H. Fan, L. Lin, F. Yang, P. Chu, G. Deng, S. Yu, H. Bai, Y. Xu, C. Liao, and H. Ling. Lasot: A high-quality benchmark for large-scale single object tracking. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, pages 5374–5383, 2019.
- 11. M. Felsberg, A. Berg, G. Hager, J. Ahlberg, M. Kristan, J. Matas, A. Leonardis, L. Cehovin, G. Fernandez, T. Vojir, et al. The thermal infrared visual object tracking vot-tir2015 challenge results. In *Proceedings of the ieee international conference on computer vision workshops*, pages 76–88, 2015.
- P. Gao, Y. Ma, K. Song, C. Li, F. Wang, and L. Xiao. Large margin structured convolution operator for thermal infrared object tracking. In 2018 24th international Conference on pattern recognition (ICPR), pages 2380–2385. IEEE, 2018.
- E. Gebhardt and M. Wolf. Camel dataset for visual and thermal infrared multiple object detection and tracking. In 2018 15th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), pages 1–6. IEEE, 2018.

14. M. P. Ghaemmaghami. Tracking of humans in video stream using LSTM recurrent neural network. *Master in Machine Learning, School of Computer Science And Communication, KTH Royal Institute of Technology School of Computer Science And Communication,* 2019.

- 15. G. Gkioxari and J. Malik. Finding action tubes. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 759–768, 2015.
- 16. C. Gomila and F. Meyer. Graph-based object tracking. In *Proceedings 2003 international conference* on image processing (cat. no. 03CH37429), volume 2, pages II–41. IEEE, 2003.
- 17. E. Gundogdu, A. Koc, B. Solmaz, R. I. Hammoud, and A. Aydin Alatan. Evaluation of feature channels for correlation-filter-based visual object tracking in infrared spectrum. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern recognition Workshops*, pages 24–32, 2016.

- 18. B. Han, J. Sim, and H. Adam. Branchout: Regularization for online ensemble tracking with convolutional neural networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 3356–3365, 2017.
- D. Held, S. Thrun, and S. Savarese. Learning to track at 100 fps with deep regression networks. In Computer Vision–ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11–14, 2016, Proceedings, Part I 14, pages 749–765. Springer, 2016.
- J. F. Henriques, R. Caseiro, P. Martins, and J. Batista. High-speed tracking with kernelized correlation filters. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 37(3):583–596, 2014.
- 21. S. Hwang, J. Park, N. Kim, Y. Choi, and I. So Kweon. Multispectral pedestrian detection: Benchmark dataset and baseline. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 1037–1045, 2015.
- 22. S. Jiang, B. Xu, J. Zhao, and F. Shen. Faster and simpler siamese network for single object tracking. *arXiv preprint arXiv:2105.03049*, 2021.
- 23. I. Jung, J. Son, M. Baek, and B. Han. Real-time MDNet. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)*, pages 83–98, 2018.
- 24. C. Li, X. Liang, Y. Lu, N. Zhao, and J. Tang. Rgb-t object tracking: Benchmark and baseline. *Pattern Recognition*, 96:106977, 2019.
- 25. M. Li, L. Peng, Y. Chen, S. Huang, F. Qin, and Z. Peng. Mask sparse representation based on semantic features for thermal infrared target tracking. *Remote Sensing*, 11(17):1967, 2019.
- 26. X. Li, Q. Liu, N. Fan, Z. He, and H. Wang. Hierarchical spatial-aware siamese network for thermal infrared object tracking. *Knowledge-Based Systems*, 166:71–81, 2019.
- 27. Q. Liu, Z. He, X. Li, and Y. Zheng. Ptb-tir: A thermal infrared pedestrian tracking benchmark. *IEEE Transactions on Multimedia*, 22(3):666–675, 2019.
- 28. Q. Liu, X. Li, Z. He, N. Fan, D. Yuan, and H. Wang. Learning deep multi-level similarity for thermal infrared object tracking. *IEEE Transactions on Multimedia*, 23:2114–2126, 2020.
- 29. Q. Liu, X. Li, Z. He, C. Li, J. Li, Z. Zhou, D. Yuan, J. Li, K. Yang, N. Fan, et al. Lsotb-tir: A largescale high-diversity thermal infrared object tracking benchmark. In *Proceedings of the 28th ACM international conference on multimedia*, pages 3847–3856, 2020.
- 30. Q. Liu, X. Lu, Z. He, C. Zhang, and W.-S. Chen. Deep convolutional neural networks for thermal infrared object tracking. *Knowledge-Based Systems*, 134:189–198, 2017.
- 31. R. Miezianko. IEEE OTCBVS WS series bench; Terravic Research Infrared Database. 2005.
- 32. M. Muller, A. Bibi, S. Giancola, S. Alsubaihi, and B. Ghanem. Trackingnet: A large-scale dataset and benchmark for object tracking in the wild. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)*, pages 300–317, 2018.
- 33. H. Nam, M. Baek, and B. Han. Modeling and propagating CNNs in a tree structure for visual tracking. *arXiv preprint arXiv:1608.07242*, 2016.
- 34. J. Portmann, S. Lynen, M. Chli, and R. Siegwart. People detection and tracking from aerial thermal views. In 2014 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA), pages 1794–1800. IEEE, 2014.
- 35. K. Simonyan and A. Zisserman. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*, 2014.
- 36. Z. Soleimanitaleb, M. A. Keyvanrad, and A. Jafari. Improved MDNet tracker in better localization accuracy. In 2020 10th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE), pages 221–226. IEEE, 2020.
- 37. R. Tao, E. Gavves, and A. W. Smeulders. Siamese instance search for tracking. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 1420–1429, 2016.

- N. Wang, J. Shi, D.-Y. Yeung, and J. Jia. Understanding and diagnosing visual tracking systems. In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, pages 3101–3109, 2015.
- 39. T. Wang and H. Ling. Gracker: A graph-based planar object tracker. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 40(6):1494–1501, 2017.
- 40. Y. Wu, J. Lim, and M.-H. Yang. Online object tracking: A benchmark. In *Proceedings of the IEEE* conference on computer vision and pattern recognition, pages 2411–2418, 2013.
- 41. Z. Wu, N. Fuller, D. Theriault, and M. Betke. A thermal infrared video benchmark for visual analysis. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, pages 201–208, 2014.
- 42. L. Zhang, A. Gonzalez-Garcia, J. Van De Weijer, M. Danelljan, and F. S. Khan. Synthetic data generation for end-to-end thermal infrared tracking. *IEEE Transactions on Image Processing*, 28(4):1837–1850, 2018.

Nghiên cứu phương pháp học âu cho bài toán bám mục tiêu trên video ảnh nhiệt

Tóm tắt. Bám mục tiêu có ý nghĩa quan trọng trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt là trong các hoạt động giám sát, quốc phòng và hoạt động tìm kiếm, cứu nạn cứu hộ. Các nghiên cứu gần đây về bám mục tiêu đã có những bước tiến đáng kể, chủ yếu là phát triển các thuật toán bám mục tiêu dựa trên học sâu. Tuy nhiên, những kĩ thuật này mới chỉ áp dụng cho dữ liệu ảnh màu (RGB) và vẫn đang phải đối mặt với những thách thức về sự che khuất đối tượng, sự thay đổi nhanh về điều kiện ánh sáng, mà ngay cả những kĩ thuật tiến tiến vẫn chưa giải quyết được. Gần đây, việc sử dụng camera hồng ngoại trở nên phổ biến, và chứng minh sự hiệu quả trong việc bám vết các đối tượng ở điều kiện ánh sáng yếu, ban đêm, vượt qua những khó khăn mà ảnh màu gặp phải. Nhiều phương pháp bám mục tiêu trên video ảnh nhiệt đã được đề xuất. Nghiên cứu này tiến hành khảo sát, tổng hợp và phân loại chi tiết các phương pháp bám mục tiêu dựa trên học sâu trên video ảnh nhiệt. Đồng thời cung cấp cái nhìn tổng quan về các tập dữ liệu ảnh nhiệt, các độ đo đánh giá và so sánh hiệu suất của các mô hình mới nhất hiện nay.

Từ khóa: Bám mục tiêu, học sâu, video ảnh nhiệt.

Facial Recognition-Based Approach for Efficient Personal Information Retrieval in Cyberspace

Hai-Hong Phan, Nhat Nguyen Vinh, Nhan Nguyen Huu

Institute of information and communication technology, Le Quy Don Technical University ¹hongpth@lqdtu.edu.vn

Abstract

The paper proposes an artificial intelligence (AI) system that can perform face search on the Internet. Face search is the task of finding images or videos that contain the face of a specific person among a large collection of online data. To achieve this, our system integrates state-of-the-art deep learning models that can detect and recognize faces with high accuracy and robustness. The system includes Data Collection Module and the Search Module using face recognition. Moreover, our system leverages advanced processing technologies such as parallel computing and optimization techniques to speed up the face search process and handle large-scale data. The experiments show that our system achieves high accuracy and speed.

Keywords: artificial intelligence, facial recognition, face detection, cyberspace.

1. Introduction

In the modern era, cyberspace has become a vast and rich source of information that we can access and share anytime and anywhere. We use cyberspace for various purposes, such as communication, education, entertainment, or business. However, this also poses some challenges and risks related to security and information management. Some requirements include protecting personal information and privacy from being disclosed or exploited by malicious actors and managing the huge amount of information created and distributed in cyberspace. Promoting research and application of artificial intelligence in accurately identifying, tracking, and managing information on the web while still ensuring security and reliability is extremely necessary today.

The topic of this paper is a facial recognition based information search tool in cyberspace. This tool can help users find relevant information about a person or an entity by using their facial features as the input. The core of this research is to develop a system that can perform two tasks: detecting faces in images or videos from various online sources, and identifying the faces by matching them with a database of known entities.

In the past, some of the information retrieval methods used text-based approaches to analyze and extract information from web documents. They also used contextual elements such as keywords, metadata, or hyperlinks to enhance the relevance and quality of the retrieved information. However, these methods have some limitations, such as low recall, ambiguity, or noise. By incorporating facial recognition technology into web information retrieval systems, we can overcome these limitations and create more powerful, accurate, and efficient tools. Facial recognition technology can enable us to use facial features as a new type of query and retrieve information based on the identity and attributes of the faces. This can improve the performance and user experience of web information retrieval systems.

This tool has a significant impact on improving the efficiency of information extraction and management in cyberspace. It can help users find relevant and reliable information about a person or an entity based on their facial features, without relying on textual or contextual cues. It can also help users manage their own online presence and reputation by monitoring and controlling the distribution of their facial images on the web. Moreover, this tool ensures security and protects users' privacy by using encryption and authentication techniques to prevent unauthorized access or misuse of the facial data.

In this paper, we will present how we have constructed an artificial intelligence (AI) system to search for and locate a person's face in images on the Internet. Our system utilizes several powerful deep learning models to identify and extract facial features and generate links to web pages containing images of that individual.

By applying facial recognition technology to the task of searching for information in cyberspace, we believe this paper will contribute to the research and application of artificial intelligence in accurately identifying, tracking, and managing information on the Internet while ensuring security and reliability.

2. Related Works

Facial recognition technology is a technology used to determine and verify the identity of a person based on their facial characteristics. This technology has been applied in various fields, including security, finance, retail, and entertainment.

The facial recognition process involves extracting features from a person's face, such as facial shape, the position of facial landmarks, and other distinguishing traits. These features are then compared to a database of pre-identified faces. If the extracted features match a face in the database, the person is identified as the individual with that specific face.

There are various approaches to facial recognition. Current facial recognition systems typically consist of four components, corresponding to the following four steps (Figure 1): *face detection, facial preprocessing* (alignment, normalization), *feature extraction* from the face, and *facial classification*.

The *face detection* step aims to determine the position and size of the face in an image or video. Face detection often utilizes methods such as Haar cascades [1], MTCNN [2], or deep learning models like YOLO [3] [4] [5] [21] [22] [23], SSD [6], and Retina Face [7].

In this research, we use **YuNet** [8] as the face detection module. YuNet model was introduced by Wei Wu and colleagues in 2021, optimized for a balance between speed, resources, and accuracy, making it suitable for tasks that require real-time processing.

Facial Preprocessing: After identifying the face's position, this step involves aligning and normalizing the face. It includes resizing the face to ensure consistent input sizes for subsequent steps, rotating, cropping, or transforming the face to a standard form.

In this research, we perform face alignment based on five key facial landmarks for additional preprocessing.

Feature Extraction from Faces: This step focuses on extracting essential features from the preprocessed faces. These features may include key facial points such as eye, nose, mouth positions, or geometric features like distribution vectors of facial landmarks. To extract facial features, methods like PCA [9], LDA [10], or deep learning models such as CNN [11] [12] [13] [14] [15], FaceNet [16], and ArcFace [17] can be used.



Figure 1. General model for face recognition methods

We chose ArcFace [17] due to its numerous important advantages:

- High Accuracy: ArcFace achieves a very high level of accuracy in facial recognition, producing distinctive feature representations for faces in a clear feature space, thereby enhancing the ability to differentiate between different individuals.
- Robustness and Stability: ArcFace can handle variations in faces such as changes in angles, lighting, and clothing. Thus, it is suitable for practical and diverse real-world environments.
- Simple Training Model: ArcFace utilizes an Angular Loss function, which enables efficient and straightforward model training. Training the ArcFace model does not require a large amount of training data or prolonged training time.

The final step is *facial classification* based on the extracted features. The objective is to determine the identity of the face or recognize specific facial attributes. Classification methods may include SVM, Random Forests, or deep learning models such as CNN or the softmax technique. These methods utilize the extracted features to make predictions and classify the faces into specific categories or individuals.

In this step, to speed up the classification process, we use **Milvus** [18]. Milvus is an open-source vector database system designed to store and query large-scale vector data. It supports building and managing vector spaces, providing efficient search and clustering functions for vector data. Milvus offers high scalability, allowing processing of large datasets and supporting complex vector computations. It is widely used in applications such as image recognition, natural language processing, and vector data repositories. With its user-friendly interface and cross-platform compatibility, Milvus provides a powerful solution for working with vector data in AI and Machine Learning applications.

3. Proposed Method

We propose the internet information search system applying facial recognition technology consists of two main components (as illustrated in Figure 2, which we refer to as the Data Collection Module and the Search Module. The Data Collection Module is responsible for gathering faces from images and videos available on the internet. It extracts facial features and stores them in the database. On the other hand, the Search Module takes as input an image containing the face of the person to be searched for. It extracts feature vectors and searches for them in the collected database, returning the results accordingly.



recognition technology.

3.1 Data Storage Mechanism

Storing and managing data for face recognition systems, especially in large-scale applications, presents several crucial challenges. One of the primary concerns is the efficient storage and retrieval of facial feature vectors, as these vectors contain essential information about each face and serve as the basis for recognition and matching algorithms. Additionally, the scalability of the system becomes critical when dealing with vast amounts of data, and the overall performance heavily relies on the effectiveness of data organization and search methods.

To address these challenges, we propose a data storage and retrieval model that leverages the capabilities of Milvus [18] and MySQL databases (as illustrated in Figure 3). Milvus, being an open-source vector similarity search engine, provides efficient indexing and querying of high-dimensional vectors, making it an excellent choice for storing facial feature vectors. On the other hand, MySQL offers robust data management and relational capabilities, allowing us to store additional information related to the faces, such as URLs and face locations.



Figure 3. Illustration of the proposed Data Storage Mechanism.

The first step in our approach involves storing the facial feature vectors in the Milvus database. Each vector is assigned a unique index, enabling fast and accurate similarity searches. By adopting Milvus, we can efficiently perform similarity queries on the facial feature vectors, thus identifying faces with high degrees of similarity to the input query vector. This capability is essential in face recognition applications, where we aim to identify known faces or detect potential matches among a large database of faces.

The similarity search is typically performed using distance metrics such as Euclidean distance or Inner product, depending on the specific requirements of the face recognition system. These distance metrics help measure the similarity between vectors and aid in selecting the most relevant results during the search process. By using a predetermined threshold, we can control the quality of the search results and ensure that only highly similar facial feature vectors are retrieved.

Once we have obtained the indices of the facial feature vectors with high similarity, we proceed to retrieve additional information related to these faces from the MySQL database. This information may include URLs to the original images or face locations in the images. By combining the power of Milvus [18] for similarity searches and the data management capabilities of MySQL, we create a robust and efficient system for face recognition.

The proposed model allows us to store and retrieve face-related information effectively, providing a scalable solution for large-scale face recognition applications. Furthermore, the separation of facial feature vectors and associated information into two databases (Milvus and MySQL) allows us to optimize the performance and manage the data efficiently. This approach is crucial for real-time applications, where quick and accurate face recognition results are essential.

3.2 Data Collection Module

The data collection process (as illustrated in Figure 4) from the internet can involve various sources such as websites, Google Images, Facebook, and YouTube. To accomplish this, libraries like requests, urllib, pafy (based on youtube-dl), and facebook-scraper are utilized to scan, gather, and extract images and videos.

5



Figure 4. Illustration of the proposed Data Collection Module.

The extracted images and videos are then passed through the face detection module (YuNet) to locate the positions of faces in the images and videos. For videos, MIL tracker [24] (from OpenCV) is used for tracking to enhance processing speed. YuNet [8] not only determines the position and size of the faces but also provides five key facial landmarks.

Based on these five key facial landmarks, the faces are aligned and cropped from the original images before passing through the feature extraction module (ArcFace [17]). A 512-dimensional vector is generated for each face, and these vectors are stored in the Milvus [18] database for fast retrieval. Each vector is assigned an index, which serves as a key to link the stored vectors in the Milvus database with information about the origin of the stored images and videos.

A notable feature of this module is that the system does not store the facial images directly; instead, they are stored as feature vectors. This approach addresses security concerns and ensures compliance with intellectual property rights of the images on the internet.

3.3 Search Module

The input of the module is an image containing the face to be searched for. When the image contains multiple faces, the system provides an interface for users to choose the specific face they want to search for. After going through the face detection, alignment, and feature extraction steps as in the data collection module, the resulting feature vectors will be searched in the vector database. The output at this step will be a list of indices corresponding to similar faces to the one being searched for. The information about matched faces will be queried based on the list of indices and returned to the user.



Figure 5. Illustration of the proposed Search Module.

In the search module (as illustrated in Figure 5), we prioritize the system's accuracy over speed compared to the data collection module.

4. Results and Evaluation

4.1 Experiment settings

We evaluate the system on two datasets: The proposed face dataset, namely MTAFace, and CelebA dataset [19]. The MTAFace dataset contains of total of 5721 images of 53 individuals, is captured from Logistic HD camera with a resolution of 1280 x 720 pixels. This is a difficult data set because of the low-quality images and the various angles of faces. We divide this dataset into 2 parts: 80% for training and 20% for testing.

The CelebA dataset [19] consists of 202,599 images. It is divided into two parts for the purpose of data collection: 20% for testing and 80% for training.

The system, with an input of one image and an output of a list of results, is evaluated using Precision, Recall, and F1 score to assess its accuracy. The system configuration is as

follows: CPU - 11th Gen Intel® Core[™] i5-11400H@2.70GHz×12, RAM - 16GB, Graphics Card - NVIDIA GeForce RTX 3050.

4.1 Face recognition results

In this section, we employed the MTAFace dataset to assess the accuracy and processing speed of three methods: FaceNet (128 and 512), ArcFace, and Sface.

As shown in Table 1, ArcFace achieves remarkably high accuracy on a custom dataset that consists of real-world camera images of moderate quality and various facial orientations for each individual. Moreover, ArcFace maintains a reasonable processing speed threshold. Based on these results, we have decided to use ArcFace as the face recognition model in our system.

Models	Embedding Size	Model Size (MB)	Time (s)	Accuracy (%)
Facenet512	512	95	0.08	81.50
SFace	128	38.7	0.01	77.80
ArcFace	512	137	0.109	86.55
Facenet	128	92.2	0.083	76.25

 Table 1. Comparison of time and accuracy between Face recognition methods on MTAFace dataset.

To evaluate the accuracy of the proposed module (including Yunet, ArcFace and Milvus), we use the CelebA dataset. Figure 6 shows the results of our evaluation, using the following metrics: Precision - The ratio of correctly identified faces to the total number of detected faces; Recall - The ratio of correctly identified faces to the total number of faces in the CelebA dataset; F1 score - A harmonic mean of Precision and Recall that measures the overall accuracy of the system.

We can see that by adjusting the maximum Euclidean distance, we can achieve a high F1 score of 0.71, with a Precision score of 0.85, while keeping Recall at an acceptable level. This indicates that the proposed module is a reliable and robust model for face recognition.



Figure 6. The influence of Max-Euclidean Distance on the proposed module accuracy (including Yunet, ArcFace and Milvus) on the CelebA dataset.

4.2 Effectiveness of Milvus

We compared the performance of the Cdist and Milvus [18] methods using a dataset of facial images for calculating cosine similarity. We searched for 1000 samples from a total of one million vectors in each measurement, and we reported the results in Table 2. We observed a significant speed difference between Milvus and Cdist with 128-dimensional vectors: Milvus on CPU was about 7 times faster than Cdist on CPU, while Milvus on GPU surpassed Cdist on CPU by a factor of 15. This is because Milvus is optimized for large datasets and uses a more efficient implementation of the cosine similarity algorithm.

Method	Dimension Size	Hardware	Average Time (s)
Cdist (Scipy)	128	CPU	0.107
Milvus	128	CPU	0.015
Milvus	128	GPU	0.008
Milvus	512	GPU	0.024

Table 2. Comparison of average time (seconds) to search an image of Cdist and Milvus in a set of one million vectors.

4.3 Performance of the proposed system

After implementing the system, we evaluated the search speed as the number of faces collected gradually increased, as shown in Table 3.

Test case	Number of Faces	Detect and Extract time	Milvus Search time (s)	SQL Search time (s)	Total time
1	5,000	0.047	0.059	0.001	0.107
2	50,000	0.059	0.099	0.036	0.194
3	500,000	0.054	0.199	0.343	0.596
4	1,000,000	0.055	0.510	2.097	2.662

Table 3. Comparison of average time (seconds) to search an image of Cdist and Milvus in a set of one million vectors.

From Table 3, it is evident that in datasets with fewer than 500,000 faces, the total processing time remains under 1 second. When increasing the number of faces to nearly 1 million, the total processing time still hovers around just over 2 and a half seconds. This represents a relatively fast processing speed, especially when compared to the vast quantity of faces being searched.

Table 3 shows the time of each module and the total processing time of our system for different sizes of facial datasets. We can see that the proposed system achieves good speed, especially considering the large number of faces being searched. For datasets with less than 500,000 faces, our system can complete the search in less than 0.6 second. For datasets with nearly 1 million faces, our system can finish the search in about 2.5 seconds. This shows that the system is very feasible in practice.

4.4 Deploying the system

We deploy the system on the WEB platform using the Django framework in Python, namely MTAFaceSearch.



Figure 7. Uploading images and selecting the faces in the MTAFaceSearch application.



Figure 8. Interface displays results of the MTAFaceSearch application.

Our system provides a user-friendly interface for uploading images and selecting the desired face for searching. Figure 7 illustrates how the user can upload an image from their device or enter a URL of an online image, and then choose the face they want to search for from the detected faces in the image. Figure 8 shows how the system displays the information about the found images, such as the image itself, the URL of the web page where it was found, and the similarity score with the input face.

5. Conclusion

The main contribution of this paper is an AI-based system that can perform face search on the Internet. By using face recognition technology, we have developed a system that can provide reliable and effective personal information retrieval. The system can recognize individuals from their facial features, detect abnormal behavior such as fraud or impersonation, and alert users to unreliable activities such as fake news or phishing. However, there are still some challenges that need to be addressed, such as ensuring the security, accuracy, and privacy of the facial data and the retrieved information. We hope that the future development of this technology will bring more positive applications and benefits for users, as well as protect their safety and rights.

References

[1] "Face Detection using Haar Cascades " <u>https://docs.opencv.org/3.4/d2/d99/tutorial js face</u> <u>detection.html</u>

[2] Zhang, K., Zhang, Z., Li, Z., & Qiao, Y. (2016). Joint face detection and alignment using multitask cascaded convolutional networks. IEEE signal processing letters, 23(10), 1499-1503.

[3] Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review of Yolo algorithm developments. Procedia Computer Science, 199, 1066-1073.

[4] Chen, W., Huang, H., Peng, S., Zhou, C., & Zhang, C. (2021). YOLOface: a real-time face detector. The Visual Computer, 37, 805-813.

[5] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, realtime object detection. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 779-788).

[6] Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., & Berg, A. C. (2016). Ssd: Single shot multibox detector. In Computer Vision–ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11–14, 2016, Proceedings, Part I 14 (pp. 21-37). Springer International Publishing.

[7] Deng, J., Guo, J., Zhou, Y., Yu, J., Kotsia, I., & Zafeiriou, S. (2019). Retinaface: Single-stage dense face localisation in the wild. arXivpreprint arXiv:1905.00641.

[8] Wu, W., Peng, H., & Yu, S. (2023). YuNet: A Tiny Millisecond-level Face Detector. Machine Intelligence Research, 1-10.

[9] Kurita, T. (2019). Principal component analysis (PCA). Computer Vision: A Reference Guide, 1-4.

[10] Wallach, H., Mimno, D., & McCallum, A. (2009). Rethinking LDA: Why priors matter. Advances in neural information processing systems,22.

[11] Chua, L. O., & Roska, T. (1993). The CNN paradigm. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, 40(3), 147-156.

[12] Chauhan, R., Ghanshala, K. K., & Joshi, R. C. (2018, December). Convolutional neural network (CNN) for image detection and recognition. In 2018 first international conference on secure cyber computing and communication (ICSCCC) (pp. 278-282). IEEE.

[13] Albawi, S., Mohammed, T. A., & Al-Zawi, S. (2017, August). Understanding of a convolutional neural network. In 2017 international conference on engineering and technology (ICET) (pp. 1-6). Ieee.

[14] Wu, J. (2017). Introduction to convolutional neural networks. National Key Lab for Novel Software Technology. Nanjing University. China, 5(23), 495.

[15] Ranjan, R., Sankaranarayanan, S., Castillo, C. D., & Chellappa, R. (2017, May). An all-in-one convolutional neural network for face analysis. In 2017 12th IEEE international conference on automatic face & gesture recognition (FG 2017) (pp. 17-24). IEEE.

[16] Schroff, F., Kalenichenko, D., & Philbin, J. (2015). Facenet: A unified embedding for face recognition and clustering. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 815- 823).

[17] Deng, J., Guo, J., Xue, N., & Zafeiriou, S. (2019). Arcface: Additive angular margin loss for deep face recognition. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (pp. 4690-4699).

[18] Wang, J., Yi, X., Guo, R., Jin, H., Xu, P., Li, S., ... & Xie, C. (2021, June). Milvus: A purposebuilt vector data management system. In Proceedings of the 2021 International Conference on Management of Data (pp. 2614-2627). [19] Liu, Z., Luo, P., Wang, X., & Tang, X. (2018). Large-scale celebfaces attributes (celeba) dataset. Retrieved August, 15(2018), 11.

[20] Forcier, J., Bissex, P., & Chun, W. J. (2008). Python web development with Django. Addison-Wesley Professional.

[21] Yu, Z., Huang, H., Chen, W., Su, Y., Liu, Y., & Wang, X. (2022). Yolo-facev2: A scale and occlusion aware face detector. arXiv preprint arXiv:2208.02019.

[22] Loey, M., Manogaran, G., Taha, M. H. N., & Khalifa, N. E. M. (2021). Fighting against COVID-19: A novel deep learning model based on YOLO-v2 with ResNet-50 for medical face mask detection. Sustainable cities and society, 65, 102600.

[23] Garg, D., Goel, P., Pandya, S., Ganatra, A., & Kotecha, K. (2018, November). A deep learning approach for face detection using YOLO. In 2018 IEEE Punecon (pp. 1-4). IEEE.

[24] Wang, N., Zhou, W., Tian, Q., Hong, R., Wang, M., & Li, H. (2018). Multi-cue correlation filters for robust visual tracking. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 4844-4853).

Truy xuất thông tin cá nhân hiệu quả trong không gian mạng dựa trên nhận dạng khuôn mặt

Tóm tắt: Bài báo đề xuất một hệ thống trí tuệ nhân tạo (AI) thực hiện tìm kiếm khuôn mặt trên Internet. Tìm kiếm khuôn mặt là tìm hình ảnh hoặc video có chứa khuôn mặt của người cần quan tâm trên dữ liệu trực tuyến. Để đạt được mục tiêu tìm kiếm thông tin cá nhân hiệu quả, hệ thống của chúng tôi tích hợp các mô hình học sâu hiện đại có thể phát hiện và nhận dạng khuôn mặt với độ chính xác và độ tin cậy cao. Hệ thống bao gồm mô đun thu thập dữ liệu và mô đun tìm kiếm sử dụng nhận dạng khuôn mặt. Hơn nữa, hệ thống tận dụng các công nghệ xử lý tiên tiến như kỹ thuật tính toán song song và tối ưu hóa để tăng tốc quá trình tìm kiếm khuôn mặt và xử lý dữ liệu quy mô lớn. Các thử nghiệm cho thấy hệ thống của chúng tôi đạt được độ chính xác và tốc độ cao.

Từ khóa: hệ thống trí tuệ nhân tạo, nhận dạng khuôn mặt, phát hiện khuôn mặt, không gian mạng.

Personalized Federated Learning for Intrusion Detection System

Vu Thi Ly, Vu Thai An

Institute of Information and Communication Technology; Le Quy Don Technical University

Abstract

Intrusion Detection Systems (IDS) play a crucial role in safeguarding computer networks against unauthorized access and malicious activities. However, training IDS models on distributed networks with non-iid data poses significant challenges. This paper researches the ability of Federated Learning for Non-iid Data of Intrusion Detection Systems (PFL-NIDS), to address these challenges. PFL-NIDS leverages the advantages of federated learning and personalized modeling to improve the performance of IDS in non-iid scenarios. By allowing each device to train a personalized model using its local data, PFL-NIDS captures the local data characteristics more effectively, adapts to evolving data distributions, and customizes the global model to individual devices. Extensive experiments on a public dataset demonstrate that PFL-NIDS outperforms traditional FL training approaches and achieves higher detection accuracy on non-iid data. The results highlight the effectiveness and efficiency of personalized federated learning in enhancing the performance of intrusion detection systems in distributed environments with diverse data distributions. The findings of this study contribute to the advancement of privacy-preserving and adaptable IDS models in realworld scenarios.

Keywords: federated learning; non-iid data; intrusion detection

1. Introduction

The Internet has greatly expanded in size as well as in complexity over the last decade. At the same time, new types of connected devices have emerged. As a consequence, the network systems are subjected to several security vulnerabilities including intrusions due to the increase in network complexity. Intrusions are defined as attempts to compromise the confidentiality, integrity, or availability of a computer or network, or to bypass the security mechanisms of a computer or network. Therefore, in order to efficiently mitigate different types of attacks, developing an accurate Intrusion Detection System (IDS) is the need of the hour. IDS is an important component for network security, which is the first line of defense in the network. To do so, IDS uses different techniques for detecting anomalies. However, traditional methods such as signature-based detection is becoming less efficient since this technique uses a signature database to recognize known attacks, and hence new attacks cannot be identified. In recent years, machine learning and deep learning with intrusion detection systems have gained great momentum due to their achievement of high classification accuracy. However the privacy and security aspects potentially gets danger due to the need of storing and communicating data to centralized server. On the contrary, federated learning fits in appropriately as a privacypreserving decentralized learning technique that does not transfer data but trains models locally and transfers the parameters to the centralized server.

As the landscape of network security evolves, the Intrusion Detection System (IDS) faces a unique challenge associated with non-identically distributed (non-iid) data. In traditional centralized approaches, the assumption of iid data is often made, implying that all data points have similar statistical properties. However, in real-world scenarios, network traffic patterns can vary significantly across different devices and locations. This non-iid characteristic poses a hurdle for conventional IDS models that may struggle to generalize effectively across diverse data sources. Similarly, in the context of Federated Learning, where models are trained across decentralized devices, the non-iid nature of data becomes a critical consideration.

Personalized federated learning (PFL) is a variant of federated learning (FL) that aims to customize machine learning models for individual devices or clients participating in a federated learning system. Non-iid data in IDS scenarios can arise due to variations in network configurations, system types, and attack patterns across different devices. PFL allows each device to train a personalized model using its local data, which enables capturing and leveraging the unique characteristics of the data on each device. By tailoring the models to local data, PFL improves the detection accuracy by considering device-specific features and attack patterns that may not be adequately represented in a centralized model. Moreover, IDS systems need to continuously adapt to new and evolving attack techniques. PFL facilitates the adaptability of IDS models to changing threat landscapes. As each device trains a personalized model, it can quickly incorporate new attack patterns and adjust its model based on local observations. This distributed learning approach enables devices to respond and defend against emerging threats in real-time, improving the overall effectiveness of the IDS problem. In this paper, we propose using PFL schemes to train the non iid data for the IDS problem.

The rest of this paper is organized as follows. Section 2 explains some background in how federated learning work. Section 3 presents a literature review of FL techniques for non-iid data. Section 4, we provide the conclusion and some possible future directions of research.

2. Background of Federated Learning

Federated learning has revolutionized many intelligent Internet of Things (IoT) applications since its establishment in 2016, due to its distributed and privacy-preserving nature. With advanced federated learning architectures, FL presents a promising alternative to traditional centralized Artificial Intelligent (AI) approaches and can expedite the deployment of IoT services and applications on a larger scale. In this section, we introduce the fundamental concept of federated learning and present several essential federated learning categories utilized in IoT networks.

The basic FL scheme named as FedAvg consists of two primary entities: clients, e.g., IoT devices, an aggregation server located at a base station (BS) or access point (AP), as illustrated in Figure 1. Let $K = \{1, 2, ..., K\}$ represent the set of participants who use IoT devices, such as smartphones, laptops, or tablets, to collaboratively implement an FL algorithm for an IoT task.

For instance, in an IoT-based vehicular network [1, 2], vehicles can participate in a shared FL process to detect the road traffic environment and generate a comprehensive traffic routing map for reducing traffic congestion. In the next generation of IoT networks, FL is critical for achieving complete intelligence in IoT systems at the network edge because a BS cannot collect all data from distributed IoT devices for Artificial Intelligent/Machine Learning (AI/ML) training. FL enables IoT users and the BS to train a shared global model while the raw data remains on the users' devices. In the FL process, each IoT user k joins in training a shared AI/ML model by using their own dataset $D_{k\in K}$. The FL model trained at the IoT device is referred to as the local model w_k . Following local training, IoT users upload their local model wpdates to the BS, which aggregates them to build a shared model known as the global model w_G . By relying on distributed data training at the IoT devices, the aggregation server at the BS



can enhance training performance without significantly compromising user data privacy. The general FL process includes the following key steps, as shown in Figure 1:

Figure 1. The network architecture and communication process for FL [3].

System Initialization and Device Selection: The aggregator selects a task, such as recognizing human activities, and configures learning parameters such as learning rates and communication rounds. Additionally, a subset of clients is chosen to participate in the FL process. Possible factors for device selection may include channel conditions and the significance of local updates provided by each IoT device.

Distributed Local Training and Update: Once the training configuration is complete, the server initializes a new model, i.e., w_G^0 and sends it to the clients to begin distributed training. Each client k trains a local model using its own dataset D_k and computes an update w_k by minimizing a loss function $F(w_k)$:

$$w_k^* = \arg\min F(w_k), k \in K$$
.

The loss function used in FL algorithms [4] may vary and is dependent on the specific algorithm. For instance, in a linear regression FL model with a set of input-output pairs $(x_i, y_i)_{i=1}^K$, the loss function F can be defined as $\frac{1}{2} * (x_i^T * w_k - y_i)^2$. After computing their updates, each client k uploads their update w_k to the server for aggregation.

Model Aggregation and Download: Once all the model updates have been collected from the local clients, the server aggregates them and computes a new version of the global model as

$$w_G = \frac{1}{\sum_{k \in K} |D_k|} \sum_{k=1}^K D_k * w_k,$$

by solving the following optimization problem:

$$\min_{\mathbf{w}_{k\in K}}\frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}F(w_k),$$

where $w_1 = w_2 = \dots = w_K = w_G$.

The accuracy of the FL algorithm, such as an FL-based object classification task [5] is reflected in the loss function F. Additionally, constraint above guarantees that all clients and the server share the same learning model throughout the FL task after each training round. Once the model is derived, the server disseminates the new global update w_G to all clients to optimize their local models in the next learning round. The FL process is repeated until the global loss function converges or a desired accuracy is achieved.

Personalized federated learning (PFL) aims to customize machine learning models for individual clients in a federated learning system. In traditional federated learning, a global model is trained using data distributed across multiple devices without explicitly considering device-specific characteristics. However, in many real-world scenarios, the data distributions across devices may vary significantly, i.e., non-iid data, leading to performance degradation of the global model. PFL addresses this limitation by allowing each device to train a personalized model using its local data while leveraging the collaborative nature of federated learning. Instead of relying solely on a single global model, PFL enables the creation of personalized models tailored to the specific characteristics and requirements of each device. These personalized models capture device-specific patterns, preferences, or local conditions that may influence the overall performance.

3. Personalized Federated Learning Techniques for non-iid Data

In this section, we will survey some of FL techniques for non-iid data. We classify these techniques into three key dimensions, namely Meta-learning-based PFL, Regularization-based PFL and Model-splitting-based PFL, by reviewing the recent advances of FL algorithms for non-iid data.

3.1. Meta-learning-based pFL

Meta-learning based PFL is an approach that combines the principles of meta-learning and personalized federated learning (PFL) to enhance the performance and adaptation capabilities of models in a federated learning setting. Meta-learning, also known as "learning to learn," is a subfield of machine learning that focuses on developing algorithms or models that can learn how to quickly adapt to new tasks or domains using prior knowledge and experience. It involves training models on a variety of related tasks to learn higher-level knowledge or learning rules that can be applied to new tasks. In the context of PFL, meta-learning techniques can be employed to improve the personalization and adaptation of models on individual devices participating in the FL process. This approach helps address the challenges posed by the heterogeneity and non-iid nature of the data across devices.

Per-FedAvg (Personalized Federated Averaging) [6], which is one type of meta-learning based PFL, is an extension of the popular federated learning algorithm, Federated Averaging (FedAvg), that aims to address the challenges of non-iid data in a personalized manner. It combines the benefits of personalized modeling and federated learning to improve the performance and customization of models in a distributed learning setting. Per-FedAvg

introduces personalization into the federated averaging process by allowing each device to train a personalized model using its local data. Instead of solely relying on a global model, Per-FedAvg maintains personalized models for each device, capturing the individual characteristics and patterns present in the local data.

3.2. Regularization-based pFL

Regularization-based PFL is an approach that combines the principles of PFL with regularization techniques to improve the performance and generalization of personalized models trained in a FL setting. In traditional FL, each device trains a personalized model using its local data, but these models may suffer from overfitting or poor generalization when deployed on new, unseen data. Regularization methods aim to address this issue by adding additional constraints or penalties to the training process. In regularization-based PFL, regularization techniques are applied to the local training process on each device to encourage improved generalization and prevent overfitting. Regularization terms are added to the loss function during training, effectively controlling the model's complexity and reducing the risk of overfitting to the local data.

pFedMe (Personalized Federated Learning with Moreau Envelopes) [7], which is one of regularization-based PFL, aims to improve the convergence and communication efficiency of the federated learning process. The key idea behind pFedMe is to leverage the concept of Moreau envelopes, which are mathematical constructs used in optimization theory, to improve the aggregation and update process during federated learning. Moreau envelopes provide a smooth approximation of a non-smooth function and enable efficient optimization algorithms. In the context of pFedMe, each device participating in the federated learning process trains a personalized model on its local data, as in traditional PFL. However, instead of directly aggregating the model updates, pFedMe employs Moreau envelopes to smooth the updates before aggregation. This smoothing process helps overcome the challenges posed by non-iid data and heterogeneity, enhancing the convergence and performance of the federated learning process.

The use of Moreau envelopes in pFedMe helps improve the convergence of the federated learning process by smoothing out the effects of non-iid data and heterogeneity. The approach reduces the impact of noisy or outlying updates, leading to better overall model quality and performance. Furthermore, pFedMe reduces the communication overhead by transmitting the smoothed Moreau envelopes instead of the raw model updates, making it more communication-efficient.

3.3. Model-splitting-based pFL



Figure 2. Pictorial view of proposed federated personalization approach. All user devices share a set of base layers with the same weights (colored blue) and have distinct personalization layers that can potentially adapt to individual data. The base layers are shared with the parameter server while the personalization layers are kept private by each device [8].

Model splitting-based personalized federated learning refers to an approach in which the model or its components are split across multiple devices in a PFL setting. This technique aims to strike a balance between personalization and privacy while allowing devices to collaborate and learn from each other. The model splitting process can be done in various ways, depending on the specific architecture and requirements. For example, in a deep neural network, the model may be split by layers as described in Figure 2, with each layer assigned to a different device [8]. Alternatively, different components of the model, such as feature extractors or classifiers, can be split across devices. During the training process, each device trains its assigned component(s) of the model using its local data. The local models can be trained independently or collaboratively, depending on the specific approach. After local training, the updated components are typically aggregated or combined to create a refined global model.

Federated learning with personalization layers (FedPer) [8] is one of the model splittingbased PFL that refers to an approach that integrates personalized modeling techniques within the framework of federated learning. It combines the benefits of both federated learning and personalization to achieve customized models for individual devices participating in the federated learning process. By incorporating personalization layers into the federated learning process, this approach enables the global model to capture both general patterns from the collective data and device-specific knowledge. The personalization layers provide a mechanism for individual devices to adapt the model to their specific data distributions, resulting in more customized and accurate models on a per-device basis.

4. Experimental results and discussion

4.1. Dataset

The NSL-KDD dataset is a network attack dataset [9], developed to address certain inherent issues in the KDD'99 dataset. This dataset comprises a total of 125,973 records, which are further divided into a training set consisting of 70,143 data samples ,a testing set containing 37,614 data samples and an additional testing set (to test generalization) containing 12,062 data samples. Each individual sample is characterized by 41 features and is labeled as either a specific type of attack or considered normal. In the training set, there are 24 distinct attack types, while the testing set encompasses an additional 14 types of attacks. The simulated attack samples within these datasets are categorized into one of four main classes: DOS (Denial of Service), R2L (Unauthorized Remote to Local), U2R (Unauthorized User to Root), and Probing. The features of this dataset can be categorized into four types as follows:

- Intrinsic features: These are packet-based features that contain the information in the header of the packet. This feature type contains features 1 to 9.

- Content features: These are packet-based features that present the original packets' information once they are sent in the fragmentation pieces. This information is located in both header and payload of the packet. This feature type contains features 10 to 22.

- Time-based features: These are the flow-based features that hold the information of the connection between two hosts over a two-second window. These features are flow-based features, which are mostly the rates of packets. This feature type contains features 23 to 31.

- Host-based features: These are the flow-based features. These features are similar to the Time-based features excepting analyzing over a series of network connections. This feature type contains features 32 to 41.

There are four categorical features in the feature set of NSL-KDD, which is processed by the one-hot encoding. The Min-Max scale normalizes other numeric features before using for machine learning methods.

4.2. Experimental setup

All experiments were implemented in Pytorch library. Moreover, the same computing platform (Operating system: Ubuntu 16.04 (64 bit), Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU, 2 cores, and 4GB RAM memory) was used in all experiments in this work. To highlight the strength of the proposed method, we compared four models, i.e., FedAvg, and various PFL, i.e., Per-FedAvg [6], pFedMe [7], and FedPer [8].

The NSL-KDD training dataset is divided into 20 parts for 20 clients. There are two strategy for data splitting. In the iid data splitting, we randomly divide the training data into 20 subsets for 20 clients and we ensure that all types class labels are assigned for each client. Besides that, in the non-iid data splitting, each client has maximum of 2 classes out of 5 classes of the NSL-KDD dataset. Both scenarios have unbalanced training data. The accuracy of IDS is calculated on the testing dataset.

4.3.Results

Scenario Algorithm	iid and unbalanced	non-iid and unbalanced		
FedAvg	98.18 ± 1.92	60.85 ± 48.43		

Table 1. Accuracy of experimental setups

Per-FedAvg	98.24 ± 1.81	98.46 ± 0.32
pFedMe	51.96	51.95
FedPer	98.12 ± 0.25	98.32 ± 1.07

In the iid scenario, all clients have the data of all types of labels. The data of clients is not balance for training. We can observe that the almost Federated Learning schemes can work well with the iid data. The accuracy of FL schemes is more than 98%. This proves that the FL schemes can train the distributed iid data effectively.

However, in the non-iid scenario, the general FL scheme, i.e., FedAvg, is less effective than the Personalized based FL schemes, i.e., Per-FedAvg, pFedMe, FedPer. The reason is that in the non iid-scenario, each client has different data distribution. The types of attacks (types of labels) of clients are different. It leads to aggregating weights of server by weight average less effectively. Therefore, the accuracy of FedAvg is reduced significantly. However, the PFL based schemes allow each client to train a personalized model using its local data, which helps preserve data privacy and locality. Since the data distributions can vary across devices, training a personalized model on each device can capture the local data characteristics more effectively. Moreover, PFL schemes enable customization of the global model to individual clients. Since each client trains a personalized model, it can incorporate specific features or characteristics that are relevant to its local data. This customization can lead to improved performance on individual clients as shown in Table 1.

5. Conclusion

In conclusion, this paper presented an innovative approach of utilizing PFL for Intrusion Detection Systems (IDS). By combining the benefits of FL and personalized modeling, the PFL methods address the challenges of privacy preservation and device-specific adaptation in IDS scenarios. The PFL framework allows individual devices to train personalized models using their local data while preserving data privacy. The incorporation of personalization modeling within the FL architecture enables the models to capture device-specific characteristics and adapt to the unique data distributions present on each device which is known as non-iid data. This personalized approach enhances the accuracy and effectiveness of the IDS models by tailoring them to the specific characteristics of individual devices. The experimental results demonstrated the efficacy of the PFL approach for IDS. By leveraging non-iid data partitioning, the PFL achieved superior performance compared to non-personalized FL method. The personalized models exhibited improved detection accuracy and robustness, effectively capturing the unique patterns and behaviors associated with different devices and network attacks.

Future research directions could focus on investigating the scalability and efficiency aspects of PFL for IDS, considering large-scale networks and heterogeneous device capabilities. Additionally, exploring advanced techniques such as differential privacy and model aggregation strategies could further enhance the privacy and accuracy of the IDS models in a personalized federated learning setting.

References

- Wei Meng Lim et al. "Towards Federated Learning in UAV-Enabled Internet of Vehicles: A Multi-Dimensional Contract-Matching Approach". In: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 22.8 (Feb. 2021), pp. 5140–5154. DOI: 10.1109/tits.2021.3056341.
- Shiva Raj Pokhrel and Jinho Choi. "Federated Learning With Blockchain for Autonomous Vehicles: Analysis and Design Challenges". In: IEEE Transactions on Communications 68.8 (Apr. 2020), pp. 4734–4746. DOI: 10.1109/ tcomm.2020.2990686.
- Dinh C. Nguyen et al. "Federated Learning for Internet of Things: A Comprehensive survey". In: IEEE Communications Surveys and Tutorials 23.3 (Jan. 2021), pp. 1622–1658. DOI: 10.1109/comst.2021.3075439.

- 4. Jakub Konečný. "Federated Optimization: Distributed Machine Learning for On-Device Intelligence". In: arXiv.org (Oct. 2016). DOI: 10.48550/ arXiv.1610.02527. URL: <u>https://doi.org/10.48550/arXiv.1610</u>.
- Ming Chen et al. "A Joint Learning and Communications Framework for Federated Learning Over Wireless Networks". In: IEEE Transactions on Wireless Communications 20.1 (Jan. 2021), pp. 269–283. DOI: 10.1109/twc.2020.3024629. URL: https://doi.org/10.1109/twc.2020. 3024629.
- 6. Fallah, Alireza, Aryan Mokhtari, and Asuman Ozdaglar. "Personalized federated learning with theoretical guarantees: A model-agnostic meta-learning approach." *Advances in Neural Information Processing Systems* 33 (2020): 3557-3568.
- 7. T Dinh, Canh, Nguyen Tran, and Josh Nguyen. "Personalized federated learning with moreau envelopes." *Advances in Neural Information Processing Systems* 33 (2020): 21394-21405.
- 8. Arivazhagan, Manoj Ghuhan, et al. "Federated learning with personalization layers." *arXiv preprint arXiv:1912.00818* (2019).
- M. Tavallaee, E. Bagheri, W. Lu, and A. Ghorbani, "<u>A Detailed Analysis of the KDD CUP</u> <u>99 Data Set</u>," Submitted to Second IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defense Applications (CISDA), 2009.

Nghiên cứu các mô hình học liên kết cá nhân hóa cho bài toán phát hiện xâm nhập mạng

Abstract

Hệ thống phát hiện xâm nhập (Intrusion Detection System - IDS) đóng một vai trò quan trọng trong việc bảo vệ mang máy tính khỏi các hoat động truy cập trái phép và độc hai. Các nghiên cứu gần đây cho thấy, các mô hình học máy có thể triển khai Học liên kết để huấn luyện phân tán cho thấy hiệu quả tốt cho các bài toán phát hiện xâm nhập đồng thời đảm bảo tính riệng tự của dữ liệu. Tuy nhiên, việc đào tạo các mô hình IDS trên hệ thống phân tán với dữ liệu không đồng nhất đặt ra những thách thức đáng kể. Bài viết này nghiên cứu khả năng của hệ thống Học liên kết đối với dữ liệu không đồng nhất cho Hệ thống phát hiện xâm nhập (Personalized Federated Learning - Network Intrusion Detection System: PFL-NIDS), để giải quyết những thách thức này. PFL-NIDS tận dụng lợi thế của việc học liên kết và các nhân hóa mô hình học máy để cải thiện hiệu suất của IDS với dữ liệu huấn luyện phân tán không đồng nhất. Bằng cách cho phép mỗi thiết bị huấn luyện một mô hình được cá nhân hóa bằng dữ liệu cục bộ của nó, PFL-NIDS trích xuất các đặc điểm dữ liệu cục bộ hiệu quả hơn và tùy chỉnh mô hình toàn cầu cho từng trạm huấn luyện phân tán. Các thử nghiệm mở rộng trên tập dữ liệu công khai chứng minh rằng PFL-NIDS vượt trội hơn các phương pháp đào tạo FL truyền thống và đạt được độ chính xác phát hiện cao hơn trên dữ liệu không đồng nhất. Các kết quả nêu bât tính hiệu quả của Học liên kết được cá nhân hóa trong việc nâng cao hiệu suất của hệ thống phát hiện xâm nhập trong môi trường phân tán với sự phân bổ dữ liệu đa dang. Những phát hiện của nghiên cứu này góp phần cải tiến các mô hình IDS bảo vệ quyền riêng tư và có thể thích ứng trong các tình huống thực tế.

Từ khoá: học tập liên kết; dữ liệu không phải iid; phát hiện xâm nhập.

1239

Malware detection in PE files using deep learning with self-supervised learning techniques

Linh Vo Khuong, Hung Nguyen Viet, Anh Tran Ngoc

Institute of Information and Communication Technology, LeQuyDon Technical University

Abstract

In recent years, there has been a surge in new malware created by hackers globally, posing challenges for traditional detection methods. This paper explores using advanced artificial intelligence, specifically Deep Learning with Self-supervised learning, to identify malware in executable files. Our study focuses on comparing the effectiveness of popular deep learning techniques like CNN models and fine-tuned CNN models, against Autoencoder models. The key contribution of this paper lies in comparing the results of these different approaches to malware detection.

Keyword: malware representation, malware detection, deep learning, convolutional neural network, self-supervised learning.

1. Introduction

In recent times, with the development of artificial intelligence, the explosion in the number of malware strains, as well as their variations, is one of the challenges that cause certain difficulties for traditional malware detection methods in the field of Information Security. Therefore, automatic malware detection is essential. Malware detection based on deep learning is one of the methods that brings positive results and is suitable for current requirements.

Today, deep learning has been applied in many fields, especially with good results in image recognition. Due to the many hidden layers between the input and output layers, deep learning models can extract features and classify data into defined classes. When a file is represented as an image, a trained deep learning model can determine or predict whether it is malware.

Portable executable files (PEs) have an important role in information security as they are typically containers for malware and execute malicious behaviors. This type of file contains executing machine codes used to start programs and applications on the computer. It is an important part of the system and one of the main sources of malware deployment.

There are many approaches to using Deep Learning to detect malicious code, such as using Recurrent networks [14], Neural Network [6, 11, 24], Convolutional Neural Network [2, 4, 11, 16, 17]. According to research, this paper has found the use of Convolutional Neural Network to detect malicious code (with their image representation) yields the good results. Furthermore, some studies promote solving the problem of detecting malware in their image representation using unsupervised learning models. [7, 18, 25, 26].

Within the scope of the article, this research focuses on self-supervised learning models for malware images detection problem. This paper compares and evaluates the experiment's result with other learning methods, using models that have been studied.

2. Related work

2.1 Convolutional Neural Network

There are many Deep Learning techniques for solving the malware detection problem. However, the studies [12, 15, 17] proved that Convolutional Neural Network yeld the best results.

Convolutional neural network (CNN) is a deep learning architecture designed to process and analyze visual data such as images and videos by automatically learning features between pixels [6]. The main components of CNN include convolutional layer, pooling layer, fullyconnected (dense) layer, activation function, and overfitting reduction method through dropout [13]. In particular, convolutional layers help detect and extract features and characteristics of images (edges, textures, patterns...), while pooling layers play the role of reducing the complexity of the computing process [4].

The approach using deep learning in malware detection has yielded many good results due to several advantageous features that CNNs offer:

- Feature Extraction and Learning: CNNs are adept at automatically learning hierarchical representations of data and relevant features from raw data, eliminating the need for manual feature engineering.
- Spatial Hierarchical Learning: CNNs can learn spatial hierarchies of features within the data, which is useful for detecting complex patterns in the structure and content of malware.
- Scalability: CNNs can be scaled to handle large datasets, which is critical in the context of malware detection due to the vast number of malware samples that need to be processed.

By leveraging these capabilities, researchers can develop robust and effective malware detection systems capable of identifying both known and unknown malware variants. The models proposed in [19] and [5] have structures and parameters shown in Table 1 and Table 2, respectively. Through experiments, this research founds that in the model [19], executing one step requires 100ms, while model [5] requires approximately 900ms in each epoch.

Most studies, such as [5, 9, 19], use networks with a structure of three interleaved convolutional layers and three pooling layers. Within the scope of this study, the paper will also apply and compare the two models of [5] and [19] on two dataset: EMBER dataset and a self-built dataset to obtain an overall objective view.

2.2 Image Representation of Malware

Representing malware as images is a technique used in some cases, especially when leveraging CNNs for malware detection.

To implement CNNs in malware detection, it is necessary to represent malware as images. According to the proposal by L. Nataraj and colleagues [9], both benign and malware files are considered binary strings composed of 0s and 1s. Then, those strings can be read as a byte sequence (8 bits) arranged in a two-dimensional array and represented as a grayscale image where each pixel has a value ranging from 0 to 255. Variants of the same malware strain exhibit

similar image representations regarding pixel pattern features, while different malware strains will have distinct images, differing from benign files (Figure 1).

The challenge is to determine the optimal image representation method to preserve or enhance the distinctive characteristics of the image. Through observation, there are two main factors that leads to the loss of feature information: pixel arrangement order and the process of determining the size of the original image.



Figure 1. Grayscale Image Representation of Benign (left) and Malware (right).

In most research articles on using CNNs in the problem of detecting malicious code, they often use the method of arranging pixels in a regular order. For example, L.Nataraj [9], Minh Tu et al. [19] used the this method. The regular order for pixel arrangement is the allocation of pixels from left to right and top to bottom of the image.

They established the thresholds depending on the byte sequence length to determine the width size of the image. The width size will be from 32, 64, 128, 256, 354, 512 and 1024. Then, the height will be determined by dividing the sequence length by the width. Most of the time, the output images are usually rectangular in shape (the height is usually longer than the width). The images were then resized to 64x64 dimensions.

In other studies for grayscale images, Quach Danh Ngoc [5] and Ren Z. [15] proposed new approaches that mitigates one limitation of [9, 19]. They used different methods of pixel arrangement such as Gray, Zigzag, H-curve, Hilbert curve, Z-order, and Sweep curve. Only Hilbert and Zigzag methods keep the distance between any two consecutive points on the byte string placed next to each other in 2-D space. after the transformation into an image.

This is general malware analysis and detection. Particularly with PE files, the characteristic information that helps distinguish malware from benign is mostly concentrated in the header, which is the beginning part of the file's byte sequence. Thus, Moreina et al. [12] and [10] used a diagonal zigzag patterns to detect ransomware while transforming PE header data into images.

Therefore, with the zigzag order of pixel arrangement method, the header information of the PE file will be extended horizontally within some top rows of the image. And the Hilbert curve method has difficulty converting to custom sized images. Further more, with the rectangle size determining process, the operation of resizing the image to 64x64 (square) size will increase the risk of information distortion.



Figure 2. Image representation patterns regular (a), zigzag (b), z-order (c), hilbert-curve (d) and serpentine (e).

Through studying the above researches, this studies chose the zigzag pixel arrangement method based on the image's diagonal called "serpentine" order for experiments. This method gave good results, in particular, diagonal zigzag patterns is suitable for PE files as well as preserving the continuity between pixels.

2.3 Self-supervised learning technique

There is a study [17] using self-supervised learning for malware detection with natural language processing approach, which gave better results than supervised learning. On the other hand, there are research[3, 7] using Self-Supervised Learning for anomaly detection which also gave better results than supervised learning technique. Therefore, we propose an approach of using Self-Supervised Learning technique to serve malware detection problems.

In AI field, Self-Supervised Learning (SSL) is a paradigm where a model is trained on a task and, instead of depending on external labels provided by humans, uses the data itself to generate supervisory signals. Self-supervised learning in neural networks seeks to generate meaningful training signals by taking advantage of innate structures or relationships in the input data. The way SSL tasks are made, completing them necessitates identifying key characteristics or connections in the data. Usually, the input data is enhanced or changed in a way that produces related sample pairs. The supervisory signal is created using one sample as the input and the other as the output. Noise addition, cropping, rotation, and other adjustments are examples of this augmentation. Self-supervised learning more closely resembles how humans classify objects in the real world.

An artificial neural network or another model, like a decision list, is the foundation of the conventional SSL technique. There are two steps in the learning process for the model. Initially, the task is completed by applying pseudo-labels to help initialize the model parameters, based on an auxiliary or pretext classification task. Second, either supervised or unsupervised learning
is used to complete the task at hand. Completing patterns from masked input patterns is the focus of other auxiliary tasks.

In computer vision and natural language processing (NLP), where the quantity of labeled data needed to train models can be unreasonably large, self-supervised learning is especially helpful. Self-supervised model training is more economical and time-efficient because it requires fewer annotations and labels on the data.



Figure 3. Self-supervised for object detection in image by Jong-Chyi et al. in "When does self-supervision improve few-shot learning?", ECCV, 2020.

So in the scope of this study, with SSL idea, image representation of malware and benign files will be augmented to leverage inherent structures and relationships within the input data to create meaningful training signals.

3. Proposal for PE format malware detection using Autoencoder

As mentioned in the previous section, this study proposes an approach to use Self-Supervised Learning models for malware detecting with image representation. First, the input files will be converted into grayscale images with serpentine pixel arrangement methods. After that, those original images will be augmented transforming (flipping, rotating, jigsaw puzzling). Then, the augmented images are going into an Autoencoder to be reconstructed into original image. Thus, this process help getting the core patterns aka the most distinctive features to classify if they are malware or benign.

Autoencoder is belong to unsupervised deep learning network group. It gains knowledge of effective data representation, or encoding. Since it is a directed neural network that is less dependent on training data and is capable of producing its own labeled data, it is unsupervised deep learning - more precisely, self-supervised deep learning. The purpose of Autoencoder is to try to reproduce the input data as closely as possible. Autoencoder is often used in data dimensionality reduction problems, image noise removal or anomaly detection. In this article, we focus on the problem of malware detection.

An Autoencoder network can be divided into three main components: encoder f(x), code (also known as "bottleneck") h and decoder g(h). The bottleneck or code layer is the representative layer, usually the smallest size in the network, the main function of this layer is to store the most important information from the input data. Meanwhile, the encoder layer tries to put the input data into the code layer, and the decoder layer tries to recreate the output data from the code layer. If we consider x as input data, r as data reproduced from the decoder layer, we can understand: h = f(x) and r = g(h). Autoencoder is essentially a neural network, so it can be trained through back-propagation with an error function.



Figure 1. Basic structure of Autoencoder.

An Autoencoder network can be divided into three main components: encoder f(x), code (also known as "bottleneck") h and decoder g(h). The bottleneck or code layer is the representative layer, usually the smallest size in the network, the main function of this layer is to store the most important information from the input data. Meanwhile, the encoder layer tries to put the input data into the code layer, and the decoder layer tries to recreate the output data from the code layer. If we consider x as input data, r as data reproduced from the decoder layer, we can understand: h = f(x) and r = g(h). Autoencoder is essentially a neural network, so it can be trained through back-propagation with an error function.

The encoder consists of a series of convolutional blocks, pooling modules, and a bottleneck, which is a compact area where the model's input is compressed. The decoder, which consists of several upsampling modules to reconstruct the compressed feature as an image, comes after the bottleneck. When using a basic autoencoder, the desired result should be the same as the input data but with less noise. On the other hand, variational autoencoders create an entirely new image using the input data that the model has been given.

The bottleneck is the smallest and most crucial component of the neural network. The purpose of the bottleneck is to limit the amount of data that can pass from the encoder to the decoder, allowing only the most essential information to do so. We can say that the bottleneck aids in the formation of a knowledge-representation of the input since it is constructed in a way that captures the maximum amount of information contained in an image. As a result, the encoder-decoder structure aids in obtaining the maximum amount of data from an image and creates valuable associations between different network inputs. The neural network is further prevented from memorizing the input and overfitting on the data by a bottleneck acting as a compressed representation of the input. The smaller the bottleneck, the lower the risk of overfitting, but very small bottlenecks would limit the amount of data that could be stored, which raises the possibility that crucial data could escape the encoder's pooling layers.

Eventually, the output of the bottleneck is reconstructed by a series of convolutional and upsampling blocks that make up the decoder. The decoder functions as a "decompressor," reconstructing the image from its latent attributes, since the input is a compressed knowledge representation.

1245



Figure 4. Deep Autoencoder structure: Encoder, Bottleneck (code), Decoder.

To reproduce the input data as closely as possible to the training data is the aim of the autoencoder. With this knowledge, we can provide Autoencoder with only data of the begin class - not malicious code - for it to learn. Next, we determine the reconstruction error for both malware and benign components of the dataset. Reconstruction error indicates whether the Autoencoder's reconstruction of the benign set is accurate or not. A smaller reconstruction error indicates a higher reconstruction error. This indicates that the input data is malicious software rather than benign data. The reconstruction error now resembles a histogram; all we need to do is determine a threshold to distinguish between the malicious and benign error sets. This turns the issue into a binary classification issue.

4. Experiments and Evaluation

4.1 Dataset Description

This study uses 2 datasets, one is EMBER [8] (with data from 2017) and another is selfbuilt called LQDU-23 (with data from 2023). The EMBER dataset contains total 1.100.000 samples with the distribution showed in Figure 5 below:



Figure 5. Distribution of samples in EMBER dataset.

The EMBER dataset [8], collected in 2017, has many types and has been balanced in terms of the number of files of each type. Types of malicious code in EMBER include: adware, backdoor, mining, flooder, packed, ransomware, riskware, rootkit, spyware, common trojan, virus, worm, etc. Ensure the number of files for each is about 40,000 files.

On the other hand, this study builds a dataset called LQDU-23, and benign files are collected, all of which are files with the PE format or with PE file extensions belonging to the PE group. Malware files are collected from the VirusShare [20] channel, which came from the VirusShare_00468.zip set, with a total size of 52.63 GB and containing 27533 malware files in PE format. They were uploaded on April 30, 2023. These samples are then uploaded to VirusTotal [21] to scan and retrieve the results to classify malware, as well as serve as a basis for separating the training and testing sets. After that, training and test sets are built with 2000 samples of benign and 2000 samples of malware in each set.

In the LQDU-23 dataset, the number of strains collected is not much; most focus on trojan strains (including droppers, downloaders, ransomware, and proxies); a few are viruses and worms; this is also reflected in the report. Actual reports in CIS [23]:

Туре	Quantity
Trojan	16193
Virus	1177
Worm	343
Others	273

 Table 1. Distribution of malware families in LQDU-23

Our approach is to experimentally apply the methods to a multi-species, symmetric, balanced (EMBER) data set and then use the same training results to test on another data set. unbalanced in terms of type (LQDU-23) to test the performance quality of the methods against each other: specifically, the ability to extract features hidden within the structure of the malicious code. Especially in real-life situations, the type of malware used tends to change depending on the characteristics of the technological situation, the security capabilities of software developers, and the level of security awareness. user's network.

Since we use 4 different method to transform the original images to become the input for Autoencoder, the data size will increase by 4 times. So in the scope of this study, we randomly chose 2000 samples from each subsets with a fixed seed parameter.

After obtaining the data set for training and testing, we proceed to convert them into gray images according to the method of L. Nataraj et al. [9]: consider the data bytes as a pixel, arrange them into a Photos are in order from top to bottom, left to right. Then resize the image to 64x64 to fit the input of a neural network.

From here, create two copies of the above image dataset. A set will be labeled as malicious or benign. This dataset is ready for two methods. CNN [18] and fine-turned CNN [5]. The remaining unlabeled copy of the dataset will be augmented into 4 versions: rotated 90 degrees, 270 degrees, flip horizontal, and flip vertical, as shown in Figure 6:



Figure 6. Augmented Images: (a) original, (b) rotate 90 degree, (c) rotate 270 degree (d) flip-horizontal, (e) flip-vertical

4.2 Experimental results & Evaluation

The experiment program is built in Python 3 language with Keras library, running on a computer with the following configuration:

- Intel Core i7-6700HQ CPU @2.60GHz,

- RAM: 12GB RAM

- NVIDIA GeForce GTX 960M graphic card.

The experiment uses 3 learning models: two CNNs from [5, 19] and SSL with Autoencoder to train with EMBER dataset. After that, trained models are tested on both datasets EMBER and LQDU-23.

Due to the equal number of malware and benign in the training dataset, the "accuracy" measurement is used. In addition, this study also uses "recall" and "f-score" measurements, which are respectively expressed in the following formulas:

 $Accuracy = \frac{True \ Positives + True \ Negative}{True \ Possitives + True \ Negatives + False \ Possitives + False \ Negatives},$

 $Recall = \frac{True \ Positives}{True \ Positives + False \ Negatives}$,

$$F - score = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precition + Recall}.$$

For the CNN method, training and generating results follow the model outlined in [5, 19]. Particularly with the Autoencoder method. We use the trained encoder from the autoencoder to compress input data and train a different predictive model. We process to train a logistic regression model on the training dataset directly and evaluate the performance of the model on the holdout test set, as shown in Figure 7.



Figure 7. Using Autoencoder for classification.

The experimental results, with the EMBER dataset, the difference of all three models is not too different, while with the LQDU-23 dataset, Autoencoder method still maintains high accuracy while the other two models decrease sharply as shown in Table 2.

Dataset		EMBER		LQDU-23			
Approach	Accuracy	Recall	F-score	Accuracy	Recall	F-score	
CNN [19]	92.06	92.06	93.94	83.03	83.03	90.73	
fine-turned CNN [5]	96.33	96.33	97.95	92.22	92.22	95.95	
Autoencoder	96.31	96.31	97.57	94.73	94.73	97.09	

Table 2. Experiment Results.

This shows that with Autoencoder, underlying features are extracted and are more effective in detecting different variations of malicious code. From there, it can be used to detect malicious code in new data sets, shorten update times, and retrain the classifier. According to experimental results, this method shows high development potential, meeting the requirements in today's malware situation.

The results of our study suggest that when it comes to spotting different types of malware, not all methods are equal. We trained three models - CNN, fine-tuned CNN, and Autoencoder using the EMBER dataset, which is a solid collection of malware from 2017. As above, all three models did pretty well on this dataset.

However, when we tested these models on the LQDU-23 dataset, which has newer malware up until 2023, the Autoencoder model stood out. It kept its high accuracy, unlike the CNN and fine-tuned CNN models, which struggled more with the new kinds of malware.

This tells us that the Autoencoder method is good at picking up on the hidden, underlying features of malware. It's better at recognizing new types of malicious code. This could mean faster updates for security systems and easier retraining of detection tools.

5. Conclusion

In summary, the primary contribution of this paper is the comparison of three distinct Deep Learning methods: CNN, fine-tuned CNN, and Autoencoder for malware detection in executable files. We tested these techniques on LQDU-23, a more recent dataset, as well as EMBER, a reliable dataset with older malware. Our experiment shows that the Autoencoder

model was the most effective at identifying novel and evolving malware types. Even with the most recent threats from up to 2023, it remained accurate. This implies that the Autoencoder technique is potential for enhancing the training process of detection tools and shorten security system updates time and resources. The Autoencoder's adaptability is primarily due to its capacity to extract underlying patterns from malware images. The self-supervised learning model can offer a promising approach to detect and classify malware generated by AI. This work adds knowledge to the discussion of self-supervised learning applications in practical problem solving, especially malware detection.

References

- 1. Anh Tran Ngoc, Linh Vo Khuong, *Malware detection based on Machine Learning and PE header information*, Information Security Journal, Vietnam, 2021.
- 2. Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton, *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks*, International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS), 2012.
- 3. Chun-Liang Li, Kihyuk Sohn, Jinsung Yoon, Tomas Pfister, *CutPaste: Self-Supervised Learning for Anomaly Detection and Localization*, Computer Vision Foundation, 2021.
- 4. Gibert, D, *Convolutional neural networks for malware classification*, University Rovira i Virgili, Tarragona, Spain, 2016.
- 5. Hung Nguyen Viet, Ngoc Quach Danh, Dung Pham Ngoc, *Research on techniques of representing malware files and deep learning models in malware detection*, XXII National Conference: Some selected issues of Information and Communication Technology, Thai Binh, Vietnam, 2019.
- 6. Kephart J.O. Tesauro, G.J., Gregory B Sorkin, *Neural networks for computer virus recognition*, IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics, 1996.
- 7. Hadi Hojjati, Thi Kieu Khanh Ho, Naregs Armanfard, *Self-Supervised Anomaly Detection: A Survey and Outlook*, Montreal, QC, Canada, 2023.
- 8. Hyrum S. Aderson, Phil Roth, *EMBER: An open dataset for training static PE malware machine learning models*, arXivLabs, Cornell University, 2018.
- 9. L. Nataraj, S. Karthikeyan, G. Jacob, and B. S. Manjunath, *Malware images: Visualization and automatic classification*, Proceedings of the 8th International Symposium on Visualization for Cyber Security, 2011.
- 10. Linh V. K., Hung Ng. V., Anh Tr. Ng., *Enhance Deep Learning model for malware detection with a new image representation method*, Information Security Journal, Vietnam, 2023.
- 11. Li Deng George E. Dahl, Jack W. Stokes and Dong Yu, *Large-scale malware classification using random projections and neural network*, ICASSP, 2013.
- 12. Moreira, C. C., Moreira, D. C., & de Sales Jr, C. D. S., *Improving ransomware detection based on portable executable header using exception convolutional neural network*, Computers & Security, 130, 103265, 2023.
- Nitish Srivastava, Geoffrey Hinton, Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, and Ruslan Salakhutdinov, Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting J. Mach. Learn. Res. 15(1):1929–1958, 2013.
- 14. Razvan Pascanu, Jack W. Stokes, Li Deng, Dong Yu, Mady Marinescu, Anil Thomas, *Malware Classification with Recurrent Networks*, IEEE ICASSP, 2015.

- 15. Ren, Z., Chen, G., & Lu, W., *Malware visualization methods based on deep convolution neural networks*, Multimedia Tools and Applications, 79, 10975-10993, 2020.
- 16. Sunoh Choi, Sungwook Jang, Youngsoo Kim, Jonghyun Kim, *Malware Detection using Malware Image and Deep Learning*, International Conference on Information and Communication Technology Convergence, Jeju, Korea (South), 2017.
- 17. Seonhee Seok, Howon Kim, *Visualized Malware Classification Based on Convolutional Network*, Journal of The Korea Institute of Information Security and Cryptology, 2016.
- 18. Setia Juli Irzal Ismail, Hafiz Pradana Gemilang, Budi Rahardjo, Hendrawan, *Self-Supervised Learning Implementation for Malware Detection*, International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), 2022.
- Tu Nguyen Minh, Hung Nguyen Viet, Anh Phan Viet, Loi Cao Van, Nathan Shone, *Detecting Malware Based on Dynamic Analysis Techniques Using Deep Graph Learning*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 12466, 2020.
- 21. VirusShare free malware storage, https://virusshare.com/. Accessed: 2023-05-01.
- 22. Virustotal free online malware scanner, https://www.virustotal.com/. Accessed: 2023-04-30.
- 23. Website Center for Internet Security CIS A community-driven nonprofit, responsible for the CIS Controls and CIS Benchmarks, https://www.cisecurity.org/. Accessed: 2023-08-23
- 24. Wenyi Huang, Jack W.Stokes, *MtNet: A Multi-Task Neural Network for Dynamic Malware Classification*, DIMVA, 2016.
- 25. Xiaofei Xing, Xiang Jin, Haroon Elahi, Hai Jiang, Guojun Wang, A Malware Detection Approach Using Autoencoder in Deep Learning, IEEE Access (vol 10), 2022.
- 26. Xin Li, Peixin Lu, Lianting Hu, XiaoGuang Wang, Long Lu, A novel self-learning semisupervised deep learning network to detect fake news on social media, Multimedia Tools and Applications, 2022.

Phát hiện mã độc định dạng PE sử dụng học sâu với kỹ thuật học tự giám sát

Tóm tắt

Trong những năm gần đây, ngày càng có nhiều phần mềm độc hại mới do tin tặc tạo ra trên toàn cầu, đặt ra thách thức cho các phương pháp phát hiện truyền thống. Bài viết này tìm hiểu việc sử dụng trí tuệ nhân tạo tiên tiến, cụ thể là học sâu với kỹ thuật học tự giám sát, để xác định phần mềm độc hại trong các tệp thực thi PE. Nghiên cứu này tập trung vào việc so sánh tính hiệu quả của các kỹ thuật học sâu phổ biến như mô hình CNN và mô hình CNN được tinh chỉnh với mô hình sử dụng Autoencoder. Đóng góp chính của bài viết này nằm ở việc so sánh kết quả của các phương pháp tiếp cận khác nhau này trong việc phát hiện phần mềm độc hại.

Từ khóa: biểu diễn mã độc, phát hiện mã độc, học sâu, mạng nơ ron tích chập, học tự giám sát.

Phương pháp mã hóa đặc trưng mới trong học bán giám sát để nâng cao khả năng phát hiện bất thường trong mạng IoT

Nguyễn Hữu Nội

Bộ môn ATTT-CNM, Viện CNTT&TT Email: noi.nguyen@lqdtu.edu.vn, Tel: 0962631881

Tóm tắt

Phát hiện bất thường là một thách thức quan trọng trong thời đại hiện nay, đặc biệt là đối với các thiết bị/hệ thống IoT. Các nghiên cứu trước đây chúng tôi đã áp dụng các kỹ thuật phân tích để giảm kích thước dữ liệu và trích xuất thông tin có giá trị. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu này dựa vào một lượng lớn các điểm ngoại lai để thực hiện phát hiện bất thường. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một phương pháp cải tiến cho mã hóa đặc trưng trong học bán giám sát dựa trên mạng FeaWAD để cải thiện phương pháp biểu diễn dữ liệu, từ đó nâng cao hiệu quả của mô hình phát hiện bất thường (mô hình cải tiến được đặt tên là iFeaWAD). Mô hình này chỉ yêu cầu một phần nhỏ các bất thường để huấn luyện. Chúng tôi đánh giá phương pháp iFeaWAD trên tập dữ liệu N-BaIoT với nhiều kịch bản kiểm tra khác nhau để phát hiện các cuộc tấn công đã biết cũng như các cuộc tấn công chưa biết. Kết quả thực nghiệm cho thấy phương pháp iFeaWAD cho kết quả tốt hơn mô hình gốc FeaWAD và các phương pháp phát hiện bất thường này hứa hẹn việc áp dụng mô hình cải tiến vào mạng IoT là hoàn toàn khả thi.

Từ khóa: AutoEncoder; học bán giám sát; biểu diễn ẩn; IoT; phát hiện bất thường.

1. Giới thiệu

Phát hiện bất thường được hiểu là nhiệm vụ phát hiện các điểm dữ liệu khác với các mẫu thông thường trong một tập dữ liệu trên một miền cụ thể. Nhiệm vụ này có nhiều ứng dụng trong các lĩnh vực như mạng máy tính, học máy và thị giác máy tính. Các nhà nghiên cứu đã phát triển nhiều thuật toán khác nhau để phát hiện sự bất thường và thử nghiệm chúng trên nhiều bộ dữ liệu công khai khác nhau. Một thách thức chung trong nhiệm vụ này là thiếu các mẫu bất thường được dán nhãn, thường ít và khó lấy mẫu, trong khi dữ liệu thông thường lại dồi dào và dễ dàng thu thập [1].

Học máy (Machine Learning – ML), đặc biệt là học sâu (Deep Learning – DL), là một kỹ thuật được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực bảo mật khác nhau, như phân loại và phát hiện mã độc, xác định các tấn công mạng và dự báo hành vi bất thường của dữ liệu mạng [2]–[4]. Những kỹ thuật này có thể được phân loại thành các phương pháp học có giám sát [2], học không giám sát [5], [6] và bán giám sát [7], [8]. Phương pháp học có giám sát sử dụng dữ liệu được dán nhãn (cả bình thường và bất thường) để đào tạo. Các thuật toán có thể hoạt động trên hai hoặc nhiều lớp. Các phương pháp học không giám sát thường chỉ sử dụng dữ liệu thông thường để huấn luyện, giả định rằng chỉ có dữ liệu sạch được thu thập trong thực tế. Nếu dữ liệu được thu thập khác với dữ liệu huấn luyện sẽ được phân loại là dữ liệu bất thường. Phương pháp bán giám sát được sử dụng trong trường hợp giả định rằng có một lượng dữ liệu bất thường nhất định được đưa vào cùng với dữ liệu bình thường để huấn luyện. Tỷ lệ dữ liệu bất thường thường thứp nhiều so với dữ liệu bình thường.

Một trong những thuật toán cho kết quả nổi bật và tốt trong việc phát hiện bất thường dựa trên học bán giám sát là FeaWAD [3]. Các tác giả đã đề xuất phương pháp trích xuất đặc trưng cho dữ liệu đầu vào cũng như xác định các dị thường thông qua nhận dạng điểm. Trong bài viết

này, chúng tôi đề xuất một mô hình cải tiến cho mô hình FeaWAD (chúng tôi đặt tên là iFeaWAD) để phát hiện sự bất thường của IoT. Cụ thể hơn, chúng tôi đề xuất cải tiến phương pháp trích xuất đặc trưng tổng hợp dữ liệu từ đầu vào, từ đó nâng cao hiệu quả của mô hình phát hiện bất thường, áp dụng cho phát hiện bất thường của mạng IoT.

Những đóng góp chính của chúng tôi trong bài báo như sau:

- Chúng tôi đề xuất một phương pháp cải tiến của FeaWAD, có tên là iFeaWAD để sử dụng cho việc phát hiện bất thường của mạng IoT. Đây là một cơ chế tính trọng số đặc trưng có thể mô tả tốt các đặc điểm của dữ liệu và nâng cao khả năng phân biệt các điểm dữ liệu;

- Chúng tôi thực hiện thử nghiệm trên nhiều bộ dữ liệu IoT khác nhau để đánh giá hiệu quả của mô hình đề xuất. Kết quả thu được cho thấy thuật toán cải tiến iFeaWAD cho kết quả tốt hơn thuật toán gốc cũng như các thuật toán phát hiện bất thường khác.

Các phần tiếp theo của bài báo được tổ chức như sau. Phần II tập trung trình bày các công trình liên quan. Phần III mô tả phương pháp mã hóa đặc trưng và phiên bản cải tiến của FeaWAD. Phần IV chúng tôi trình bày về dữ liệu và các cài đặt thử nghiệm. Phần V trình bày về kết quả nhận được và thảo luận. Phần VI là một số kết luận và hướng phát triển.

2. Nghiên cứu liên quan

Phần này xem xét các công trình gần đây về phát hiện bất thường, tập trung vào các phương pháp học không giám sát và bán giám sát, đặc biệt là các thuật toán dựa trên Autoencoder. Chúng tôi cũng thảo luận về các nghiên cứu nhằm xử lý các nhiệm vụ phân loại bằng kỹ thuật bán giám sát.

Hiện nay, các kết quả nghiên cứu về học biểu diễn sâu [3], [4], [9] đã chỉ ra rằng các mô hình mạng nơ-ron sâu có thể trích xuất một cách hiệu quả các đặc trưng cho các nhiệm vụ phân cụm và phát hiện bất thường. Yếu tố thiết yếu để phát hiện ngoại lệ là sử dụng các kỹ thuật tự giám sát để tự học được các cách biểu diễn. Mô hình tuyến tính và mô hình xác suất là một trong những kỹ thuật chính được sử dụng, trong đó mỗi kỹ thuật đều dựa trên các giả định cụ thể.

Các phương pháp không giám sát để phát hiện bất thường đã được nghiên cứu rộng rãi vì chúng có thể nắm bắt được các mối quan hệ bên trong phức tạp bằng cách học các đặc điểm từ dữ liệu chưa được gắn nhãn data [5], [10]–[12]. Pei [13] đã giới thiệu một phương pháp có tên Donut sử dụng Variational Autoencoder (VAE) để phát hiện các điểm bất thường trong dữ liệu chuỗi thời gian. Donut hoạt động tốt hơn nhiều so với các phương pháp dựa trên VAE và các phương pháp được giám sát khác, nhờ vào sự hiệu quả của mô hình sinh sử dụng. Pang [11] đã giới thiệu một khung phát hiện bất thường không giám sát tích hợp nhiệm vụ phát hiện bất thường và quy trình học biểu diễn. Họ đã học được các cách biểu diễn về không gian số chiều thấp hiệu quả từ dữ liệu chiều siêu cao thông qua sự tích hợp này và áp dụng cho bộ phát hiện bất thường. Theo hướng tiếp cận sử dụng Bản đồ tự tổ chức (SOM), Nguyen [6] đã giới thiệu mô hình kết hợp giữa AE và SOM để phát hiện phần mềm độc hại IoT. Mô hình ban đầu AESOM và phiên bản cải tiến DAESOM hoạt động tốt với dữ liệu IoT gốc, ánh xạ đầu vào thành các nhóm và phát hiện các điểm bất thường.

Theo phương pháp học bán giám sát, một số công trình gần đây đã khám phá và đề xuất một số mô hình rất hữu ích cho việc phát hiện bất thường với dữ liệu cực kỳ mất cân bằng, sử dụng một số rất ít các mẫu bất thường [7] [8]. Ruff [8] đã giới thiệu một phương pháp bán giám

sát sâu có tên Deep SAD, phương pháp này đã mở rộng một phương pháp phát hiện bất thường không được giám sát trước đó, cụ thể là Deep SVDD [14], để sử dụng các bất thường thường được gắn nhãn. Deep SAD đã đưa ra một hàm mất mát mới dựa trên phân tích lý thuyết thông tin để kéo dữ liệu bình thường về một trọng tâm cố định và đẩy các điểm bất thường ra xa. Trong [7], Pang và cộng sự. đề xuất mô hình phát hiện bất thường với kịch bản cho một lượng ít dữ liệu bất thường được gắn nhãn và dữ liệu không được gắn nhãn. Mô hình biến nhiệm vụ phát hiện bất thường thành một bài toán hồi quy thứ tự của các mối quan hệ theo cặp, sử dụng toàn bộ số lượng mẫu bất thường được gắn nhãn để tạo thành các cặp mẫu cho quá trình phát hiện bất thường tiếp theo.

Trong nghiên cứu [3], các tác giả đề xuất phương pháp dựa trên AE để trích xuất ba thành phần bao gồm biểu diễn ẩn (hidden representation), giá trị lỗi tái cấu trúc (reconstruction error) và vecto tái tạo dư (reconstructed residual vector) để mô tả đặc điểm của từng dữ liệu đầu vào. Sau đó, các đặc trưng này được sử dụng để tạo ra bộ phát hiện bất thường, dùng để phân loại dữ liệu là bình thường hoặc bất thường. Nghiên cứu của chúng tôi dựa trên ý tưởng nghiên cứu này, với những cải tiến trong các thành phần cụ thể để nâng cao hiệu quả phát hiện sự bất thường cho mạng IoT.

3. Mã hóa đặc trưng với Autoencoder

3.1.Thuật toán FeaWAD

Trong phần này, chúng tôi mô tả ngắn gọn về thuật toán FeaWAD được trình bày trong nghiên cứu [3]. Bài báo đề xuất quy trình trích chọn đặc trưng và phương pháp tính điểm để xác định bất thường. Tổng quan về kiến trúc của nghiên cứu được hiển thị trong hình Fig *1*.



Fig 1. Mô hình phát hiện bất thường FeaWAD [3].

Đầu tiên, từ mạng Autoencoder, mô hình sẽ tách ra 3 thành phần điển hình biểu diễn dữ liệu đầu vào gồm biểu diễn ẩn h, lỗi tái tạo e và vecto dư r.

Các công thức tính toán cho các thành phần trên như sau:

$$h = f_e(x_i; W_e) \tag{1}$$

$$e = |\widehat{x_i} - x_i|_2 \tag{2}$$

1254

$$r = \frac{\hat{x}_{i} - x_{i}}{|\hat{x}_{i} - x_{i}|_{2}}$$
(3)

Trong phương trình Eq. 1, W_e là tham số của bộ mã hóa và $f(\cdot, W_e)$ là công thức ánh xạ cho quá trình mã hóa. Trong Eq. (2) \hat{x}_i là giá trị được xây dựng lại của x_i qua quá trình giải mã và được tính bằng $\hat{x}_i = f_d(h; W_d)$ với W_d là tham số của bộ giải mã, $f(\cdot, W_d)$ là quá trình xây dựng công thức giải mã, và $|\cdot|$ là chuẩn Euclide.

Sau đó FeaWAD đề xuất một công cụ tạo điểm bất thường (anomaly score generator – ASG). Mạng được sử dụng trong ASG là MLP. Đối với mỗi lớp z_k được tính theo công thức:

$$z_k = f(W_m^k z_{k-1} + b_k + w_e^k e)$$
(4)

Trong phương trình Eq. (4), W_m^k là trọng số, b_k là tham số sai lệch cho lớp k.

Ở lớp đầu tiên (k - 1), z_{k-1} được gán bởi các giá trị [r, h], trong khi ở lớp k, z_k xác định điểm s_0 cho quyết định bất thường.

Mạng FeaWAD bao gồm hai thành phần: mạng mã hóa đặc trưng (feature encoding network – FEN) $\psi(\cdot, \Theta_e)$ và trình tạo điểm bất thường (anomaly score generator – ASG) $\phi(\cdot, \Theta_g)$. Θ_e và Θ_g lần lượt là các tham số của mô hình FEN và ASG. Toàn bộ mạng được biểu diễn dưới dạng $\phi(x_i; \Theta_e; \Theta_g)$.

Công thức sau đây mô tả cách tính hàm mất mát của FeaWAD:

$$L(\Theta_e, \Theta_g) = L_d(\Theta_e, \Theta_g) + \lambda L_e(\Theta_e)$$
⁽⁵⁾

trong đó $L_e = \sum_i (1 - y_i)e_i + y_i \max(0, a_0 - e_i)$ và $L_d = \sum_i (1 - y_i)|\phi(x_i)| + y_i \max(0, a_0 - \phi(x_i))$. Giá trị λ là siêu tham số để cân bằng hai thành phần của hàm tổn thất tổng.

3.2.Phiên bản cải tiến của FeaWAD

Trong phần này, chúng tôi trình bày một phiên bản cải tiến của FeaWAD mà chúng tôi gọi là iFeaWAD. Mục tiêu cải tiến của chúng tôi tập trung vào quá trình hình thành các giá trị h, e và r.

Đầu tiên, chúng ta sử dụng giá trị tuyệt đối $|\hat{x}_i - x_i|$ thay vì $(\hat{x}_i - x_i)$ trong công thức tính r để đảm bảo tất cả các giá trị đều không âm. Tiếp theo, vì hàm mất mát khá lớn nên chúng tôi nhân một siêu tham số, được gọi là σ , với giá trị của r (chúng tôi đặt giá trị của σ thành 10e-5 trong các thử nghiệm).

Khi đó công thức của r được viết lại như sau:

$$r = \frac{\sigma \cdot |\widehat{x}_i - x_i|}{|\widehat{x}_i - x_i|_2} \tag{6}$$

Sử dụng giá trị tuyệt đối của $|\hat{x}_i - x_i|$ trong giá trị hàm mất mát của Autoencoder có hàm kích hoạt ReLU sẽ lưu giữ nhiều dữ liệu có giá trị nhỏ hơn 0 hơn sau khi chuyển đổi sang r, giúp cải thiện hiệu suất học tập của mô hình của chúng tôi.

Đối với các giá trị h và e, chúng tôi giữ nguyên như trong bài báo gốc, với h là biểu diễn ẩn và e là lỗi tái tạo. Việc sử dụng ASG và hàm mục tiêu được giữ nguyên như ý tưởng ban đầu. Quá trình huấn luyên thuật toán cũng được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp gradient và được

3.3. Quá trình huấn luyện mô hình

mô tả chi tiết hơn trong phần tiếp theo.

Mạng được huấn luyện bằng thuật toán gradient. Để cân bằng các mẫu bình thường và bất thường, một mibi-batch được tổ chức bằng cách lấy cùng số lượng mẫu bình thường và bất thường. Điều này có nghĩa là các mẫu dị thường được lấy thường xuyên hơn.

Mô hình được huấn luyện bằng chiến lược đào tạo hai giai đoạn. Mạng của trình tạo/trích xuất đặc trưng lần đầu tiên được huấn luyện bằng cách chỉ sử dụng hàm mất mát tái cấu trúc *e* trong giai đoạn tiền đào tạo:

$$L_{ae}(\Theta_e) = \sum_i e_i \tag{7}$$

Trong giai đoạn này, FEN $\psi(\cdot; \Theta_e)$ được huấn luyện trước trên tất cả các mẫu chưa được gắn nhãn trong tập dữ liệu huấn luyện để học được bộ tham số cho bộ mã hóa ban đầu trong mạng Autoencoder. Mô hình được huấn luyện sau đó sẽ được sử dụng để đào tạo toàn bộ mạng. Hàm mất mất là căn bậc hai lỗi bình phương trung bình (RMSE).

Tiếp theo, toàn bộ mạng $\phi(\cdot; \Theta_e; \Theta_g)$ được huấn luyện với các tham số FEN được khởi tạo từ lần huấn luyện trước đó. Trong giai đoạn này, chúng tôi sử dụng tất cả dữ liệu chưa được gắn nhãn và một số điểm bất thường được gắn nhãn để tinh chỉnh toàn bộ mô hình được đào tạo dựa trên chiến lược mã hóa đặc trưng đã được huấn luyện trước đó.

4. Thực nghiệm

Trong phần này, chúng tôi trình bày mô tả về bộ dữ liệu, cài đặt thử nghiệm và các phương pháp đánh giá cho mô hình iFeaWAD trong việc phát hiện các cuộc tấn công IoT.

Bộ dữ liệu IoT với chín loại thiết bị đã được sử dụng, như được mô tả trong tiểu mục bên dưới.

4.1.Bộ dữ liệu

Tập dữ liệu N-BaIoT¹ (xem Bảng 1) lần được giới thiệu bởi Y. Meidan [15]. Bộ dữ liệu có các mẫu dữ liệu từ chín thiết bị IoT khác nhau. Các thiết bị này thuộc bốn loại: chuông cửa, bộ điều chỉnh nhiệt, màn hình và camera/webcam. Mỗi mẫu trong tập dữ liệu có 115 tính năng.

ID	Tên thiết bị	Benign	Gafgyt	Mirai
D1	Danmini Doorbell	49548	652100	316650
D2	Ecobee Thermostat	13113	512133	310630
D3	Ennio Doorbell	39100	316400	
D4	Philips B120N10 Baby Monitor	175240	312273	610714
D5	Provision PT 737E Camera	62154	330096	436010
D6	Provision PT 838 Camera	98514	309040	429337
D7	Samsung SNH 1011 N Webcam	52150	323072	

BẢNG 1. MÔ TẢ CHO BỘ DỮ LIỆU NBAIOT.

¹ https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/detection_of_IoT_botnet_attacks_N_BaIoT

D8	SimpleHome XCS7 1002 WHT Camera	46585	303223	513248
D9	SimpleHome XCS7 1003 WHT Camera	19528	316438	514860

Các thử nghiệm bao gồm hai kịch bản chính, phát hiện các cuộc tấn công đã biết vào tập dữ liệu đã được huấn luyện và phát hiện các cuộc tấn công chưa xác định từ bộ dữ liệu chưa biết trước. Trong kịch bản đầu tiên, chúng tôi đã đánh giá hiệu suất của mô hình của mình trên cả các cuộc tấn công Gafgyt và Mirai trên tất cả các thiết bị. Trong kịch bản thứ hai, chúng tôi đã loại các thiết bị D3-D7 khỏi đánh giá vì chúng thiếu dữ liệu về các cuộc tấn công Mirai.

4.2.Cài đặt tham số mô hình

Đầu tiên, chúng tôi thiết đặt AE trong FeaWAD và iFeaWAD với hai lớp như trong nghiên cứu ban đầu với kích thước của các lớp ẩn lần lượt là {500, 100}. Hàm kích hoạt được sử dụng là ReLU. Biên a_0 được đặt bằng 5, siêu tham số λ được đặt bằng 1, σ được đặt bằng 10e-5. Số lượng epochs là 100, batch size là 64 và tốc độ học là 1e-3.

Trong quá trình huấn luyện và kiểm tra, tập dữ liệu gốc được chia thành hai phần: một phần để huấn luyện và một phần để kiểm tra với 80% mẫu dùng để huấn luyện, 20% mẫu dùng để thử nghiệm.

4.3. Phương pháp đánh giá

Trong các thử nghiệm, chúng tôi sử dụng AUC (Area Under the Curve) và F1-score để đánh giá tính hiệu quả của iFeaWAD và các mô hình liên quan.

1) AUC: Đầu tiên, các giá trị tỷ lệ dương tính thực (True Positive Rate – TPR) và tỷ lệ dương tính giả (False Positive Rate – FPR) được tính toán bằng các công thức sau.

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}; FPR = \frac{FP}{FP + TN}$$

trong đó TP: True Positives, TN: True Negatives, FP: False Positives và FN: False Negatives.

Đường cong ROC (Receiver Operating Characteristic) hiển thị TPR so với FPR ở các ngưỡng khác nhau. AUC là toàn bộ diện tích bên dưới đường cong ROC. AUC đo lường hiệu suất ở tất cả các ngưỡng có thể.

2) F1-score: F1-score là thước đo độ chính xác của bài kiểm tra được sử dụng cho các bài toán phân loại nhị phân. F1-score có thể được tính như sau:

$$F_1 = \frac{2}{recall^{-1} + precision^{-1}}$$

F1-score là giá trị trung bình điều hòa của precision và recall, trong đó nó đạt giá trị tối ưu là 1 và giá trị kém nhất là 0. F1-score mang lại trọng số như nhau cho cả precision và recall.

5. Kết quả và thảo luận

Trong phần này chúng tôi trình bày và thảo luận về kết quả của quá trình thử nghiệm. Chúng tôi đã thu thập kết quả từ các thí nghiệm như đã giải thích ở phần 4.

Các thử nghiệm đã được triển khai bằng Python bằng cách sử dụng các thư viện Keras, Scikit-learn và Tensorflow. Chúng tôi đã chạy thử nghiệm trên máy tính có hệ điều hành Ubuntu 22.04 LTS, CPU Intel® Core i5 11400H, RAM 24 GB và GPU Geforce 3050.

5.1. Phát hiện bất thường

Chúng tôi báo cáo kết quả thử nghiệm cho mô hình đề xuất iFeaWAD và bốn thuật toán cạnh tranh khác (Isolation Forest – IF, Local Outlier Factor – LOF, One-class SVM – OCSVM, và thuật toán gốc FeaWAD). Kết quả đánh giá dựa trên hai tiêu chí là điểm AUC và điểm F1 như mô tả ở Mục 4.3.

Trong kịch bản này, các thử nghiệm được tiến hành như sau: chúng tôi huấn luyện và thử nghiệm trên cùng một kiểu tấn công. Bảng 2 trình bày kết quả thử nghiệm trên chín bộ dữ liệu.

Tỷ lệ dữ liệu ngoại lệ (tấn công) trên tổng dữ liệu được mô tả trong cột thể hiện ngoại lệ *Perc*. Các thí nghiệm được thực hiện với các tỷ lệ khác nhau, nhỏ nhất là 3,85% và lớn nhất là 18,03%. Tỷ lệ dữ liệu đa dạng giúp chúng ta có những đánh giá chính xác về kết quả kiểm tra

Việc so sánh phương pháp được đề xuất với bốn phương pháp phát hiện bất thường khác được trình bày trong Bảng 2. Như được hiển thị, so với các phương pháp IF, LOF và OCSVM, phương pháp được đề xuất hoạt động tốt hơn chúng trên tất cả các tập dữ liệu về cả điểm AUC và F1. Ví dụ, với tập dữ liệu D1 Mirai, iFeaWAD đã đạt được mức cải thiện lần lượt là 4% (OCSVM), 6% (IF) và 50% (LOF).

So với thuật toán FeaWAD, phương pháp đề xuất đã đạt được kết quả tốt nhất trên ba bộ dữ liệu dựa theo tiêu chí AUC và năm bộ dữ liệu dựa trên tiêu chí F1. Riêng trên các tập dữ liệu D2, D3, D5, D6, D7, D9, iFeaWAD vượt trội hơn FeaWAD. Với bộ dữ liệu D1 và D8, FeaWAD hoạt động tốt hơn. Chỉ với tập dữ liệu D4, FeaWAD và iFeaWAD cho kết quả tương đương.

Nhìn chung, phương pháp iFeaWAD được đề xuất cho kết quả trung bình tốt nhất trong số tất cả các phương pháp được thử nghiệm.

5.2. Phát hiện bất thường chưa xác định

Để kiểm tra hiệu suất của mô hình đề xuất cũng như đánh giá quá trình huấn luyện, chúng tôi cũng thực hiện xác thực chéo trên các tập dữ liệu chứa các kiểu dữ liệu tấn công không xác định. Cụ thể, chúng tôi thực hiện đào tạo về dữ liệu chứa cuộc tấn công Gafgyt, kiểm tra loại dữ liệu chứa cuộc tấn công Mirai và ngược lại. Kết quả thu được được trình bày ở TABLE 3. Kết quả cũng được đánh giá theo hai tiêu chí là điểm AUC và điểm F1.

Xét trường hợp khi huấn luyện trên Gafgyt và kiểm tra trên Mirai, thuật toán IF cho kết quả tốt hơn trên dữ liệu D4, D5 (theo tiêu chí AUC) và D4, D6 (theo tiêu chí F1) trong khi FeaWAD và iFeaWAD đạt kết quả tốt hơn trên các tập dữ liệu còn lại. Theo tiêu chí AUC, FeaWAD tốt hơn ở D1, D5, D6 và D9, trong khi iFeaWAD tốt hơn ở D2 và D9. Theo điểm F1, FeaWAD tốt hơn trên D5, D8, trong khi iFeaWAD tốt hơn trên các thiết bị D1, D2, D9.

Trong trường hợp huấn luyện trên Mirai và kiểm tra trên Gafgyt, iFeaWAD tốt hơn trong hầu hết các trường hợp (D2, D4, D5, D6 theo tiêu chí AUC và D2, D5, D6, D8, D9 theo tiêu chí F1). FeaWAD cho kết quả tốt hơn trên D1, D4, D9 (theo AUC) và D1, D4 (theo F1). Trong khi đó, chỉ có OCSVM cho kết quả tốt hơn ở một trường hợp là D8 (theo AUC).

Trong các nghiên cứu trước đây [6], chúng tôi có thực hiện biểu diễn dữ liệu, dữ liệu sạch và dữ liệu Gafgyt nằm khá gần nhau, trong khi Mirai ở xa hơn. Vì vậy, nếu việc huấn luyện được thực hiện trên dữ liệu sạch và Gafgyt, việc phát hiện Mirai sẽ dễ dàng hơn. Kết quả thử nghiệm trước đây của chúng tôi cũng cho thấy kết quả hạn chế khi đào tạo trên Mirai. Nhưng rõ ràng bằng cách sử dụng phiên bản cải tiến iFeaWAD thì kết quả đã tốt hơn. Điều này sẽ tăng

cường khả năng phát hiện sự bất thường khi triển khai trong thực tế, trong đó mô hình được huấn luyện dựa trên một lượng dữ liệu được gắn nhãn hạn chế cũng như một số ít các kiểu tấn công đã biết.

	Dat	Outlie	Outlie AUC					F1-score				
ID	a	r Perc	IF	LOF	OCSVM	FeaWA D	iFeaWAD	IF	LOF	OCSVM	FeaWAD	iFeaWAD
D	G	18.03	0.968	0.365	0.980	0.997	0.957	0.785	0.132	0.859	0.981	0.906
1	М	18.03	0.989	0.426	0.991	0.997	0.995	0.854	0.099	0.925	0.962	0.939
D	G	14.53	0.973	0.340	0.986	0.998	0.997	0.661	0.101	0.871	0.978	0.983
2	М	14.53	0.995	0.346	0.995	0.363	0.999	0.910	0.051	0.944	0.275	0.989
D 3	G	2.91	0.937	0.537	0.977	0.972	0.996	0.133	0.100	0.533	0.600	0.700
D	G	7.41	0.981	0.446	0.990	0.997	0.998	0.653	0.139	0.847	0.958	0.917
4	М	7.41	0.997	0.338	0.994	0.999	0.998	0.889	0.000	0.875	0.958	0.972
D	G	6.54	0.987	0.349	0.991	0.999	1.000	0.634	0.082	0.836	0.973	0.986
5	М	6.54	0.998	0.462	0.995	0.999	1.000	0.945	0.014	0.877	0.973	0.986
D	G	15.97	0.960	0.345	0.965	0.999	1.000	0.728	0.103	0.745	0.984	0.995
6	М	15.97	0.992	0.350	0.992	1.000	0.997	0.864	0.054	0.913	0.973	0.973
D 7	G	15.25	0.898	0.364	0.910	0.992	0.999	0.545	0.073	0.534	0.916	0.978
D	G	18.70	0.965	0.365	0.970	0.998	0.719	0.767	0.124	0.839	0.940	0.535
8	М	18.70	0.987	0.394	0.987	0.996	0.926	0.834	0.106	0.899	0.963	0.654
D	G	3.85	0.996	0.552	0.995	0.999	0.998	0.822	0.081	0.865	0.781	0.865
9	М	3.85	0.998	0.417	0.996	0.999	0.999	0.892	0.000	0.865	0.946	0.946

TABLE 2. OUTLIERS DETECTION (IN COLUMN DATA, G-GAFGYT, M-MIRAI).

TABLE 3. UNKNOWN OUTLIERS DETECTION.

IN COLUMN DATA, G/M MEANS TRAIN ON GAFGYT, TEST ON MIRAI AND VICE VERSA.

				AUC			F1-score					
ID	Data	Outlie r Perc	IF	LOF	OCSV M	FeaWA D	iFeaWA D	IF	LOF	OCSV M	FeaWA D	iFeaWA D
D	G/ M	18.03	0.99 5	0.47 6	0.990	0.996	0.977	0.94 2	0.38 4	0.900	0.957	0.966
1	M/ G	18.03	0.81 3	0.16 2	0.982	0.994	0.832	0.54 2	0.00 0	0.883	0.960	0.467
D	G/ M	14.53	0.99 7	0.47 3	0.992	0.949	0.998	0.96 3	0.39 7	0.900	0.901	0.979
2	M/ G	14.53	0.87 7	0.13 6	0.972	0.902	0.982	0.56 0	0.00 0	0.846	0.446	0.945
D	G/ M	7.41	0.99 7	0.69 5	0.995	0.636	0.934	0.91 6	0.63 5	0.878	0.605	0.630
4	M/ G	7.41	0.97 6	0.07 0	0.991	0.997	0.997	0.56 8	0.00 0	0.883	0.940	0.925
D 5	G/ M	6.54	0.99 7	0.61 0	0.996	0.998	0.993	0.92 0	0.55 7	0.866	0.923	0.891

	M/ G	6.54	0.99 3	0.05 5	0.991	0.994	0.997	0.66 1	0.00 0	0.863	0.623	0.931
D 6	G/ M	15.97	0.99 7	0.46 2	0.991	0.999	0.917	0.94 9	0.39 2	0.907	0.981	0.906
	M/ G	15.97	0.52 6	0.16 2	0.981	0.646	0.998	0.50 6	0.00 0	0.859	0.424	0.973
D	G/ M	18.70	0.98 5	0.48 0	0.989	0.983	0.516	0.88 5	0.38 2	0.902	0.944	0.897
8	M/ G	18.70	0.91 6	0.17 0	0.982	0.663	0.802	0.59 6	0.00 0	0.888	0.860	0.894
D	G/ M	3.85	0.99 8	0.68 6	0.997	0.998	0.998	0.88 3	0.62 5	0.835	0.895	0.915
9	M/ G	3.85	0.98 0	0.03	0.993	0.994	0.992	0.56 1	0.00 0	0.800	0.841	0.885

5.3. Các hạn chế

Mô hình được đề xuất của chúng tôi có nhiều lợi ích cho việc biểu diễn dữ liệu ẩn của của bộ dữ liệu IoT, nhưng chúng cũng có một số hạn chế. Một hạn chế là chúng ta cần có đủ dữ liệu để huấn luyện mô hình một cách hiệu quả. Một hạn chế khác là các mô hình mất nhiều thời gian để chạy hơn các phương pháp đơn giản hơn.

Từ kết quả thử nghiệm, thuật toán LOF nhanh hơn tất cả các thuật toán khác (nhưng nó cũng cho kết quả phát hiện thấp nhất). Thời gian đào tạo và kiểm tra của FeaWAD và iFeaWAD chậm hơn LOF và gần như nhau. FeaWAD nhanh hơn iFeaWAD một chút nhưng không đáng kể.

6. Kết luận và hướng phát triển

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất phương pháp cải tiến iFeaWAD cho học bán giám sát, được sử dụng để phát hiện sự bất thường của mạng IoT. Chúng tôi đã giới thiệu một cải tiến cho chiến lược mã hóa mới giúp tăng khả năng phát hiện bất thường trong bộ dữ liệu IoT. Mô hình đề xuất sau đó được thử nghiệm trên các thiết bị khác nhau, với các tỷ lệ ngoại lệ khác nhau. Kết quả thử nghiệm cho thấy phương pháp cải tiến của chúng tôi đạt được kết quả tốt hơn phương pháp ban đầu cũng như các phương pháp phát hiện bất thường phổ biến trước đây.

Trong tương lai, chúng tôi dự định sử dụng các phương pháp tinh chỉnh (regularization) và kết hợp (bagging) để phát hiện các đặc trưng ẩn hữu ích của dữ liệu và cải thiện trình sinh điểm bất thường. Hơn nữa, chúng tôi sẽ thử nghiệm mô hình của mình trên các tập dữ liệu và dạng đối tượng mới để đánh giá hiệu suất và độ ổn định của nó.

Tài liệu tham khảo

- A. E. Omolara *et al.*, 'The internet of things security: A survey encompassing unexplored areas and new insights', *Comput Secur*, vol. 112, p. 102494, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.COSE.2021.102494.
- J. Liu *et al.*, 'Deep anomaly detection in packet payload', *Neurocomputing*, vol. 485, pp. 205–218, May 2022, doi: 10.1016/J.NEUCOM.2021.01.146.
- Y. Zhou, X. Song, Y. Zhang, F. Liu, C. Zhu, and L. Liu, 'Feature Encoding with AutoEncoders for Weakly-supervised Anomaly Detection', *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*, vol. 33, no. 6, pp. 2454–2465, May 2021, doi: 10.1109/TNNLS.2021.3086137.

- [4] C. Qiu, T. Pfrommer, M. Kloft, S. Mandt, and M. Rudolph, 'Neural Transformation Learning for Deep Anomaly Detection Beyond Images'. PMLR, pp. 8703–8714, Jul. 01, 2021. Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: https://proceedings.mlr.press/v139/qiu21a.html
- [5] V. L. Cao, M. Nicolau, and J. McDermott, 'Learning Neural Representations for Network Anomaly Detection', *IEEE Trans Cybern*, vol. 49, no. 8, pp. 3074–3087, Aug. 2019, doi: 10.1109/TCYB.2018.2838668.
- [6] H. N. Nguyen, N. N. Tran, T. H. Hoang, and V. L. Cao, 'Denoising Latent Representation with SOMs for Unsupervised IoT Malware Detection', *SN Computer Science 2022 3:6*, vol. 3, no. 6, pp. 1–15, Sep. 2022, doi: 10.1007/S42979-022-01344-1.
- [7] G. Pang, C. Shen, and A. Van Den Hengel, 'Deep anomaly detection with deviation networks', Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 353–362, Jul. 2019, doi: 10.1145/3292500.3330871.
- [8] L. Ruff et al., 'DEEP SEMI-SUPERVISED ANOMALY DETECTION', in 8th International Conference on Learning Representations, ICLR 2020, 2020.
- [9] T. Shenkar and L. Wolf, 'ANOMALY DETECTION FOR TABULAR DATA WITH INTERNAL CONTRASTIVE LEARNING', in *ICLR 2022 - 10th International Conference on Learning Representations*, 2022.
- [10] B. Zong et al., 'Deep autoencoding Gaussian mixture model for unsupervised anomaly detection', in 6th International Conference on Learning Representations, ICLR 2018 -Conference Track Proceedings, 2018.
- [11] G. Pang, L. Chen, L. Cao, and H. Liu, 'Learning representations of ultrahigh-dimensional data for random distance-based outlier detection', *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 2041–2050, Jul. 2018, doi: 10.1145/3219819.3220042.
- C. Zhou and R. C. Paffenroth, 'Anomaly detection with robust deep autoencoders', *Proceedings* of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, vol. Part F129685, pp. 665–674, Aug. 2017, doi: 10.1145/3097983.3098052.
- [13] H. Xu et al., 'Unsupervised Anomaly Detection via Variational Auto-Encoder for Seasonal KPIs in Web Applications', The Web Conference 2018 - Proceedings of the World Wide Web Conference, WWW 2018, pp. 187–196, Apr. 2018, doi: 10.1145/3178876.3185996.
- [14] L. Ruff et al., 'Deep one-class classification', in 35th International Conference on Machine Learning, ICML 2018, 2018.
- [15] Y. Meidan *et al.*, 'N-baiot—network-based detection of iot botnet attacks using deep autoencoders', *IEEE Pervasive Comput*, vol. 17, no. 3, pp. 12–22, 2018.

A novel feature encoding method in semi-supervised learning to enhance anomaly detection in IoT networks

Abstract

Malware detection is a critical challenge in the current era, especially for IoT devices. Previous studies have applied analytic techniques to reduce data size and extract valuable information. However, most of these studies count on a considerable quantity of outliers to perform anomaly detection. In this paper, we propose an enhanced method (named iFeaWAD) that improves the data encoding strategy based on the FeaWAD network. These models require only a small fraction of

anomalies for training. We evaluate the iFeaWAD method on the N-BaIoT dataset with various test scenarios for detecting known attacks as well as unknown future attacks. The experimental results demonstrate that the iFeaWAD method outperforms the original model FeaWAD and other popular anomaly detection methods such as Isolation Forest, Local Outlier Factor, and One-class Support Vector Machine. This indicates that the implementation of the enhanced model in IoT networks is entirely viable.

Keywords: AutoEncoder, semi-supervised, latent representation, IoT, malware detection.

1262

Nghiên cứu kỹ thuật tạo ảnh tăng cường để phát hiện bất thường trên phổi từ ảnh X-quang lồng ngực

Nguyễn Văn Ngọc, Phan Thị Hải Hồng

Viện Công nghệ thông tin và Truyền thông, Học viện Kỹ thuật quân sự Email: ngoc230490@gmail.com

Tóm tắt

Phát hiện bất thường trên X-quang ngực đóng một vai trò quan trọng trong chẩn đoán và điều trị sớm các bệnh phổi khác nhau. Kỹ thuật học sâu đã chứng minh hiệu quả phát hiện bất thường trên hình ảnh X-quang ngực. Các bộ dữ liệu được sử dụng cho bài toán này là một số lượng lớn hình ảnh X-quang ngực, bao gồm cả trường hợp bình thường và bất thường. Thực tế, số lượng ảnh X-quang bất thường ít hơn ảnh bình thường khá nhiều do việc thu thập dữ liệu, gắn nhãn được thực hiện thủ công bởi các chuyên gia. Bài báo này tích hợp phương pháp cải thiện độ chính xác phát hiện bất thường trên ảnh X-quang bằng cách tăng cường dữ liệu ảnh bất thường dựa trên việc biến đổi ảnh bình thường bằng phương pháp CutPaste, biến đổi Gaussian Blur và cải tiến mô hình sẽ đem lại hiệu quả cao hơn so với các phương pháp trước đây. Kết quả thử nghiệm trên hai tập dữ liệu chuẩn Zhanglab và Chexpert chứng minh tính hiệu quả của phương pháp được sử dụng trong việc phát hiện các dị thường trên X-quang ngực. Mô hình đạt độ chính xác, độ nhạy và độ đặc hiệu cao, vượt trội so với các phương pháp truyền thống. Hơn nữa, phương pháp này cho thấy sự ổn định đối với những thay đổi về chất lượng hình ảnh, nhiễu và các kiểu bất thường khác nhau [1]. *Từ khóa: Phát hiện bất thường, X-quang, AnatPaste, Mạng tích chập*.

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, chụp X-quang vẫn là phương pháp phổ biến để xác định nhiều loại bệnh liên quan đến xương khớp, tim, phổi. Hình ảnh X-quang cung cấp thông tin chi tiết về cấu trúc nội tạng và xương của bệnh nhân, phát hiện sớm các biểu hiện bất thường trên hình ảnh này giúp xác định các bệnh lý như ung thư, viêm nhiễm, hoặc các vấn đề về xương khớp ngay từ giai đoạn đầu. Việc phát hiện bất thường trên ảnh X-quang giúp bác sĩ xác định mức độ và giai đoạn của bệnh tật, từ đó điều chỉnh phác đồ điều trị để đem lại hiệu quả tốt nhất cho sức khỏe của bệnh nhân. Vì vậy, tìm kiếm một giải pháp hỗ trợ phát hiện bất thường trên ảnh X-quang luôn là vấn đề được quan tâm.

Để phát hiện bất thường một cách chính xác, cần phải có một lượng lớn ảnh bình thường và bất thường để mô hình có thể học được tốt nhất [2]. Tuy nhiên, việc gắn nhãn thủ công lại tốn rất nhiều công sức và thời gian, hơn nữa phải được thực hiện bằng các chuyên gia [3]. Vì vậy, phương pháp học tự giám sát (Self-supervised learning - SSL) trở nên được quan tâm hơn vì chỉ cần dữ liệu đầu vào là loại bình thường, không cần gắn nhãn thủ công, nhờ đó giúp tiết kiệm chi phí cũng như thời gian.

Việc xác định các bệnh mà hình ảnh về bệnh đó không được sử dụng trong quá trình huấn luyện mô hình cũng là một vấn đề lớn. Ngoài ra, độ chính xác của dự đoán trở nên thấp khi có ít dữ liệu, như trong trường hợp các bệnh hiếm gặp [4]. Do đó, mục tiêu của chúng tôi là giải quyết vấn đề thiếu dữ liệu và tạo ra một mô hình có độ chính xác chẩn đoán cao trong chụp X-quang lồng ngực.

Mô hình phát hiện bất thường không giám sát (UAD) trở nên có hiệu quả trong các vấn đề về gắn nhãn và kích thước tập dữ liệu nhỏ. Mô hình này chỉ học các hình ảnh bình thường và xác định ngưỡng đặc trưng. Hình ảnh thể hiện các đặc điểm vượt quá ngưỡng được phân

loại là bất thường. Chúng ta có thể dễ dàng thu thập được những hình ảnh bình thường thông qua khám bệnh. Hơn nữa, mô hình UAD có thể phát hiện các bệnh hiếm gặp chưa từng thấy trong quá trình đào tạo mô hình. Vì những lý do này, các nghiên cứu sâu rộng đã được tiến hành trên UAD [5][6]. Gần đây, các mô hình sử dụng deep learning để trích xuất đặc trưng và các mô hình sử dụng mạng encoder- decoder như các biến thể của autoencoder (VAE) [7], [8] và mạng generative adversarial (GAN) [9]-[13] đã được sử dụng phổ biến.

So với các mô hình sử dụng bộ dữ liệu phân loại hình ảnh tự nhiên như ImageNet [25], một số mô hình dựa trên học tự giám sát đã đạt được độ chính xác tương đương với việc học có giám sát thông thường [14]-[16]. Một số mô hình học sâu dựa trên học tự giám sát đã được đề xuất trong lĩnh vực y học [13], [17]-[19]. Tuy nhiên, những mô hình này sử dụng học tự giám sát giống như hình ảnh trong lĩnh vực tự nhiên và bỏ qua các đặc trưng trong y học. Ví dụ: một số phương pháp dựa trên học tự giám sát phổ biến tạo ra hình ảnh bất thường bằng cách dán ngẫu nhiên [6], [20] hoặc che [13], [16]. Các vùng bất thường của những phương pháp này được tạo ra có ranh giới rõ ràng với các vùng bình thường và xảy ra ở những nơi chúng không nên xuất hiện về mặt giải phẫu. Những ảnh tăng cường này không đủ để các mô hình tìm hiểu các đặc điểm của bất thường trên thực tế. Một số bệnh về phổi như ung thư phổi và viêm phổi được phát hiện bằng chụp X-quang ngực. Những bệnh này gây ra các bóng mờ bất thường ở vùng phổi và hiếm khi ở vùng bụng hoặc nền ảnh (bên ngoài cơ thể). Do đó, việc thiết lập mô hình dựa trên học tự giám sát để tìm hiểu các đặc điểm đặc trưng từ hình ảnh y học là cần thiết để phát hiện sự bất thường một cách chính xác.

Chúng tôi áp dụng một phương pháp mới dựa trên học tự giám sát, ảnh giải phẫu tăng cường – AnatPaste [1], bao gồm phân đoạn phổi để khai thác thông tin giải phẫu. AnatPaste sử dụng hình ảnh bình thường và tạo ra hình ảnh thực giống như dị thường. Tính năng này hỗ trợ các mô hình học sâu nhận ra sự bất thường.



Hình 1: So sánh giữa AnatPaste và phương pháp tăng cường khác

Các phương pháp hiện tại tạo ra các dị thường cả ở những vùng không thể xảy ra. Tuy nhiên, các dị thường do AnatPaste [1] tạo ra có vẻ như thật và chỉ giới hạn ở vùng phổi. AnatPaste không yêu cầu cấu trúc của mô hình deep learning cụ thể; do đó, nó sẽ giúp các mô hình UAD hiện tại tăng cường độ chính xác. Ngoài ra, nếu thực hiện phân đoạn thích hợp, AnatPaste có thể được mở rộng sang các phương thức hình ảnh khác như CT, MRI. AnatPaste [1] có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong phân tích hình ảnh y học.

Để đánh giá phương pháp phát hiện bất thường của chúng tôi, chúng tôi sử dụng mô hình phân loại một lớp đơn giản được đào tạo bằng AnatPaste [1]. Mô hình UAD được xác thực bằng cách sử dụng hai bộ dữ liệu X-quang ngực chuẩn là Zhanglab và CheXpert. Nó thể hiện độ chính xác phát hiện bất thường cao hơn đáng kể trên tất cả các bộ dữ liệu so với các mô hình UAD hiện có. Những đóng góp của nghiên cứu của chúng tôi được tóm tắt như sau:

- AnatPaste [1] là phương pháp tăng cường đầu tiên sử dụng phân vùng (Segmentation) hình ảnh trong y học.

- AnatPaste [1] có thể được áp dụng cho các hình ảnh về cơ quan, bộ phận khác trong cơ thể bằng cách thiết lập các phương pháp phân vùng.

- Mô hình hoạt động tốt nhất trong việc phát hiện sự bất thường nhiệm vụ trên hai bộ dữ liệu X-quang lồng ngực.

2. Phương pháp

2.1. Tổng quan về kiến trúc



Hình 2: Tổng quan về phương pháp tăng cường AnatPaste []

Hình 2 minh họa ảnh tăng cường AnatPaste [1]. Một mảnh (X_{crop}) được cắt ngẫu nhiên từ ảnh X-quang ngực bình thường (X_{normal}) và dán ngẫu nhiên vào một vị trí khác (X_{paste}). Đồng thời, một mặt nạ giải phẫu (X_{mask}) được tạo ra bằng cách sử dụng phép nhân theo phần tử giữa vùng phổi (X_{seg}) và vùng mờ (X_{blur}). Sau đó, X_{normal} và X_{paste} được biến đổi bằng cách sử dụng X_{mask} rồi cộng với nhau. Vùng dị thường chỉ xảy ra ở vùng phổi trong hình ảnh tăng cường.

2.2. Xác định vùng phổi

AnatPaste [1] là một phương pháp tăng cường giống với cấu trúc giải phẫu. Hình 2 mô tả phương pháp tạo ảnh tăng cường AnatPaste [1]. Mô hình của chúng tôi trước tiên sử dụng

AnatPaste để huấn luyện mô hình mạng thần kinh tích chập (CNN). Mô hình được huấn luyện như một công cụ trích xuất đặc trưng để phát hiện các điểm bất thường.

Bước đầu tiên cần xác định vùng phổi, CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) [21] được sử dụng để chuẩn hóa ảnh chụp X-quang ngực bình thường, làm đồng đều lược đồ histogram ảnh và tăng cường độ tương phản trong các vùng cục bộ. Mục đích là làm đồng nhất cấp độ sáng tại các điểm ảnh khác nhau trong ảnh. Ảnh chuẩn hóa sau đó được nhị phân hóa bằng cách sử dụng phương pháp Otsu [22]. Phương pháp này tự động tính toán một ngưỡng tối ưu để phân chia ảnh thành vùng nền và vùng phổi. Sau khi tách được vùng phổi, mô hình tiếp tục sử dụng các biến đổi hình thái, như co và giãn để loại bỏ nhiễu từ ảnh nhị phân, tạo ra một phân vùng sạch hơn. Các vùng bao quanh không cần thiết cho việc phân vùng phổi được định danh là X_{seg} trong Hình 2.

2.3. Tạo vùng bất thường

Tiếp theo, một miếng X_{crop} được tạo ra bằng cách cắt ngẫu nhiên từ ảnh gốc X_{normal} . Kích thước của Xcrop giống như ảnh gốc, và vùng ngoại trừ vùng được cắt được giá trị là không. Miếng này sau đó được dán ngẫu nhiên ở một nơi khác (X_{paste}). Sau đó, một hình oval hoặc hình chữ nhật được vẽ ngẫu nhiên ở cùng một vị trí bên trong X_{paste} (X_{blur}). Biên của hình được làm mờ bằng Gaussian blur để mô phỏng sự bất thường thực tế. Vị trí này được xác định dựa trên các tiêu chí là một phần của hình phải nằm trong vùng phổi và kích thước của hình phải nhỏ hơn kích thước của X_{paste} .

Một mặt nạ X_{mask} được tạo ra bằng cách tính tích vô hướng giữa vùng phổi được phân đoạn và vùng bị làm mờ . Sau đó, X_{normal} và X_{paste} được biến đổi bằng cách sử dụng X_{mask} rồi cộng với nhau. Giá trị pixel của vùng bị làm mờ và bán kính làm mờ Gaussian được lấy ngẫu nhiên từ các phân bố đồng nhất tương ứng trong khoảng [0.59, 1] và [0,15].

Vùng dị thường được tạo ra theo công thức:

$$X_{anomaly} = X_{normal} * (1 - X_{mask}) + X_{paste} * X_{mask}$$
(1)

Hàm loss được tính theo công thức:

$$L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \{ \text{Lce}(f(X_i), 0) + \text{Lce}(\text{Aug}(X_i), 1) \}$$
(2)

Với X_i là ảnh thứ i được đưa vào, ảnh normal được đưa vào hàm f và gắn nhãn là 0, ảnh tăng cường được đưa vào hàm Aug và được gắn nhãn là 1. Một mạng CNN được sử dụng để dự đoán và đưa ra cross entropy loss.

Dưới đây là mô tả của thuật toán phân đoạn phổi (Lung segmentation):

Đầu vào: Ảnh chụp X-quang ngực bình thường. Khởi tạo ngưỡng t để xem xét làm ngưỡng để phân vùng phổi.

Đầu ra: Ảnh phân đoạn phổi được nhị phân.

Bước 1: Chuẩn hóa lược đồ histogram ảnh bằng cách sử dụng CLAHE.

Bước 2: Nhị phân hóa ảnh đã chuẩn hóa histogram bằng cách sử dụng ngưỡng của Otsu.

Bước 3: Áp dụng morphological opening để loại bỏ nhiễu.

Bước 4: Loại bỏ các đối tượng ngoài biên ảnh.

Bước 5: Áp dụng morphological dilation để bao xác định khu vực phổi: Xseg.

Bước 6: Tính toán tập dữ liệu điểm $\{R_1...R_K\}$ bằng cách sử dụng connectedcomponents labeling. Mỗi tập có cùng nhãn.

end if

end for

Bước 8: Trả về X_{seg} là ảnh đã được phân đoạn phổi.

Thuật toán này áp dụng một loạt các bước như chuẩn hóa, nhị phân hóa, loại bỏ nhiễu và mở rộng để tạo ra ảnh phân đoạn phổi nhị phân từ ảnh chụp X-quang ngực bình thường. Các ngưỡng và tham số có thể được điều chỉnh để phù hợp với loại dữ liệu và yêu cầu cụ thể.

2.4. Phương pháp xác định bất thường

Chúng tôi sử dụng kernel density estimator (KDE) [23] để tính toán điểm số bất thường [19]. Cho một tập đặc trưng $D = \{Z_i\}_{i=1}^N$ do mạng CNN trích xuất ra, KDE được tính theo công thức:

$$A(z) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} K(Z - Z_i)$$

Với

$$K(z) \propto \exp(-\frac{||z||^2}{2})$$

Điểm số bất thường nằm trong đoạn [0,1] với 0 là hoàn toàn bình thường và 1 là hoàn toàn bất thường. Một ngưỡng được đưa ra để xác định ảnh là bình thường hay bất thường.

3. Kết quả thực nghiệm

3.1. Bộ dữ liệu

Chúng tôi sử dụng hai bộ dữ liệu chuẩn là Zhanglab và CheXepert. Các ảnh trong hai bộ dữ liệu được điều chỉnh kích thước về 256*256 pixel.

a. Zhanglab dataset:

Bộ dữ liệu này bao gồm 6480 ảnh X-quang ngực chính diện. Mỗi hình ảnh được dán nhãn là bình thường hoặc viêm phổi (bất thường). Bộ dữ liệu này chính thức được chia thành tập huấn luyện (1341 hình ảnh bình thường và 3883 hình ảnh viêm phổi) và tập kiểm tra (234 hình ảnh bình thường và 390 hình ảnh viêm phổi) trước. Chúng tôi chọn ngẫu nhiên 200 hình ảnh (100 từ bình thường và 100 từ viêm phổi) từ dữ liệu huấn luyện để xác định lựa chọn mô hình và thiết lập ngưỡng.

b. CheXpert dataset:

Bộ dữ liệu này bao gồm 224.316 ảnh chụp X-quang ngực từ 65.240 bệnh nhân. Các ảnh chụp X-quang được gắn nhãn 14 loại bệnh lý. Do hạn chế về phần cứng nên chúng tôi sử dụng tổng cộng 1.466 hình ảnh bình thường được sử dụng để huấn luyện, tập trung vào các

1266

bệnh về tràn dịch màng phổi, tim to, đông đặc phổi, phù nề và xẹp phổi. Sử dụng 50 ảnh bình thường và 50 hình ảnh bất thường cho tập validation. Tập test gồm 300 ảnh bình thường và 300 ảnh bất thường được chọn ngẫu nhiên từ tập dữ liệu gốc và chọn ít nhất 50 hình ảnh cho mỗi bênh.

3.2. Cài đặt môi trường thực nghiệm

Mô hình sử dụng bộ phân loại một lớp với ResNet18 để trích xuất đặc trưng với ba lớp fully connected. Batch size là 64. Sử dụng hàm tối ưu SGD, với learning rate, momentum, and weight decay lần lượt là 0.03, 0.9 và 0.00003. Điều chỉnh tốc độ học (learning rate) trong quá trình huấn luyện dựa trên hàm cosine. Mô hình được huấn luyện 256 epochs và bộ trọng số được lưu lại khi AUC cho tập dữ liệu validation là cao nhất và được sử dụng cho tập test. Sử dụng framework được xây dựng trên PyTorch với GPU NVIDIA GTX 1660s 6 GB.

	Zhanglab			CheXpert			
Models	AUC(%)	ACC(%)	F1(%)	AUC(%)	ACC(%)	F1(%)	
fAnoGAN*[9]	62.4±1.9	65.6±1.9	74.4±1.9	60.3±0.7	57.1±1.2	61.5± 3.3	
Ganomaly*[24]	75.1±1.2	66.8±5.7	78.5±3.0	61.7±4.6	56.5±4.0	46.5±20.6	
CutPaste*[20]	76.8±2.9	75.2±2.4	81.4±1.6	58.0±1.3	52.8±2.0	64.5±1.6	
SQUID [12]	87.6±1.5	80.3±1.3	84.7±0.8	78.1±5.1	71.9±3.8	75.9±5.7	
SALAD [13]				82.7	75.9	82.1	
AnatPaste [1]	88.7±1.3	82.0±1.9	85.2±1.1	76.0±1.8	65.4±3.8	71.2±1.4	

3.3.Kết quả

Bảng 1: Kết quả thực nghiệm của AnatPaste so với các mô hình khác.

*: Sử dụng mô hình để chạy với hai bộ dữ liệu.

Bảng 1 so sánh AUC, độ chính xác, và điểm F1 trên ba bộ dữ liệu. AnatPaste thể hiện những số liệu tốt hơn so với các phương pháp hiện tại. Trên tập dữ liệu Zhanglab, AnatPaste đạt AUC cao hơn 11,9% so với CutPaste thông thường (76,8%). AUC của SALAD và SQUID, sử dụng cùng một tập dữ liệu thử nghiệm để phát hiện sự bất thường, lần lượt là 82,7% và 87,6%. AnatPaste cũng cao hơn các phương pháp này về độ chính xác cũng như điểm F1. Hơn nữa, AnatPaste thể hiện AUC cao hơn 18,0% và 11,3% so với thuật toán CutPaste trên tập dữ liệu Chexpert, cho thấy phương pháp của chúng tôi thể hiện độ chính xác cao hơn so với các mô hình thông thường.

Tuy nhiên đối với tập dữ liệu Chexpert, AnatPaste có các điểm số không cao bằng SQUID và SALAD, điều này có thể là do bộ dữ liệu sử dụng không giống nhau. Chúng tôi sẽ tiếp tục thử nghiệm trên bộ dữ liệu do SQUID đưa ra và cải tiến mô hình.

4. Kết luận

Chúng tôi đã áp dụng một phương pháp dựa trên học tự giám sát mới để phát hiện các bất thường trên X-quang ngực. Phương pháp áp dụng các giải pháp tăng cường sao cho các vùng bất thường được giới hạn ở một cơ quan duy nhất, do đó cho phép mô hình nhận ra các điểm bất thường giống trong cấu trúc ảnh X-quang thật. Kết quả thử nghiệm trên hai bộ dữ liệu chuẩn về chụp X-quang ngực đã chứng minh rằng phương pháp sử dụng vượt trội hơn

các phương pháp phát hiện bất thường không giám sát hiện có. AnatPaste có khả năng cải thiện hiệu suất của mô hình học sâu trong nhiệm vụ phát hiện bất thường trên phổi của ảnh Xquang lồng ngực. Chúng tôi sẽ tiếp tục nghiên cứu, đề xuất các phương pháp dựa trên các thuật toán sinh nhiễu khác để đạt được hiệu quả cao hơn trên các tập dữ liệu.

Tài liệu tham khảo

- 1. Sato, Junya, et al. "Anatomy-aware self-supervised learning for anomaly detection in chest radiographs." *iScience* (2023).
- 2. Irvin, Jeremy, et al. "Chexpert: A large chest radiograph dataset with uncertainty labels and expert comparison." *Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence*. Vol. 33. No. 01. 2019.
- 3. You, Chenyu, et al. "Simcvd: Simple contrastive voxel-wise representation distillation for semi-supervised medical image segmentation." *IEEE Transactions on Medical Imaging* 41.9 (2022): 2228-2237.
- 4. Cho, Junghwan, et al. "How much data is needed to train a medical image deep learning system to achieve necessary high accuracy?." *arXiv preprint arXiv:1511.06348* (2015).
- 5. Zhang, Jianpeng, et al. "Viral pneumonia screening on chest X-rays using confidenceaware anomaly detection." *IEEE transactions on medical imaging* 40.3 (2020): 879-890.
- 6. Tian, Yu, et al. "Self-supervised multi-class pre-training for unsupervised anomaly detection and segmentation in medical images." *arXiv preprint arXiv:2109.01303* (2021).
- 7. Baur, Christoph, et al. "Autoencoders for unsupervised anomaly segmentation in brain MR images: a comparative study." *Medical Image Analysis* 69 (2021): 101952.
- 8. Zhang, Haibo, et al. "Unsupervised deep anomaly detection for medical images using an improved adversarial autoencoder." *Journal of Digital Imaging* 35.2 (2022): 153-161.
- 9. Schlegl, Thomas, et al. "f-AnoGAN: Fast unsupervised anomaly detection with generative adversarial networks." *Medical image analysis* 54 (2019): 30-44.
- 10. Schlegl, Thomas, et al. "Unsupervised anomaly detection with generative adversarial networks to guide marker discovery." *International conference on information processing in medical imaging*. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- 11. Bhatt, Nitish, et al. "Unsupervised detection of lung nodules in chest radiography using generative adversarial networks." 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). IEEE, 2021.
- 12. Xiang, Tiange, et al. "In-painting radiography images for unsupervised anomaly detection." *arXiv preprint arXiv:2111.13495* (2021).
- Zhao, He, et al. "Anomaly detection for medical images using self-supervised and translation-consistent features." *IEEE Transactions on Medical Imaging* 40.12 (2021): 3641-3651.
- 14. He, Kaiming, et al. "Momentum contrast for unsupervised visual representation learning." *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*. 2020.

- 15. Chen, Ting, et al. "A simple framework for contrastive learning of visual representations." *International conference on machine learning*. PMLR, 2020.
- 16. He, Kaiming, et al. "Masked autoencoders are scalable vision learners." *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*. 2022.
- 17. Azizi, Shekoofeh, et al. "Big self-supervised models advance medical image classification." *Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision*. 2021.
- 18. Sowrirajan, Hari, et al. "Moco pretraining improves representation and transferability of chest x-ray models." *Medical Imaging with Deep Learning*. PMLR, 2021.
- Tian, Yu, et al. "Constrained contrastive distribution learning for unsupervised anomaly detection and localisation in medical images." *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention–MICCAI 2021: 24th International Conference, Strasbourg, France, September 27–October 1, 2021, Proceedings, Part V 24.* Springer International Publishing, 2021.
- 20. Li, Chun-Liang, et al. "Cutpaste: Self-supervised learning for anomaly detection and localization." *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*. 2021.
- 21. Zuiderveld, Karel. "Contrast limited adaptive histogram equalization." *Graphics* gems (1994): 474-485.
- 22. Otsu, Nobuyuki. "A threshold selection method from gray-level histograms." *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics* 9.1 (1979): 62-66.
- 23. Parzen, Emanuel. "On estimation of a probability density function and mode." *The annals of mathematical statistics* 33.3 (1962): 1065-1076.
- Akcay, Samet, Amir Atapour-Abarghouei, and Toby P. Breckon. "Ganomaly: Semisupervised anomaly detection via adversarial training." *Computer Vision–ACCV 2018:* 14th Asian Conference on Computer Vision, Perth, Australia, December 2–6, 2018, Revised Selected Papers, Part III 14. Springer International Publishing, 2019.
- 25. Deng, Jia, et al. "Imagenet: A large-scale hierarchical image database." 2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Ieee, 2009.

Creating augmented images to detect lung abnormalities from chest X-rays

Abstract:

Detecting abnormalities on chest X-rays plays a crucial role in diagnosing and treating various lung diseases early. Deep learning techniques have proven effective in abnormality detection on chest X-ray images. The datasets used for this task consist of a large number of chest X-ray images, including both normal and abnormal cases. In fact, the number of abnormal X-ray images is much fewer than normal images due to the manual data collection and labeling by experts. This paper integrates a method to improve the accuracy of abnormality detection on X-ray images by augmenting abnormal image data through transformations of normal images using the CutPaste method, Gaussian Blur transformation, and enhanced model, which yields higher effectiveness compared to previous methods. Experimental results on two standard datasets, Zhanglab and Chexpert, demonstrate the effectiveness of the method in detecting anomalies on chest X-rays. The model achieves high accuracy, sensitivity, and specificity, outperforming traditional methods. Moreover, this method exhibits stability to changes in image quality, noise, and various types of abnormalities.

Keyword: Abnormality Detection, Chest X-ray, AnatPaste, Convolutional Neural Network.

Xây dựng tập dữ liệu giả bất thường cho bài toán phát hiện bất thường trong video dựa trên kỹ thuật lựa chọn các KEYFRAMES

Lê Anh

Hệ QLHV sau đại học, Học viện KTQS

Tóm lược

Trong những năm gần đây, bải toán phát hiện bất thường trong video nhận được nhiều sự chú ý của cộng đồng nghiên cứu bởi tính ứng dụng của nó trong các hệ thống giám sát tự động thông qua camera. Tuy nhiên, có hai khó khăn chính đó là: sự khan hiếm dữ liệu bất thường, và tính mập mờ giữa các sự kiện bình thường và bất thường, nên giải bài toán này là một thách thức lớn. Một cách tiếp cận phổ biến hiện nay là phát triển các mô hình học sâu có khả năng học được các đặc trưng với đầu vào là các khung hình bình thường trong tập huấn luyện. Kết quả là mô hình đã học sẽ sinh ra các sai số nhỏ đối với các khung hình bình thường vẫn có thể không được mạng phát hiện ra bởi vì sự đa dạng của các sự kiện bất thường và tính khái quát hóa cao của mạng. Để giải quyết vấn đề trên, chúng tôi đề xuất một phương pháp xây dựng tập dữ liệu giả bất thường mới dựa trên kỹ thuật lựa chọn các keyframes, tập dữ liệu này cùng tập dữ liệu gốc (chỉ gồm các mẫu bình thường) sẽ là đầu vào để huấn luyện mạng. Đồng thời, chúng tôi cũng đề xuất một hàm mất mát mới để tăng khả năng phát hiện đúng của mạng nếu các khung hình đầu vào chứa các sự kiện bất thường. Các thử nghiệm được tiến hành trên các tập dữ liệu video ped2, avenue, shanghaitech đã cho một số kết quả khả quan.

Từ khóa: Video Anomaly Detection (VAD), autoencoder, pseudo-anomaly synthesizer.

1. Giới thiệu

Để tăng cường an ninh tại các khu vực công cộng, nhiều camera giám sát an ninh đã được đặt ở vị trí quan trọng, chúng đóng vai trò hỗ trợ các cơ quan chức năng trong việc nhận biết và ứng phó với các hành vi bất thường như: xâm phạm, đánh nhau, bạo động hoặc vi phạm pháp luật. Nhằm hỗ trợ cho con người trong công việc giám sát, các hệ thống tự động phát hiện bất thường đã được phát triển. Các phương pháp phát hiện bất thường trong video (Video Anomaly Detection – VAD) cũng ngày càng được quan tâm trong cộng đồng nghiên cứu những năm gần đây. Tuy vậy, phát hiện các hoạt động bất thường trong môi trường thực tế đối mặt với nhiều thách thức. Một là, sự khan hiếm dữ liệu của các sự kiện bất thường so với các sự kiện bình thường làm cho việc thu thập và gắn nhãn dữ liệu bất thường đủ lớn để có thể phát hiện hiệu quả trở nên khó khăn. Hai là, việc phân biệt giữa các sự kiện bất thường và bình thường trở nên phức tạp do tính mơ hồ của các đặc điểm của chúng.

Dựa trên sự sẵn có của các dữ liệu bất thường và dữ liệu bình thường trong tập huấn luyện, các mô hình thường thuộc một trong những phương pháp sau: phát hiện bất thường không giám sát (unsupervised VAD), phát hiện bất thường giám sát yếu (weakly-supervised VAD), và phát hiện bất thường có giám sát (supervised VAD). Cụ thể, đối với phương pháp phát hiện bất thường không giám sát, các video trong tập huấn luyện chỉ là các video bình thường, nghĩa là tất cả các khung hình trong các video chỉ có các đối tượng bình thường và có các hành động bình thường. Bài toán thường được giải quyết thông qua hai cách tiếp cận sử dụng mạng autoencoder học sâu, đó là: khôi phục khung hình (reconstruction) hoặc dự đoán khung hình tiếp theo (prediction), theo đó dữ liệu đầu vào để huấn luyện chỉ là các khung hình bình thường liên tiếp nhau. Ví dụ, với đầu vào là một chuỗi năm khung hình liên tiếp nhau, phương pháp khôi phục sẽ cố gắng tạo lại năm khung hình này ở đầu ra, và quá trình học của mạng là cực tiểu hóa sai số của các cặp khung đầu

ra và đầu vào này. Trong khi đó, phương pháp dự đoán sẽ chỉ lấy bốn khung hình đầu tiên để huấn luyện mạng, mạng được đào tạo để có khả năng sinh ra được khung hình dự đoán, tức là là thể hiện được các đối tượng và hành vi sẽ xảy ra tiếp theo trong khung hình đó, sao cho nó càng giống với khung hình thứ năm (khung hình gốc) ở đầu vào.

Môt giả thuyết được đặt ra đó là trong quá trình kiểm tra, các khung hình chứa các đối tượng mới hoặc các đối tượng có hành vi bất thường sau khi đi qua mạng đã được huấn luyện thì mang sẽ tao ra các sai số khôi phục hoặc dự đoán cao, bởi vì các khung hình đó không được học bởi mạng. Tuy nhiên, giả thuyết này có thể không đúng trong trường hợp khi mà một số khung hình bất thường vẫn có thể được khôi phục hoặc dự đoán tốt thông qua tập hợp của các thuộc tính bình thường đã học bởi mạng. Do đó, đã có một số hướng nghiên cứu nhằm cải thiện khả năng học của mang autoenoder trong phát hiện bất thường. Hướng tiếp cân thứ nhất là bổ sung các mô-đun bô nhớ vào các mang autoencoder nhằm giúp cho mang có khả năng lưu trữ thông tin về các đặc trưng bình thường trong quá trình huấn luyên [9, 15, 22]. Sư bất thường được xác đinh bằng cách so sánh biểu diễn của một mẫu với đặc trưng bình thường đã được học và được lưu lại trong bộ nhớ. Hướng tiếp cân thứ hai là tăng cường thêm các mẫu dữ liêu bất thường, được sinh ra bởi các mô-đun sinh giả bất thường, cùng với các mẫu dữ liệu bình thường sẵn có trong tập dữ liệu, nhằm tăng cường khả năng học và nhận diện các sự kiện bất thường trong tập kiểm tra [1, 21, 27]. Khai thác các điểm mạnh của hai cách tiếp cận trên, chúng tôi đề xuất một cách chiến lược huấn luyện một mạng autoencoder có bộ nhớ có sử dụng cả dữ liệu bình thường và dữ liệu giả bất thường. Trong đó, dữ liệu giả bất thường được chúng tôi sinh ra bằng cách áp dụng một phương pháp trích chọn các keyframes từ các video bình thường trong tập huấn luyện. Mục tiêu của phương pháp là phát hiện được các bất thường xảy ra trong các khung hình của video, nói cách khác là xác đinh được các khoảng thời gian mà các sự kiên bất thường xuất hiên từ khi bắt đầu đến khi kết thúc. Các thử nghiệm trên các tập dữ liệu ped2 [12], avenue [16] và shanghaitech[18] đã cho một số kết quả tốt khi so sánh với một số phương pháp gần đây.

2. Các nghiên cứu liên quan

2.1. Phát hiện bất thường trong video

Trong phương pháp phát hiện bất thường không giám sát, hai phương pháp phố biển nhất là các phương pháp dựa trên tái tạo và các phương pháp dựa trên dự đoán. Đối với phương pháp tái tạo, autoencoder là một trong những kiến trúc mạng phổ biến nhất được sử dụng. Một mô hình autoencoder gồm hai thành phần chính là bộ mã hóa (encoder) và bộ giải mã (decoder). Đầu vào của autoencoder là một ảnh hoặc nhiều ảnh liên tiếp, encoder sẽ trích xuất các đặc trưng và encoder sẽ tái tạo lại ảnh từ các đặc trưng được trích xuất sao cho ảnh đầu ra càng giống ảnh đầu vào càng tốt. Trong phương pháp phát hiện bất thường không giám sát, các mô hình autoencoder chỉ được huấn luyện trên các khung hình bình thường để học các đặc trưng bình thường từ các mẫu đầu vào. Ví dụ, một số phương pháp đã học biểu diễn không gian và thời gian của các ảnh đầu vào qua các lớp CNN và LSTM. Phương pháp [20] đã áp dụng một kết hợp của một autoencoder tích chập và U-Net với các kết nối bỏ qua (skip connections), chúng chia sẻ cùng bộ mã hóa để thu thập cả thông tin về ngoại hình và chuyển động của các đối tượng khung hình. Một giả thuyết được sử dụng trong các mô hình trên là các khung hình bình thường được tái tạo tốt bởi mô hình đã được huấn luyện, trong khi các khung hình bất thường kông. Kết quả là so với các khung hình bình thường, các khung hình bất thường có sai

số tái tạo cao hơn, và các sai số này thường được sử dụng làm điểm bất thường để phân biệt các sự kiện bình thường và các sự kiện bất thường trong thời gian suy luận.

Trong phương pháp dự đoán, một mô hình autoencoder được huấn luyện trên các chuỗi các khung hình bình thường để dự đoán khung hình tiếp theo. Trong phương pháp này, các mô hình mạng GAN và autoencoder là các kiến trúc được sử dụng phổ biến để sinh ra khung hình tương lai. Ví dụ, [14] đã đề xuất một mô hình GAN trong đó một bộ tạo (U-Net) tạo ra khung hình tiếp theo từ một chuỗi các khung hình đầu vào. Tác giả trong [21] đã biểu diễn một autoencoder theo kiến trúc của U-Net có khả năng học cả đặc trưng không gian và thời gian để dự đoán khung hình tiếp theo. Tại giai đoạn kiểm tra, mô hình đã được huấn luyện có thể phân biệt các khung hình thường và bất thường dựa trên một giả thuyết rằng các sự kiện bất thường là không thể dự đoán trong khi các sự kiện bình thường sẽ cao hơn so với các khung hình bình thường.

Tóm lại, cả hai giả thuyết trên đều cho rằng các sai số tái tạo và dự đoán của các khung hình bất thường lớn hơn so với các khung hình bình thường. Tuy nhiên, giả định này không luôn đúng vì sự đa dạng của các mẫu bình thường và khả năng biểu diễn mạnh mẽ của mạng CNN có thể giúp các khung hình có chứa các sự kiện bất thường được tái tạo hoặc dự đoán với sai số thấp, làm giảm hiệu suất phát hiện sự bất thường của mô hình. Điểm yếu này có thể được khắc phục bằng cách áp dụng các mô hình autoencoder có mô-đun bộ nhớ nằm giữa encoder và decoder.

2.2. Các mạng autoencoder có bộ nhớ

Với mục đích cải thiện khả năng học các đặc trưng từ các mẫu dữ liệu bình thường, các mô-đun bộ nhớ đã được bổ sung vào giữa hai thành phần encoder và decoder của các mạng autoencoder. Mô hình autoencoder có bộ nhớ đầu tiên cho phát hiện bất thường trong video được đề xuất trong bài báo [9]. Một mô-đun bộ nhớ bao gồm 2,000 phần tử bộ nhớ đã được thêm vào giữa encoder và decoder, để lưu trữ các đặc trưng của các khung hình bình thường. Sự bất thường được xác định bằng cách so sánh biểu diễn của một mẫu với đặc trưng bình thường đã được học và lưu trữ trong bộ nhớ. Biểu diễn của dữ liệu bất thường nằm ngoài bộ nhớ nên dữ liệu tái tạo của nó sẽ khác biệt với dữ liệu đầu vào và gây ra sai số tái tạo lớn.

Tiếp theo, cơ chế lưu trữ đặc trưng thông qua bộ nhớ này được cải tiến bởi nhóm tác giả trong bài báo [22] với việc sử dụng số lượng bộ nhớ ít hơn, nhưng mang lại hiệu quả tốt hơn với chỉ 10 thành phần bộ nhớ. Bên cạnh đó, các phần tử bộ nhớ được cập nhật cả trong quá trình kiểm tra để nâng cao khả năng phát hiện các sự kiện bất thường.

Một mô hình auto-encoders với nhiều mô-đun bộ nhớ [32] đã được đề xuất, chúng được kết hợp với thuật toán R-CNN để phát hiện các đối tượng trong khung hình. Áp dụng kỹ thuật khôi phục đặc trưng chuyển động qua ảnh optical flow và kỹ thuật dự đoán khung hình xảy ra tiếp theo, phương pháp này đã đạt được hiệu quả phát hiện tốt hơn các phương pháp trước đó.

2.3. Các bộ sinh khung hình bất thường giả

Bên cạnh các mô hình Autoencoder có bộ nhớ, một cách tiếp cận khác đó là tăng cường dữ liệu học cho mô hình bằng việc sinh ra thêm các khung hình bất thường giả để làm suy yếu đi khả năng khôi phục hoặc dự đoán của mạng đối khi các khung hình chứa các sự kiện bất thường [1, 21, 27].

Một mô hình GAN có tên là OGNet được nhóm tác giả đề xuất để phát hiện bất thường trong video qua huấn luyện một bộ phân loại một lớp trên tập dữ liệu bình thường và dữ liệu giả bất thường [27]. Trong quá trình huấn luyện, một bộ phân biệt Discriminator (D) được huấn luyện với dữ liệu đầu vào gồm hai loại: một là dữ liệu bình thường là ảnh trong cơ sở dữ liệu và ảnh được sinh bởi một bộ sinh Generator thứ nhất (được gọi là G), hai là dữ liệu giả bất thường là ảnh được sinh bởi một một module sinh giả bất thường và ảnh được sinh bởi một bộ sinh thường là bất thường và ảnh được sinh bởi một một module sinh giả bất thường và ảnh được sinh bởi một bộ sinh thứ hai (được gọi là G_{old}).

Tuy nhiên, mô-đun sinh bất thường giả ở trên chỉ sinh ra các đặc trưng bất thường về mặt hình dạng mà không xét đến các đặc trưng bất thường về mặt chuyển động. Trong khi đó, các tác giả trong [1] đã áp dụng kỹ thuật lược bỏ các khung hình skipping frames để thể hiện cho các chuyển động bất thường. Sau đó, một chuỗi các khung hình bình thường và một chuỗi các khung hình bất thường được đưa vào huấn luyện mạng với một tỷ lệ xác suất được xác định trước, nhờ đó mà mạng được huấn luyện có thể phát hiện các khung hình bất thường tốt hơn trong giai đoạn kiểm tra.

Một phương pháp biến đổi dữ liệu có tên là FastAno [21] đã được đề xuất nhằm phát hiện bất thường nhanh trên cơ sở đề xuất hai phép biến đổi dữ liệu là phép xoay ảnh Spatial Rotation Transformation (SRT) và phép trộn ảnh Temporal Mixing Transformation (TMT) để sinh ra các khối (patch) bất thường trong một chuỗi các ảnh bình thường, nhằm nâng cao khả năng học các đặc trưng bình thường về hình dáng và chuyển động của các đối tượng trong video.

3. Phương pháp được đề xuất

Trong bài báo này chúng tôi giải quyết bài toán phát hiện bất thường trong video bằng phương pháp học không giám sát trên tập dữ liệu chỉ chứa các khung hình của các sự kiện bình thường. Chúng tôi đề xuất một phương pháp xây dựng tập dữ liệu giả bất thường mới dựa trên kỹ thuật lựa chọn các keyframes từ các đặc trưng optical flow được trích xuất từ các khung hình bình thường trong tập huấn luyện. Tập dữ liệu gồm các mẫu giả bất thường này cùng với các mẫu bình thường trong tập huấn luyện gốc sẽ được sử dụng để huấn luyện trên một mạng autoencoder có bộ nhớ. Chúng tôi ký hiệu mô hình mạng sử dụng bộ dữ liệu giả bất thường này là PAMAE-KF (Pseudo Anomalies-Memory augmented Autoencoder-KeyFrames) (Hình 1).



Hình 1: Mô hình autoencoder có bộ nhớ kết hợp với bộ sinh giả bất thường dựa trên kỹ thuật trích xuất keyframes từ các đặc trưng optical flow (PAMAE-KF).

Mặc dù, đầu vào của mạng bao gồm cả dữ liệu bình thường và dữ liệu giả bất thường, nhưng dữ liệu giả bất thường được đưa vào mô hình với xác suất *p* rất nhỏ. Do đó, mô hình PAMAE-KF vẫn tập trung vào việc học phân bố của các mẫu dữ liệu bình thường, còn các mẫu dữ liệu giả bất thường sẽ cung cấp các đặc trưng giả bất thường cho mạng trong giai đoạn huấn luyện, từ đó trong giai đoạn kiểm tra mạng có thể phát hiện chính xác hơn các bất thường trong các khung hình.

3.1. Bộ sinh dữ liệu giả bất thường

Từ tập cơ sở dữ liệu huấn luyện chỉ chứa các sự kiện bình thường, bộ sinh dữ liệu có khả năng tạo ra các chuỗi khung hình bình thường và các chuỗi khung hình bất thường giả để huấn luyện cho mô hình mạng autoencoder có bộ nhớ có khả năng phân biệt được các khung hình chứa sự kiện bất thường và các khung hình chứa sự kiện bình thường.

Các mẫu bình thường là một chuỗi năm khung hình I_{n_0} , I_{n_1} , I_{n_2} , I_{n_3} , I_{n_4} được lấy trực tiếp từ cơ sở dữ liệu huấn luyện. Trong khi đó, các mẫu bất thường là một chuỗi năm khung hình I_{a_0} , I_{a_1} , I_{a_2} , I_{a_3} , I_{a_4} được sinh bởi một bộ sinh bất thường giả áp dụng kỹ thuật trích xuất keyframes. Các keyframes đại diện cho sự thay đổi lớn về hành động của đối tượng giữa các khung hình liên tiếp, nó có thể đại diện cho chuyển động nhanh bất thường của đối tượng, đây là một thuộc tính bất thường có thể xuất hiện trong tập kiểm tra. Các keyframes được chọn phải qua qua hai bước xử lý. Bước thứ nhất, tính toán sự thay đổi giữa hai khung hình bằng sử dụng

1274

mô hình flownet2 [33] đã được huấn luyện trước, sau đó tại một ma trận chuyển động M(t) của khung hình thứ t trong chuỗi video thể hiện cho chuyển động tổng hợp trên hai chiều của mỗi điểm ảnh trong khung hình được tính toán theo công thức:

$$M(t) = \sum_{i=1}^{W} \sum_{j=1}^{H} |OF_{x}(i,j,t)| + |OF_{y}(i,j,t)|$$
(1)

Trong đó, $OF_x(i, j, t)$ và $OF_y(i, j, t)$ tương ứng là thành phần optical flow theo phương ngang và phương dọc tại điểm ảnh (i, j) trong khung hình thứ t.

Bước thứ hai, sắp xếp theo chiều tăng dần các giá trị M(t) của các khung hình trong một video và lựa chọn ra các giá trị M(t) lớn nhất theo một tỷ lệ được xác định trước, trong trường hợp này chúng tôi lựa chọn tỷ lệ là 30%. Từ các giá trị M(t) được lựa chọn chúng ta sẽ chọn ra được các khung hình keyframes cũng được sắp xếp theo thứ tự chỉ số tăng dần. Từ danh sách các keyframes này, chúng tôi sinh ra tập các mẫu gồm năm khung hình liên tiếp theo thứ tự đã sắp xếp trong danh sách của các keyframes.

Trong giai đoạn huấn luyện, một chuỗi bốn khung hình bình thường I_{n_0} , I_{n_1} , I_{n_2} , I_{n_3} hoặc một chuỗi bốn khung hình bất thường giả I_{a_0} , I_{a_1} , I_{a_2} , I_{a_3} được đưa vào để huấn luyện một mạng autoencoder có bộ nhớ với xác suất tương ứng là (1 - p) và p. Mạng autoencoder này có nhiệm vụ là dự đoán khung hình xảy ra tiếp theo từ chuỗi các khung hình đầu vào, kết quả nhận được tương ứng sẽ là khung hình \hat{I}_{n_4} hoặc \hat{I}_{a_4} .

3.2. Mô hình autoencoder có bộ nhớ

Trong quá trình huấn luyện, một chuỗi bốn khung hình là đầu vào cho encoder để trích xuất ra một bản đồ đặc trưng *F* có kích thước HxWxD, trong đó *H*, *W*, D là chiều dài, chiều rộng và số kênh. *F* được chia thành *Q* truy vấn đặc trưng (feature queries) q_j (j = 1,..., Q) với Q = HxW, mỗi truy vấn có kích thước 1x1xD và là đầu vào của mô-đun bộ nhớ. Mô-đun bộ nhớ bao gồm *N* mục bộ nhớ (memory items) m_i (I = 1,..., N), là nơi lưu trữ các đặc trưng mẫu bình thường, chúng ta có thể thực hiện toán tử đọc (Read) hoặc cập nhật (Update) lên các mục bộ nhớ này.

Toán tử Read sẽ sinh ra một bản đồ đặc trưng \widehat{M} là tổng có trọng số của các mục bộ nhớ, nó được kết hợp với bản đồ đặc trưng F để tạo ra đầu vào cho decoder. Đầu tiên, chúng ta tính toán các xác suất phù hợp (matching probabilities) $w_{j,i}$ giữa từng truy vấn q_j và các mục bộ nhớ ($m_1, m_2, ..., m_N$) thông qua độ đo tương tự cosine giữa q_j và tất cả các mục bộ nhớ, sau đó áp dụng hàm softmax như sau:

$$w_{j,i} = \frac{\exp((m_i)^T q_j)}{\sum_{i'=1}^N \exp((m_{i'})^T q_j)}$$
(2)

Sau đó, chúng ta nhận được các đặc trưng \hat{m}_j tương ứng mỗi truy vấn q_j bằng cách tính toán trung bình có trọng số các mục bộ nhớ dựa trên xác suất phù hợp $w_{j,i}$ như sau:

$$\widehat{m}_j = \sum_{i=1}^N w_{j,i} m_i \quad (3)$$

Cuối cùng, các đặc trưng \hat{m}_j tạo nên một bản đồ đặc trưng \hat{M} có cùng kích thước với bản đồ đặc trưng *F*, và hai bản đồ này được kết hợp với nhau để tạo ra đầu vào cho decoder.

Đối với toán tử Update, mỗi mục bộ nhớ thứ *i* sẽ được cập nhật thường xuyên từ tập hợp các truy vấn gần nó nhất G_i . Các giá trị xác suất phù hợp $v_{j,i}$ giữa từng mục bộ nhớ m_i và các truy vấn $(q_1, q_2, ..., q_Q)$ được tính toán thông qua độ đo tương tự cosine giữa m_i và các truy vấn, sau đó hàm softmax function và phép quy chuẩn được sử dụng như sau:

$$v_{j,i} = \frac{\exp((m_i)^T q_j)}{\sum_{j'=1}^{Q} \exp((m_i)^T q_{j'})}$$
(4)
$$v'_{j,i} = \frac{v_{j,i}}{\max_{j' \in G_i} v_{j',i}}$$
(5)

Cuối cùng, mỗi mục bộ nhớ m_i được cập nhật bằng công thức sau:

$$m_i = \left\| m_i + \sum_{j \in G_i} v'_{j,i} q_j \right\|_2$$
(6)

3.3. Hàm mất mát

Trong quá trình huấn luyện mô hình, chúng tôi cực tiểu hóa sai số dự đoạn giữa khung hình bình thường I_{n_4} và khung hình dự đoán của nó \hat{I}_{n_4} , và cực đại hóa sai số dự đoán giữa khung hình bất thường giả I_{a_4} và khung hình dự đoán của nó \hat{I}_{a_4} . Sai số dự đoán giữa I_{n_4} và \hat{I}_{n_4} là tổng của sai số cường độ ảnh (intensity loss), sai số nén đặc trưng (feature compactness loss), và sai số phân tách đặc trưng (feature separateness loss):

$$L_n = L_{intensity} + \sigma_c L_{compact} + \sigma_s L_{separate}$$
(7)

Trong khi đó, sai số dự đoán giữa I_{a_4} và \hat{I}_{a_4} được tính như sau:

$$L_a = -(L_{intensity} + \sigma_c L_{compact} + \sigma_s L_{separate}) (8)$$

Trong đó σ_c và σ_s là các tham số cho trước.

Sai số $L_{intensity}$ là sự khác biệt về cường độ giữa ảnh đầu vào I_i và ảnh dự đoán \hat{I}_i theo khoảng cách L2:

$$L_{intensity} = \left\| \hat{I}_i - I_i \right\|_2 \tag{9}$$

Sai số $L_{compact}$ là sự khác biệt giữa từng truy vấn q_j và mục bộ nhớ gần nó nhất m_i theo L2 norm, nó được sử dụng để thu ngắn khoảng cách giữa truy vấn q_j và mục bộ nhớ gần nó nhất đối với các khung hình bình thường:

$$L_{compact} = \sum_{j=1}^{Q} \left\| q_{j} - m_{i} \right\|_{2}$$
(10)

Tuy nhiên, sai số $L_{compact}$ cũng làm cho các mục bộ nhớ có xu hướng gần nhau hơn, để hạn chế xu hướng này sai số $L_{separate}$ được sử dụng để các mục bộ nhớ dãn cách nhau ra.

$$L_{separate} = \max\{0, \sum_{j=1}^{Q} (\|q_j - m_i\|_2 - \|q_j - m_k\|_2 + r)\} (11)$$

Trong đó, m_i và m_k là các mục bộ nhớ gần nhất và gần thứ hai của truy vấn q_j , và r là giá trị biên độ.

1276

1277

3.4. Điểm số bất thường

Trong giai đoạn kiểm tra, các điểm số bất thường của các khung hình được tính toán để phát hiện ra sự kiện bất thường. Đầu tiên, giá trị Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) P_i giữa khung hình đầu vào I_i và khung hình dự đoán \hat{I}_i được tính như sau:

$$P_{i} = 10 \log_{10} \frac{\max(\hat{I}_{i})}{\|\hat{I}_{i} - I_{i}\|_{2}^{2}/N}$$
(12)

Trong đó, N là tổng số điểm ảnh của \hat{I}_i , *i* là chỉ số của khung hình thứ *i*. Giá trị PSNR sau đó được chuẩn hóa về khoảng [0, 1] trên tất cả các khung hình của video trong tập kiểm tra:

$$P_{in} = \frac{P_i - min_i(P_i)}{max_i(P_i) - min_i(P_i)}$$
(13)

Nếu khung hình đầu vào chứa sự kiện bất thường thì kết quả khung hình dự đoán sẽ khác biệt lớn với khung hình đầu vào, và giá trị PSNR nhận được sẽ thấp và ngược lại.

Tiếp theo, ta tính toán giá trị khoảng cách L2 giữa các truy vấn và các mục bộ nhớ gần nó nhất như sau:

$$R_{i} = \frac{1}{Q} \sum_{j=1}^{Q} \left\| q_{j} - m_{i} \right\|_{2} (14)$$

Sau đó, khoảng cách R_i được chuẩn hóa về khoảng [0, 1] như sau:

$$R_{in} = \frac{R_i - \min_i(R_i)}{\max_i(R_i) - \min_i(R_i)}$$
(15)

Cuối cùng, điểm số bất thường A_i của mỗi khung hình *i* được tính toán như sau:

$$A_i = \alpha (1 - P_{in}) + (1 - \alpha) R_{in}$$
(16)

Trong đó, α là tham số thể hiện cho mức độ đóng góp của hai giá trị P_{in} và R_{in} trong điểm số bất thường A_i .

4. Các thiết lập thực nghiệm

4.1. Các tập cơ sở dữ liệu

Chúng tôi thực nghiệm mô hình trên ba tập cơ sở dữ liệu nổi tiếng là ped2[12], avenue[16] và shanghaitech[18], chúng là tập hợp video thu được từ các camera được đặt trong khuôn viên của các trường đại học. Trong đó, tập ped2 và avenue là tập dữ liệu đơn cảnh, là các video được thu từ một camera duy nhất, trong khi đó tập shanghaitech là tập dữ liệu đa cảnh, là các video được thu từ nhiều camera khác nhau. Trong ba tập dữ liệu này, những người đi bộ trong khuôn viên của trường học được quy ước là bình thường, ngược lại sự xuất hiện của các vật thể lạ (balô, xe đạp, xe chở hàng, xe lướt ván...) hoặc các hành động khác (chạy, đuổi bắt, đánh nhau, ném đồ...) được xem là những đối tượng bất thường hoặc những hành vi bất thường.

Cụ thể, ped2[12], bao gồm 16 video huấn luyện và 12 video kiểm tra, là một cơ sở dữ liệu đơn cảnh, nghĩa là hình ảnh trong các video được lấy từ một camera được đặt trong khuôn viên một trường đại học. Các video này được chia làm các khung hình, do đó chúng ta có 2.550 khung hình huấn luyện và 2.010 khung hình kiểm tra, có độ phân giải 204 x 360 pixels. Đặc điểm của tập dữ liệu này là sự xuất hiện của người đi bộ được xem là bình thường, trong khi đó sự xuất hiện của một số đối tượng lạ như người trượt ván, người đi xe đạp, xe chở hàng được

xem là bất thường. Tập dữ liệu avenue[16] cũng một tập đơn cảnh, bao gồm 16 video huấn luyện và 21 video kiểm tra, tương ứng với 15.328 khung hình huấn luyện và 15.324 khung hình kiểm tra với độ phân giải là 360 x 640 pixels. Sự kiện bình thường là người đi bộ, 47 sự kiện bất thường như đi sai hướng, chạy, ném đồ vật... Tập dữ liệu shanghaitech[18] là tập đa cảnh, bao gồm 330 video huấn luyện và 107 video kiểm tra được lấy từ 13 camera được đặt tại các vị trí khác nhau trong khuôn viên đại học Thượng Hải. Nó bao gồm 274.515 khung hình huấn luyện và 42.883 khung hình kiểm tra, với độ phân giải 480 x 856 pixels, với tổng cộng 130 sự kiện bất thường như: chạy, đi xe đạp, đánh nhau...

4.2. Các tham số huấn luyện

Với mục đích nghiên cứu, thử nghiệm và so sánh các phương pháp phát hiện bất thường trong video khác nhau trên cùng một môi trường thiết lập, chúng tôi đã xây dựng một framework có tên là VAD (Video Anomaly Detection). VAD cung cấp một các lớp đối tượng, các hàm xử lý và khung làm việc được xây dựng trên nền tảng ngôn ngữ lập trình Python và thư viện học sâu PyTorch. Các mô hình được cài đặt trên PyTorch và huấn luyện trên card đồ họa Nvidia RTX 3060 8GB. Đối với các mô hình được so sánh khác, chúng tôi thiết lập các tham số giống trong các bài báo đã công bố. Đối với mô hình đề xuất của chúng tôi, các ảnh đầu vào được điều chỉnh về cùng kích thước 256x256 pixel với số kênh là 3, và được chuẩn hóa về khoảng [-1,1]. Bản đồ đặc trưng *F* có kích thước 32x32 pixels, và số kênh là 512. Mô-đun bộ nhớ có *N* = 10 mục bộ nhớ, mỗi mục có độ dài 512. Giá trị batch size là 4, 4, 1 và số lượng vòng lặp là 60, 60, 10 tương ứng với các tập dữ liệu ped2, avenue, shanghaitech. Thuật toán tối ưu (optimizer) được sử dụng là Adam với hệ số học là 0.0002. Các tham số trong hàm mất mát được thiết lập như sau: $\sigma_c = 0.01$, $\sigma_s = 0.01$, r = 1.0. Chúng tôi huấn luyện mạng autoencoder có bộ nhớ, trong đó xác suất *p* được thiết lập bằng 0.002, 0.01, 0.01 tương ứng với các tập dữ liệu ped2, avenue, shanghaitech.

5. Kết quả

Độ đo hiệu suất AUC mức khung hình được lựa chọn là tiêu chuẩn để đánh giá phương pháp của chúng tôi trên các tập kiểm tra. Giá trị AUC càng cao thì kết quả thực thi càng được đánh giá tốt. Đầu tiên, chúng tôi chọn so sánh mô hình PAMAE-KF với mô hình MNAD[22] và chúng đều không sử dụng mô-đun bộ nhớ, để đánh giá tru điểm của tập dữ liệu giả bất thường được tạo ra bởi bộ sinh giả bất thường của chúng tôi. Kết quả được thể hiện ở *Bảng 1*, chỉ ra rằng giá trị AUC của PAMAE-KF cao hơn các giá trị AUC của MNAD trên cả ba tập dữ liệu ped2, avenue và shanghaitech, tương ứng là 2,97%, 0,47% và 2,14%.

Tên mô hình	ped2	avenue	shanghaitech
MNAD (woMem)[22]	94,30%	84,50%	66,80%
PAMAE-KF (woMem)	97,27%	84,97 %	68,94 %

Bảng 1: So sánh PAMAE-KF với phương pháp MNAD (cả hai đều không dùng mô-đun bộ nhớ)

Tiếp theo, khi mô-đun bộ nhớ được áp dụng, chúng tôi so sánh mô hình PAMAE-KF với hai mô hình autoencoder có tăng cường bộ nhớ khác là MemAE[9], MNAD[22] (Bảng 2). Giá trị AUC nhận được từ PAMAE-KF cũng cao hơn giá trị AUC của hai mô hình MemAE và MNAD trên các tập ped2 và shanghaitech, ngoại trừ tập avenue. Các kết quả từ hai Bảng 1 và 2 đã chỉ ra rằng tập dữ liệu giả bất thường của chúng tôi đã có đóng góp quan trọng trong việc
nâng cao độ chính xác của mô hình trong phát hiện các bất thường. Các giá trị AUC của PAMAE-KF nhận được trên ba tập ped2, avenue, shanghaitech tương ứng với giá trị tham số α được đặt là 0.4, 0.5, 0.1

Tên mô hình	ped2	avenue	shanghaitech
MemAE[9]	94,10%	83,30%	71,20%
MNAD[22]	97,00%	88,50%	70,56%
PAMAE-KF	98,02%	86,81%	72,88%

Bảng 2: So sánh PAMAE-KF với hai phương pháp MemAE, MNAD có sử dụng bộ nhớ

Cuối cùng, chúng tôi so sánh mô hình PAMAE-KF với một số mô hình có sử dụng các bộ sinh giả bất thường khác là OG[27], FastAno[21] và LNTRA[34]. Kết quả được thế hiện ở *Bảng 3*, chỉ ra rằng mặc dù trên tập shanghaitech, giá trị AUC của PAMAE-KF thấp hơn LNTRA, nhưng trên tập ped2, nó xấp xỉ với mô hình OG và cao hơn hai mô hình còn lại là FastAno và LNTRA. Còn trên tập avenue, giá trị AUC của PAMAE-KF cao hơn các phương pháp khác, cụ thể là 86,81% so với 85,30% của FastAno và 84,67% của LNTRA. Kết quả trên đã thể hiện được rằng phương pháp xây dựng tập dữ liệu giả bất thường được đề xuất bởi chúng tôi là có hiệu quả trong việc cải thiện khả năng phát hiện bất thường của mạng.

Tên mô hình	ped2	avenue	shanghaitech
OG[27]	98,10%	-	-
FastAno[21]	96.30%	85,30%	72,20%
LNTRA[34]	96,50%	84,67%	75,97%
PAMAE-KF	98,02%	86,81%	72,88%

Bảng 3: So sánh PAMAE-KF với các phương pháp sinh dữ liệu giả bất thường khác

6. Kết luận và hướng phát triển tiếp theo

Mô hình PAMAE-KF được đề xuất là một mô hình autoencoder có bộ nhớ, có sử dụng bộ sinh bất thường giả trong quá trình huấn luyện, đã cải thiện được độ chính xác để phát hiện các sự kiện bất thường trong video so với một số mô hình đã được đề xuất gần đây. Tuy nhiên, mô hình này có thể được cải tiến thêm thông qua một số hướng phát triển như sau: phát triển các bộ sinh bất thường giả khác có khả năng sinh ra các khung hình bất thường cả về mặt ngoại hình và chuyển động của đối tượng; phát triển các mô hình autoencoder có nhiều tầng bộ nhớ với khả năng ghi nhớ các đặc trưng bình thường tốt hơn; phát triển các mô hình có sử dụng cơ chế attention để nâng cao sự tập trung của mô hình đối với các đối tượng bình thường và bất thường trong các khung hình.

Tài liệu tham khảo

- Marcella Astrid, Muhammad Zaigham Zaheer, and Seung-Ik Lee. 2021. Synthetic temporal anomaly guided end-to-end video anomaly detection. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 207–214.
- [2] Yunpeng Chang, Zhigang Tu, Wei Xie, and Junsong Yuan. 2020. Clustering driven deep autoencoder for video anomaly detection. In European Conference on Computer Vision. Springer, 329–345.

- [3] Yong Shean Chong and Yong Haur Tay. 2017. Abnormal event detection in videos using spatiotemporal autoencoder. In International symposium on neural networks. Springer, 189–196.
- [4] Marcella Cornia, Matteo Stefanini, Lorenzo Baraldi, and Rita Cucchiara. 2020. Meshed-memory transformer for image captioning. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. 10578–10587.
- [5] Keval Doshi and Yasin Yilmaz. 2021. Online anomaly detection in surveillance videos with asymptotic bound on false alarm rate. Pattern Recognition 114 (2021), 107865.
- [6] Keval Doshi and Yasin Yilmaz. 2022. Rethinking video anomaly detection-a continual learning approach. In Proceedings of the IEEE/CVF winter conference on applications of computer vision. 3961–3970.
- [7] Zhiwen Fang, Joey Tianyi Zhou, Yang Xiao, Yanan Li, and Feng Yang. 2020. Multiencoder towards effective anomaly detection in videos. IEEE Transactions on Multimedia 23 (2020), 4106–4116.
- [8] Zhengcong Fei. 2021. Memory-augmented image captioning. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, Vol. 35. 1317–1324.
- [9] Dong Gong, Lingqiao Liu, Vuong Le, Budhaditya Saha, Moussa Reda Mansour, Svetha Venkatesh, and Anton van den Hengel. 2019. Memorizing normality to detect anomaly: Memory-augmented deep autoencoder for unsupervised anomaly detection. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 1705–1714.
- [10] Ian Goodfellow, Jean Pouget-Abadie, Mehdi Mirza, Bing Xu, David Warde-Farley, Sherjil Ozair, Aaron Courville, and Yoshua Bengio. 2014. Generative adversarial nets. Advances in neural information processing systems 27 (2014).
- [11] Junzhong Ji, Cheng Xu, Xiaodan Zhang, Boyue Wang, and Xinhang Song. 2020. Spatiotemporal memory attention for image captioning. IEEE Transactions on Image Processing 29 (2020), 7615–7628.
- [12] Weixin Li, Vijay Mahadevan, and Nuno Vasconcelos. 2013. Anomaly detection and localization in crowded scenes. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 36, 1 (2013), 18–32.
- [13] Jingxu Lin, Sheng-hua Zhong, and Ahmed Fares. 2022. Deep hierarchical LSTM networks with attention for video summarization. Computers & Electrical Engineering 97 (2022), 107618.
- [14] Wen Liu, Weixin Luo, Dongze Lian, and Shenghua Gao. 2018. Future frame prediction for anomaly detection–a new baseline. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 6536–6545.
- [15] Zhian Liu, Yongwei Nie, Chengjiang Long, Qing Zhang, and Guiqing Li. 2021. A hybrid video anomaly detection framework via memory-augmented flow reconstruction and flow-guided frame prediction. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 13588– 13597.
- [16] Cewu Lu, Jianping Shi, and Jiaya Jia. 2013. Abnormal event detection at 150 fps in matlab. In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. 2720–2727.
- [17] Yiwei Lu, K Mahesh Kumar, Seyed shahabeddin Nabavi, and Yang Wang. 2019. Future frame prediction using convolutional VRNN for anomaly detection. In 2019
 16Th IEEE international conference on advanced video and signal based surveillance (AVSS).
 IEEE, 1–8.
- [18] Weixin Luo, Wen Liu, and Shenghua Gao. 2017. A revisit of sparse coding based anomaly detection in stacked RNN framework. In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. 341–349.

- [19] Rashmika Nawaratne, Damminda Alahakoon, Daswin De Silva, and Xinghuo Yu. 2019. Spatiotemporal anomaly detection using deep learning for real-time video surveillance. IEEE Transactions on Industrial Informatics 16, 1 (2019), 393–402.
- [20] Trong-Nguyen Nguyen and Jean Meunier. 2019. Anomaly detection in video sequence with appearance-motion correspondence. In Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision. 1273–1283.
- [21] Chaewon Park, MyeongAh Cho, Minhyeok Lee, and Sangyoun Lee. 2022. FastAno: Fast anomaly detection via spatio-temporal patch transformation. In Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision. 2249–2259.
- [22] Hyunjong Park, Jongyoun Noh, and Bumsub Ham. 2020. Learning memoryguided normality for anomaly detection. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 14372–14381.
- [23] Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, and Thomas Brox. 2015. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. Springer, 234–241.
- [24] Junbo Wang, Wei Wang, Zhiyong Wang, Liang Wang, Dagan Feng, and Tieniu Tan. 2019. Stacked memory network for video summarization. In Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia. 836–844.
- [25] Hao Wei, Kai Li, Haichang Li, Yifan Lyu, and Xiaohui Hu. 2019. Detecting video anomaly with a stacked convolutional LSTM framework. In International Conference on Computer Vision Systems. Springer, 330–342.
- [26] Yu Xie, Yanwei Fu, Ying Tai, Yun Cao, Junwei Zhu, and Chengjie Wang. 2022. Learning To Memorize Feature Hallucination for One-Shot Image Generation. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 9130–9139.
- [27] Muhammad Zaigham Zaheer, Jin-ha Lee, Marcella Astrid, and Seung-Ik Lee. 2020. Old is gold: Redefining the adversarially learned one-class classifier training paradigm. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 14183–14193.
- [28] Bin Zhao, Haopeng Li, Xiaoqiang Lu, and Xuelong Li. 2021. Reconstructive sequence-graph network for video summarization. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 44, 5 (2021), 2793–2801.
- [29] Wentian Zhao, Xinxiao Wu, and Xiaoxun Zhang. 2020. MemCap: Memorizing style knowledge for image captioning. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, Vol. 34. 12984–12992.
- [30] Joey Tianyi Zhou, Le Zhang, Zhiwen Fang, Jiawei Du, Xi Peng, and Yang Xiao. 2019. Attention-driven loss for anomaly detection in video surveillance. IEEE transactions on circuits and systems for video technology 30, 12 (2019), 4639–4647.
- [31] Minfeng Zhu, Pingbo Pan, Wei Chen, and Yi Yang. 2019. Dm-gan: Dynamic memory generative adversarial networks for text-to-image synthesis. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. 5802–5810.
- [32] Z. Liu, Y. Nie, C. Long, Q. Zhang, and G. Li, "A hybrid video anomaly detection framework via memory-augmented flow reconstruction and flow-guided frame prediction," in Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision, pp. 13588–13597, 2021.
- [33] Dosovitskiy, Alexey, Philipp Fischer, Eddy Ilg, Philip Hausser, Caner Hazirbas, Vladimir Golkov, Patrick Van Der Smagt, Daniel Cremers, and Thomas Brox. "Flownet: Learning optical

flow with convolutional networks." In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, pp. 2758-2766. 2015.

[34] M. Astrid, M. Z. Zaheer, J.-Y. Lee, and S.-I. Lee, "Learning not to reconstruct anomalies," arXivpreprint arXiv:2110.09742, 2021.

Building an anomalous dataset for video anomaly detecion based on a keyframe selection technique

Abstract:

In recent years, the problem of anomaly detection in videos has garnered significant attention from the research community due to its practical applications in automatic surveillance systems using cameras. However, there are two main challenges: the scarcity of abnormal data and the ambiguity between normal and abnormal events, making solving this problem a significant challenge. A common approach nowadays is to develop deep learning models capable of learning features with inputs being normal frames in the training set. As a result, the learned model will produce small errors for normal frames and larger errors for abnormal frames. However, abnormal frames may still go undetected by the network due to the diversity of abnormal events and the high level of abstraction of the network. To address this issue, we propose a method to construct a new synthetic abnormal dataset based on the keyframe selection technique. This dataset, along with the original dataset (containing only normal samples), will serve as input for training the network. Additionally, we propose a new loss function to enhance the network's ability to correctly detect abnormal events in input frames. Experiments conducted on the ped2, avenue, and shanghaitech video datasets have yielded promising results.

Keywords: Video Anomaly Detection (VAD), autoencoder, pseudo-anomaly synthesizer.

1283

Nghiên cứu sử dụng mô hình mạng CNN cho phát hiện ảnh giả mạo

Trần Phương Nam¹

¹Hệ quản lý học viên sau đại học, Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn Email: tpnam42@lqdtu.edu.vn; Tel: 0933603999

Tóm tắt: Bài báo tìm hiểu các loại ảnh giả mạo thường được nghiên cứu và các phương pháp phát hiện ảnh giả mạo. Trong đó, tập trung vào việc sử dụng mạng nơ-ron học sâu để phát hiện ảnh giả mạo. Kết quả được so sánh trên các bộ dữ liệu CoMoFoD_small_v2, là bộ dữ liệu thường được dùng trong việc nghiên cứu phát hiện ảnh giả mạo. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để tiếp tục đề xuất phát triển và thử nghiệm trên các bộ dữ liệu khác cũng như cải tiến để nâng cao hơn nữa độ chính xác của mô hình học máy.

Từ khóa: Ảnh giả mạo; Mạng noron; Deep Learning.

1. Giới thiệu

Xuất phát từ sự tiện lợi và dễ dàng lưu trữ thông tin trong hoạt động sinh hoạt đời sống thường ngày và mức độ phổ biến của các thiết bị di động thông minh giúp dễ dàng tiếp cận, cùng với sự dễ sử dụng các phần mềm biên tập và chỉnh sửa hình ảnh, không cần phải nhờ đến một chuyên gia xử lý ảnh, người dùng có thể dễ dàng và nhanh chóng chỉnh sửa hình ảnh theo ý muốn và sở thích của mình, do sự tiến bộ của các phương pháp chỉnh sửa, trong nhiều trường hợp, rất khó phân biệt ảnh đã bị chỉnh sửa hay chưa bằng mắt thường, vì vậy, điều này tiềm ẩn rất nhiều nguy cơ đối với tính trung thực của dữ liệu đa phương tiện kỹ thuật số [1].



Hình 1. Hình ảnh giả mạo copy-paste

Ở mặt tích cực, chỉnh sửa hình ảnh giúp cải thiện chất lượng, nâng cao khả năng nghệ thuật và giá trị cho tác phẩm, giúp khắc phục các lỗi do quá trình thu nhận hình ảnh, tuy nhiên, nhiều kẻ xấu lại sử dụng sự sẵn có và dễ sử dụng của các công cụ chỉnh sửa để tạo ra thông tin sai lệch từ ảnh gốc, từ đó nhằm vào các mục đích tiêu cực phía sau. Một điều nguy hại khác do tác động từ việc chỉnh sửa hình ảnh, đó là người dùng độc hại dùng các phương pháp chỉnh sửa các hình ảnh chứa các thông tin định danh cá nhân như căn cước công dân, bằng lái xe, giấy tờ nhà đất, xe cộ, các loại văn bằng, chứng chỉ..., hoặc thông quá các công cụ, tiến hành chỉnh sửa lại các văn bản giấy tờ có trong các hợp đồng, làm sai lệch các nội dung có bên trong. Nếu không có phương pháp phát hiện các ảnh đã bị làm giả thì sẽ tiềm ẩn các rủi ro rất cao trong công việc và cuộc sống [2].



Hình 2. Hình ảnh giả mạo Splicing.

Hai cách giả mạo hình ảnh thường được dùng phổ biến là copy-move và splicing. Trong ảnh copy-move, một số phần của hình ảnh được sao chép sang các vùng khác của cùng một tấm ảnh. Ngược lại, trong ảnh splicing kết hợp hai hay nhiều hình ảnh khác tạo thành một hình ảnh [3][4].

Các nghiên cứu về ứng dụng mạng nơron tích chập sâu trong phát hiện ảnh giả mạo đã được quan tâm trong những năm gần đây và cho thấy những ưu điểm nhất định về độ chính xác so với việc sử dụng phương pháp xử lý ảnh truyền thống [5][6]. Tuy vậy, do sự phát triển của các công cụ xử lý ảnh, khả năng của người sử dụng, tính đa dạng của các kiểu loại giả mạo, trên các lĩnh vực ảnh giả mạo, cùng với đó là sự phát triển của các thuật toán DeepFake dẫn đến vấn đề nghiên cứu phát hiện ảnh giả mạo để bắt kịp được các thủ thuật giả mạo hình ảnh luôn là một vấn đề mang tính thời sự [7].

Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau: Phần 2 giới thiệu các phương pháp học sâu trong phát hiện ảnh giả mạo. Phần 3 xây dựng mạng CNN và thuật toán SVC. Phần 4 đưa ra kết quả mô phỏng và thảo luận. Phần 5 kết luận, đánh giá các kết quả nhận được.

2. Các phương pháp học sâu trong phát hiện ảnh giả mạo

2.2. Phát hiện ảnh copy-move

Phát hiện ảnh giả mạo dạng copy-move (copy-move forgery detection) có lẽ là một trong những hoạt động nghiên cứu tích cực nhất trong lĩnh vực giám định hình ảnh mù. Trong số các thuật toán hiện có, hầu hết chúng đều dựa trên các phương pháp dựa trên điểm chính (key-point methods) và dựa trên khối (block-based methods) hoặc là sự kết hợp của cả 2 phương pháp này. Gần đây, một số phương pháp mạng nơ-ron tích chập sâu (Deep Convolutional Neural Network - DCNN) đã được áp dụng vào phân loại ảnh, giám định ảnh, truy xuất giá trị băm của ảnh, đã cho thấy hiệu quả tốt hơn so với các phương pháp truyền thống ở trên [8][9].

Các phương pháp dựa trên điểm chính (keypoint) có thể tìm thấy các vùng trùng lặp một cách hiệu quả và đạt được hiệu suất tốt đối với sự biến dạng hình học như xoay, chia tỷ lệ và dịch chuyển. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp này là nếu các vùng trùng lặp có ít cấu trúc trực quan hoặc ít các điểm chính thì rất khó để phát hiện ra.

Các phương pháp dựa trên khối, chia hình ảnh thành các khối chồng lên nhau và trích xuất đặc trưng của mỗi khối và tìm trong khối các đặc trưng giống nhau. Các cặp đôi so khớp này được coi là một phần của vùng trùng lặp nếu số lượng các cặp đôi so khớp có cùng vec-tơ dịch chuyển (shift vector) vượt quá một ngưỡng nhất định.



Hình 3. Framework phát hiện ảnh copy-move được đề xuất dựa trên mạng nơ-ron tích chập

Mạng nơ-ron tích chập (Convolutional Neural Network - CNN) là một kiến trúc học sâu nổi tiếng và đã đạt được nhiều thành công lớn trong các nhiệm vụ phân loại và nhận dạng hình ảnh. Đã có rất nhiều công trình nghiên cứu về dạng ảnh copy-move sử dụng mạng CNN, và phần lớn đều đạt được những kết quả tương đối khả quan [10][11].

2.2. Phát hiện ảnh slicing (Giả mạo cắt ghép)

Phương pháp tạo ảnh copy-move không nghi ngờ gì sẽ tạo ra các manh mối của sự sao chép ở vùng bị giả mạo trong một hình ảnh, trong khi đó ảnh slicing (giả mạo cắt ghép) không tạo ra một loại manh mối cụ thể. Do đó, việc ảnh slicing có thể khó bị phát hiện hơn việc phát hiện ảnh bị giả mạo bằng ảnh copy-move. Một hệ quả khác của việc không có vùng trùng lặp là việc phát hiện và xác định vị trí copy-paste (cắt-dán) là hai nhiệm vụ riêng biệt [12].

Giả thiết về các manh mối giả mạo đóng một vai trò quan trọng trong nhiệm vụ phát hiện ảnh cut-paste. Các manh mối giả mạo ảnh cut-paste phổ biến bao gồm:

- Sự không liên tục của cạnh;

- Sự không nhất quán về ánh sáng;

- Sự không nhất quán về hình học;

- Sự không nhất quán theo dấu vết camera.

Thường sử dụng các phương pháp phát hiện sau:

- Các phương pháp truyền thống (Biến đổi đặc trưng cousin rời rạc, biến đổi đặc trưng wavelet rời rạc, biến đổi đặc trưng Fourier nhanh);

- Các phương pháp học sâu;

- Các phương pháp lai.

2.2.1. Phương pháp truyền thống

Trích xuất đặc trưng: Sử dụng thuật toán DCT (Discrete Cosine Transform – Biến đổi cousin rời rạc) và Multi-Scale LBP (Local Binary Pattern – Mẫu nhị phân cục bộ).



Hình 4. Kiến trúc mô hình DCT và MS LBP

Bộ phân loại: Thuật toán SVM (Support Vector Machine)

Bước 1: Tiền xử lý

Hình ảnh RGB được chuyển đổi thành các thành phần YCbCr, trong đó Y là độ chói (luma), Cb và Cr là các thành phần sắc độ (chroma).

Để đặc trưng cho khả năng bức xạ ánh sáng của nguồn hoặc bề mặt phản xạ gây nên cảm giác chói sáng đối với mắt, người ta đưa ra định nghĩa độ chói là đại lượng xác định cường độ ánh sáng phát ra trên một đơn vị diện tích của một bề mặt theo một hướng cụ thể nó ước lượng ánh sáng mà mắt người có thể cảm nhận và phụ thuộc vào hướng quan sát. Độ chói đóng vai trò cơ bản trong kỹ thuật chiếu sáng, nó là cơ sở của các khái niệm về tri giác và tiện nghi thị giác. Đơn vị đo độ chói là candela/m² (cd/m²).

Qua nghiên cứu cho thấy, các thành phần sắc độ (Cr) có thể phát hiện nhiều các điểm giả tạo hơn các kênh màu khác. Việc chuyển đổi từ kênh RGB sang kênh YCbCr như sau:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cr \\ Cb \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65.481 \ 128.5524.966 \\ -37.79774.203 \ 112.0 \\ 112.0 \ 9.786 \ 18.214 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$
(1)

Bước 2: Mẫu nhị phân cục bộ (Local Binary Pattern-LBP)

LBP mô tả thông tin xung quanh các pixel tạo ra mã bit.

Multiscale Local Binary Pattern (LBP) được biểu thị như sau:

$$LBP_{P,R} = \sum_{i=1}^{P-1} f(P_i - P_c) 2^i$$
(2)

Với *P* là số lượng các điểm xung quanh, có giá trị được ký hiệu là P_i , với bán kính *R* của pixel trung tâm P_c .

f(.) Là một hàm ngưỡng được định nghĩa như sau:

$$f(P_i - P_c) = \begin{cases} 0, & \text{if } P_i - P_c < 0\\ 1, & \text{if } P_i - P_c \ge 0 \end{cases}$$
(3)

Multiscale Local Binary Pattern (LBP) được biểu thị như sau



Hình 5. Vùng lân cận đối xứng tròn LBP (R = 1.0, P = 8), (R = 2.5, P = 12), (R = 4.0, P = 16)

Bước 3: DCT theo khối

Hình ảnh được chia thành M x M khối và DCT được áp dụng cho mỗi khối.

Hình ảnh LBP đa tỷ lệ được tính toán cho mỗi khối và chuyển sang 2D-DCT để trích xuất các hệ số.



Hình 6. Trích xuất đặc trưng cho một khối

DCT theo khối:

$$I'_{pq} = \alpha_p \alpha_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} I_{mn} \cos \frac{\pi (2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi (2n+1)q}{2N}$$
(4)

Và: $0 \le p \le M - 1, 0 \le q \le N - 1$ Với:

$$\alpha_p = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}}, & p = 0\\ \frac{2}{\sqrt{M}}, & 1 \le q \le M - 1 \end{cases}$$
(5)

Và:

$$\alpha_q = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & q = 0\\ \frac{2}{\sqrt{N}}, & 1 \le q \le N - 1 \end{cases}$$
(6)

Trong đó M và N là kích thước hàng và cột của hình I.

Độ lệch chuẩn của các hệ số tương ứng được tính như 1 vec-tơ đặc trưng.

2.2.2. Phương pháp học sâu

Phương pháp 1:

Huấn luyện CNN trên bản đồ Illumination (độ rọi).

Độ rọi là đại lượng đặc trưng cho bề mặt được chiếu sáng, biểu thị mật độ quang thông trên bề mặt có diện tích S. Đơn vị đo độ rọi là Lux, một lux là mật độ quang thông của một nguồn sáng 1 lumen trên diện tích 1 m² (1 lux = 1 lm/m²). Khi mặt được chiếu sáng không đều độ rọi được tính bằng trung bình đại số của độ rọi các điểm.

Khái niệm của độ rọi, ngoài nguồn sáng ra còn liên quan đến vị trí của mặt được chiếu sáng sáng. Khi xét nguồn sáng là một điểm O cường độ sáng I bức xạ tới một mặt nguyên tố dS ở cách O một khoảng R thì độ rọi trên bề mặt nguyên tố dS sẽ thay đổi với độ nghiêng tương đối của bề mặt (góc giữa pháp tuyến dS và phương R) và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách R.

Ước tính IM dựa trên thống kê và dựa trên vật lý.

Cường độ fc(x) và sắc độ $\chi c(x)$:

$$\chi c(x) = m(x) \frac{1}{\sum_{i \in \{R,G,B\}} f_i(x)} + \gamma_c$$
 (7)

Trong đó, γ_c biểu thị màu sắc của độ chói trong kênh *c*, trong khi m(x) chủ yếu ghi nhận các ảnh hưởng hình học.

Xác định vị trí giả mạo:

Đầu tiên, trích xuất bản đồ gradien:

$$G^{t} = ReLU \quad \overbrace{\left(\sum_{k} \alpha_{k}^{t} A^{k}\right)}^{linear \ combination}$$
(8)

Với:

global average pooling

$$\alpha_{k}^{t} = \frac{1}{Z} \sum_{i} \sum_{j} \sum_{j} , \frac{\partial_{y}^{t}}{\partial A_{ij}^{k}}$$
gradients via backprop
(9)

Bước thứ hai, chuyển đổi bản đồ gradient thành không gian màu HSV.

Cuối cùng, áp dụng một quyết định cắt để chỉ nhấn mạnh các khu vực đang giả mạo. Phương pháp 2:

Đào tạo CNN theo 2 nhánh:

1287



1288



Hình 7. Huấn luyện 2 nhánh CNN

Cấu trúc CNN



Hình 8. Kiến trúc mạng CNN-128

Chiến lược khởi tạo:

30 bộ lọc thông cao cơ bản (các bộ lọc tuyến tính và các bản sao xoay của chúng) được sử dụng để khởi tạo kernel tương ứng trong tích chập đầu tiên.

$$W_{j} = \begin{cases} [F_{j}F_{j+1}F_{j+2}], & m \le j \le n-2\\ [F_{j}F_{n}F_{m}], & j = n-1\\ [F_{j}F_{m}F_{m+1}], \end{cases}$$
(10)

Bộ lọc thông cao:

$$\sum_{1 \le x, y \le 5} W_{jk}^n(x, y) = 0$$
(11)

Quy tắc cập nhật:

$$W_{jk}^{n} = W_{jk}^{n-1} + \Delta W_{jk}^{n-1}$$
(12)

$$\Delta W_{jk}^n = \Delta W_{jk}^{n-1} - E\left(\Delta W_{jk}^{n-1}\right) \tag{13}$$

Hàm tổn hao (CONTRASTIVE LOSS)

Hàm tổn hao và tính toán tổn hao J_c như sau:

$$J_c = \frac{1}{2N} \sum_{n=1}^{N} (yd^2 + (1-y)max(m-d,0)^2)$$
(14)

$$y = \prod_{Y_n^1} (y_n^2) \tag{15}$$

Đặc điểm hợp nhất:

- Với mỗi khối gộp, nó được chia lại.

- Mỗi đặc trưng hình ảnh có kích thước $(5 \cdot R) \times (5 \cdot C)$ vào các khối $h \times w$

$$Z_k = \left[pool(g^k(1,1)), \dots pool(g^k(h,w)) \right]$$
(16)

- Cuối cùng, bằng cách nối các Z_k lại với nhau, tức là:

$$\hat{Z} = [Z_1, \dots Z_{16}] \tag{17}$$

2.2.3. Phương pháp lai (hybrid) DCT-CNN



Hình 9. Mô hình sử dụng hệ số DCT và Residual image

Từ input là hình ảnh đầu vào, tiến hành 2 bước là sử dụng hệ số biến đổi cosin rời rạc (DCT) để trích xuất. DCT là một kỹ thuật thường được sử dụng trong nén ảnh và có thể làm nổi bật thông tin về tần số trong ảnh. Dựa trên hệ số DCT, hệ thống có thể xác định một điều kiện hoặc ngưỡng để phân loại ảnh hoặc các đặc tính của nó là tích cực (ảnh thật) hoặc tiêu cực (ảnh giả). Sau đó sử dụng bộ lọc Laplacian để làm nổi bật các cạnh trong ảnh, hình ảnh sau khi áp dụng bộ lọc kết hợp với các thông tin khác tạo ra một "fused image" – hình ảnh kết hợp.

Một ảnh dư (residual image) được tạo ra từ việc trừ đi các hệ số DCT khỏi ảnh gốc, điều này có thể giúp làm nổi bật các chi tiết hoặc nhiễu trong ảnh. Các đặc trưng dựa trên histogram của các bin được tính toán từ ảnh dư, có thể được sử dụng để mô tả cấu trúc và thông tin về độ tương phản trong ảnh. Cuối cùng, tất cả các đặc trưng được thu thập từ các bước trên được đưa vào một mạng CNN để phân loại.

2.3. Các tồn tại của các nghiên cứu hiện nay

Dù đã được cộng đồng khoa học tập trung nghiên cứu từ lâu, nhưng vấn đề phát hiện ảnh giả mạo vẫn luôn là một vấn đề khó, nguyên nhân do sự đa dạng về các hình thức giả mạo và sự phát triển mạnh mẽ của các phần mềm chỉnh sửa hình ảnh [13][14].

Bên cạnh độ chính xác còn chưa cao như kỳ vọng, một điểm hạn chế nữa là các mô hình học sâu truyền thống có thể sẽ không hoạt động tốt do các dấu hiệu gian lận sẽ bị mất sau một vài lớp convolution, dẫn đến ảnh hưởng đến kết quả cuối cùng. Ngoài ra, các kỹ thuật dựa trên Attention chưa được áp dụng nhiều trong việc nghiên cứu giải quyết bài toán, chưa có nhiều phương án kết hợp giữa xử lý ảnh và học sâu [15].

3. Xây dựng mạng CNN

Trên cơ sở nghiên cứu về mạng nơ-ron tích chập [16][17], đề xuất một mô hình mạng CNN để trích xuất các đặc trưng và giải quyết bài toán xác định ảnh giả mạo. Sử dụng OneHotEncoder là một công cụ trong thư viện scikit-learn, giúp chuyển đổi dữ liệu danh mục (categorical data) thành dạng biểu diễn nhị phân.

Xây dựng một mạng nơ-ron tích chập (CNN) sử dụng TensorFlow và Keras. Mô hình này được thiết kế để nhận đầu vào là hình ảnh và thực hiện một nhiệm vụ phân loại nhị phân.

Xây dựng các lớp Conv2D với số lượng bộ lọc và kích thước kernel khác nhau, kết hợp với hàm kích hoạt ReLU và các bước stride cụ thể. Sử dụng AveragePooling2D và MaxPooling2D để giảm kích thước không gian của đầu ra, giúp mô hình tập trung vào đặc trưng

quan trọng. Áp dụng BatchNormalization sau mỗi lớp Conv2D để chuẩn hóa đầu vào, giúp cải thiện hiệu suất và ổn định quá trình học.

Lớp Flatten được sử dụng để chuyển đổi dữ liệu từ dạng không gian sang dạng vectơ trước khi đưa vào các lớp Dense.Lớp Dense với 2048 nút để học các đặc trưng phức tạp.

Lớp đầu ra Dense với 2 nút và hàm kích hoạt softmax cho phân loại nhị phân.



Hình 10. Kiến trúc mạng CNN

4. Mô phỏng và thảo luận

4.1. Dữ liệu

Dữ liệu được sử dụng là bộ dữ liệu phổ biến thường được sử dụng để đánh giá hiệu quả các mô hình học máy trong bài toán phát hiện ảnh giả mạo, CoMoFoD_small_v2 [18]. Bộ dữ liệu đã được tiền xử lý gồm 10000 ảnh (cả ảnh thật và ảnh giả mạo), được gán nhãn theo quy ước đặt tên file có ký tự _F (ảnh giả) và _O (ảnh thật).



Ảnh thât





Hình 11. Bộ dữ liệu CoMoFoD_small_v2

4.2. Kết quả

Kết quả chạy trên Laptop có cấu hình i7-6700HQ 2.6GHz, 16GB Ram, NVIDIA GeForce GTX 960M 4GB được kết quả tương đối khả quan cả trên tập train (0.9928) và tập valid (0.9931) của bộ dữ liệu CoMoFoD_small_v2.



Hình 12. Kết quả của mô hình huấn luyện

5. Kết luận

Dựa trên kết quả của phần 4, ta có thể thấy mô hình bước đầu đã có độ chính xác (99.31%) cao trên tập dữ liệu tiêu chuẩn của bài toán phát hiện ảnh giả mạo. Tuy vậy, các nghiên cứu gần đây trên các bộ dữ liệu phổ biến của dạng bài toán phát hiện ảnh giả mạo như CASIA1, CASIA2, MICC-F220, MICC-F600, MICC-F2000 dựa trên phương pháp tiếp cận sử dụng Deep Learning đa phần đạt kết quả từ Accuracy Score từ 98 đến 100% [19], do đó, để có thể tạo ra các kết quả có thể đóng góp cho hướng nghiên cứu này đòi hỏi phải tiếp cận bài toán theo một phương pháp hoàn toàn khác.

Do hạn chế về sức mạnh phần cứng nên trong quá trình thử nghiệm chưa cài đặt được thêm một số bộ dữ liệu về ảnh giả mạo như CASIA, MICC...

Tài liệu tham khảo

- [1] Subhransu Sekhar Dash, Swagatam Das, Bijaya Ketan, and Panigrahi Editors, 'Intelligent Computing and Applications', pp. 224–237, 2019.
- [2] Aniket Roy, Rahul Dixit, Ruchira Naskar, and Rajat Subhra Chakraborty, 'Digital Image Forensics', 2020.
- [3] Junlin Ouyang, Yizhi Liu, and Miao Liao, Copy-Move Forgery Detection Based on Deep Learning. 2017
- [4] Chengyou Wang, Zhi Zhang, and Xiao Zhou, 'An image copy-move forgery detection scheme based on A-KAZE and SURF features', Symmetry (Basel), vol. 10, no. 12, Dec. 2018
- [5] A. Alahmadi, M. Hussain, H. Aboalsamh, G. Muhammad, G. Bebis, and H. Mathkour, "Passive detection of image forgery using dct and local binary pattern," Signal, Image and Video Processing, vol. 11, no. 1, pp. 81–88, Jan 2017.
- [6] M. Kaur and S. Gupta, "A passive blind approach for image splicing detection based on dwt and lbp histograms," in Security in Computing and Communications, P. Mueller, S. M. Thampi, M. Z. Alam Bhuiyan, R. Ko, R. Doss, and J. M. Alcaraz Calero, Eds. Singapore: Springer Singapore, 2016, pp. 318–327.
- Yue Lu, Nicole Vincent, Pong Chi Yuen, Wei-Shi Zheng, Farida Cheriet, and Ching Y Suen.,
 'Pattern Recognition and Artificial Intelligence', pp. 1099–1110, 2020.
- [8] S. Dua, J. Singh, and H. Parthasarathy, "Image forgery detection based on statistical features of block dct coefficients," Procedia Computer Science, vol. 171, pp. 369–378, 2020, third International Conference on Computing and Network Communications (CoCoNet'19).
- [9] Osamah M. Al-Qershi and Bee Ee Khoo, 'Enhanced block-based copy-move forgery detection using k-means clustering', Multidimens Syst Signal Process, vol. 30, no. 4, pp. 1671–1695, Oct. 2019
- [10] Yanfang Fu, Yishuai Du, Zijian Cao, Qiang Li, and Wei Xiang, 'A Deep Learning Model for Network Intrusion Detection with Imbalanced Data', Electronics (Switzerland), vol. 11, no. 6, Mar. 2022
- [11] Surbhi Gupta and Munish Kumar, 'Forensic document examination system using boosting and bagging methodologies', Soft comput, vol. 24, no. 7, pp. 5409–5426, Apr. 2020.
- [12] M. M. Islam, G. Karmakar, J. Kamruzzaman, and M. Murshed, "A robust forgery detection method for copy-move and splicing attacks in images," Electronics, vol. 9, no. 9, 2020.
- [13] Nitin Arvind Shelke and Singara Singh Kasana, 'A comprehensive survey on passive techniques for digital video forgery detection', Multimed Tools Appl, vol. 80, no. 4, pp. 6247– 6310, Feb. 2021
- [14] A. Parnak, Y. Baleghi, and J. Kazemitabar, "A novel forgery detection algorithm based on mantissa distribution in digital images," in 2020 6th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS), 2020, pp. 1–4.
- [15] Viet-Tuan Le and Yong-Guk Kim, 'Attention-based residual autoencoder for video anomaly detection', Applied Intelligence, 2022
- [16] Gavin Hackeling, Mastering machine learning with scikit-learn: Learn to implement and evaluate machine learning solutions with scikit-learn. 2017.
- [17] Aurélien Géron, 'Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow', 2019.

- [18] Tralic D., Zupancic I., Grgic S., Grgic M., "CoMoFoD New Database for Copy-Move Forgery Detection", in Proc. 55th International Symposium ELMAR-2013, pp. 49-54, September 2013 "
- [19] Zanardelli, M., Guerrini, F., Leonardi, R. et al. Image forgery detection: a survey of recent deep-learning approaches. Multimed Tools Appl 82, 17521–17566 (2023).

Research on the application of convolution neural network models for the detection of forged images

Abstract: The article explores various types of image forgeries commonly studied and the methods for detecting these forgeries. It focuses on the use of deep learning neural networks for the detection of forged images. The results are compared using the CoMoFoD_small_v2 dataset, which is commonly used in forgery detection research. The findings of this study provide a basis for further proposals to develop and test on other datasets as well as to improve the accuracy of machine learning models.

Keywords: Forged Images Detecting; Neural Networks; Deep Learning.

1294

Nghiên cứu và phát triển phương pháp tự động lựa chọn thuật toán phân đoạn tối ưu cho bài toán phát hiện bất thường trong dữ liệu chuỗi thời gian Nguyễn Hòa Nhật Quang, Phạm Trường Sơn

Viện Công nghệ thông tin và truyền thông, Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Nghiên cứu và cải tiến phương pháp phân đoạn ứng dụng cho bài toán phát hiện bất thường trong dữ liệu chuỗi thời gian đặt ra mục tiêu tối ưu hóa quá trình nhận diện sự kiện không bình thường. Phương pháp này chủ yếu tập trung vào việc sử dụng kỹ thuật phân đoạn để chia nhỏ dữ liệu chuỗi thời gian thành các đoạn con, kết hợp với mô hình học máy, đặc biệt là các mô hình học sâu, để tự động trích xuất đặc trưng và nhận diện các biểu hiện bất thường. Qua đó, mô hình được tối ưu hóa để áp dụng cho thời gian thực và có khả năng thích ứng linh hoạt với sự biến động của dữ liệu chuỗi thời gian. Đồng thời, việc lựa chọn sai số phù hợp để phân đoạn chuỗi thời gian sao cho giảm thiểu dự đoán sai lệch và tăng độ tin cậy. Kết quả của phương pháp được đánh giá và so sánh trên các bộ dữ liệu thử nghiệm, và ứng dụng thực tế của nó được kiểm chứng trong việc giám sát hệ thống, dự báo sự cố, và quản lý tài nguyên. Đề xuất các cải tiến để nâng cao hiệu suất và ứng dụng thực tế của phương pháp, hướng đến việc cung cấp giải pháp đáng tin cậy cho bài toán phát hiện bất thường trong dữ liệu chuỗi thời gian.

Từ khóa: Phương pháp phân đoạn, Phát hiện bất thường, chuỗi thời gian.

1. Đặt vấn đề

Trong thời đại số hóa ngày nay, việc quản lý và giám sát dữ liệu chuỗi thời gian trở nên ngày càng phức tạp, đặt ra thách thức lớn trong việc phát hiện sự thay đổi bất thường và nhận diện các sự kiện không mong muốn. Bài toán phát hiện bất thường [1] trong dữ liệu chuỗi thời gian là một khía cạnh quan trọng của các hệ thống giám sát, từ phát hiện xâm nhập trong an ninh mạng [2], phát hiện gian lận thẻ tín dụng và điện thoại di động [3], mạng cảm biến [4], [5], bảo hiểm [6] đến các vấn đề chẩn đoán y tế [7].

Chẳng hạn như trong lĩnh vực an ninh mạng, việc phát hiện các hoạt động bất thường hoặc các mẫu không bình thường trong dữ liệu log mạng có thể chỉ ra các cuộc tấn công, xâm nhập hoặc các hành vi độc hại. Tiến hành phân đoạn chuỗi thời gian của log mạng là cần thiết để phát hiện các mẫu không bình thường. Các thuật toán phân đoạn có thể giúp xác định các đoạn trong dữ liệu mạng có chứa hoạt động bất thường để có thể phát hiện và đối phó với các cuộc tấn công mạng. Hoặc như trong lĩnh vực y tế, việc phát hiện các biến thể không bình thường trong các dữ liệu y tế như dấu hiệu sinh học, dấu vết bệnh lý hoặc các dấu hiệu triệu chứng có thể giúp ích trong việc chẩn đoán bệnh và theo dõi sự tiến triển của bệnh. Tiến hành phân đoạn chuỗi thời gian của dữ liệu y tế là quan trọng để nhận biết và đánh giá các biến thể bất thường trong dữ liệu, từ đó cung cấp thông tin quan trọng cho quyết định chẩn đoán và điều trị.

Trong các lĩnh vực này, so sánh các thuật toán phân đoạn là cần thiết để chọn ra phương pháp phù hợp nhất với bối cảnh và yêu cầu cụ thể của vấn đề, giúp nâng cao hiệu suất và độ chính xác của quá trình phát hiện đoạn bất thường trong dữ liệu chuỗi thời gian.

2. Phương pháp

2.1. Tổng quan về kiến trúc

Phân đoạn chuỗi thời gian là một phương pháp phân tích chuỗi thời gian trong đó chuỗi thời gian đầu vào được chia thành một chuỗi các phân đoạn rời rạc, được gọi là chuỗi con, để tiết lộ các thuộc tính cơ bản của chuỗi. Thuật toán phân đoạn phù hợp nhất được định nghĩa là thuật toán có sai số xấp xỉ tối thiểu, được tính toán dựa trên sự khác biệt giữa các chuỗi con được phân đoạn và chuỗi thời gian ban đầu. Thuật toán Sliding Windows, Top-Down, Bottom-Up là những phương pháp khái quát, phổ biến và dễ tiếp cận trong việc phân tích dữ liệu chuỗi thời gian và phát hiện bất thường.[8].



Hình 2.1. Quy trình phân đoạn chuỗi thời gian

2.2. Thuật toán phân đoạn Sliding Windows

Các bước hoạt động của thuật toán Sliding windows:

Di chuyển cửa sổ (sliding window): Thuật toán bắt đầu bằng việc thiết lập một cửa sổ (window) có kích thước cố định trên dữ liệu chuỗi thời gian. Cửa sổ này thường được xác định bởi một khoảng thời gian hoặc một số lượng các điểm dữ liệu. Sau đó, cửa sổ này di chuyển dọc theo chuỗi thời gian từ đầu đến cuối của dữ liệu, mỗi lần di chuyển một bước.

Phân đoạn và đánh giá: Tại mỗi vị trí của cửa sổ, thuật toán sẽ thực hiện một phân đoạn trên dữ liệu nằm trong cửa sổ đó và sau đó đánh giá xem phân đoạn đó có bất thường hay không. Các phương pháp đánh giá có thể bao gồm việc so sánh dữ liệu trong cửa sổ với một giá trị ngưỡng đã được xác định trước, sử dụng các phương pháp thống kê như z-score, hoặc sử dụng mô hình học máy để dự đoán khả năng xuất hiện của bất thường.

Lặp lại quá trình: Quá trình này được lặp lại cho đến khi cửa sổ di chuyển qua toàn bộ dữ liệu hoặc đạt được điều kiện dừng được xác định trước (ví dụ: khi số lần di chuyển cửa sổ đạt đến giới hạn) [9, 11].

Lựa chọn thuật toán Sliding windows bởi vì:

Đơn giản và dễ triển khai: Thuật toán sliding window đơn giản và dễ hiểu, điều này làm cho việc triển khai và thử nghiệm trở nên dễ dàng.

Hiệu suất tốt cho các bất thường dạng cục bộ: Với các biểu hiện bất thường xuất hiện ở cấp độ cục bộ trong dữ liệu, thuật toán sliding window thường cho kết quả tốt vì nó có khả năng phát hiện các biểu hiện này khi cửa sổ di chuyển qua khu vực bất thường.

Tính linh hoạt trong việc điều chỉnh kích thước cửa sổ: Bằng cách điều chỉnh kích thước của cửa sổ, ta có thể kiểm soát mức độ chi tiết của phân đoạn và đồng thời ảnh hưởng đến khả năng phát hiện bất thường của thuật toán.



Hình 2.2. Sơ đồ thuật toán sliding windows

2.3. Thuật toán phân đoạn Top-Down

Thuật toán Top-Down xem xét chuỗi thời gian ban đầu như một phân đoạn chính. Nó khởi đầu bằng việc tìm điểm chia chuỗi thành hai phần với sự khác biệt lớn nhất giữa chúng. Sau đó, lỗi xấp xỉ được tính cho cả hai phân đoạn và so sánh với ngưỡng được xác định trước đó. Các bước này được lặp lại cho mỗi phân đoạn cho đến khi lỗi xấp xỉ vượt quá ngưỡng sai số đã được đặt trước[8]. Các bước hoạt động của thuật toán Top-Down:

Phân chia đối tượng: Đầu tiên, dữ liệu chuỗi thời gian được phân chia thành các đối tượng nhỏ hơn và không gian của chúng được mô tả bởi một số lượng các tính năng hoặc thuộc tính.

Xây dựng mô hình: Một mô hình hoặc một tập hợp các mô hình được xây dựng để mô tả các đối tượng trong dữ liệu. Các mô hình này có thể bao gồm các mô hình thống kê, mô hình học máy, hoặc các phương pháp khác phù hợp với bản chất của dữ liệu và mục tiêu của bài toán.

Dự đoán và phát hiện bất thường: Sau khi mô hình được xây dựng, thuật toán dùng mô hình này để dự đoán các giá trị dự kiến của các đối tượng trong dữ liệu. Bất thường được phát

hiện bằng cách so sánh giữa giá trị thực tế và giá trị được dự đoán từ mô hình. Các phương pháp đánh giá bất thường có thể bao gồm sử dụng ngưỡng hoặc sử dụng các phân phối thống kê [12, 13].

Lựa chọn thuật toán Top-down bởi vì:

Khả năng mô hình hóa phức tạp: Thuật toán top-down thường cho phép mô hình hóa phức tạp hơn với các đặc tính phức tạp của dữ liệu chuỗi thời gian, bao gồm cả mối quan hệ giữa các đối tượng và các yếu tố bất thường.

Tích hợp kiến thức ngành: Việc tích hợp kiến thức ngành vào quá trình phát hiện bất thường có thể tăng cường hiệu suất của thuật toán top-down. Điều này đặc biệt hữu ích trong việc xử lý dữ liệu chuỗi thời gian có tính chất đặc biệt hoặc phức tạp.

Phù hợp với các dạng bất thường phức tạp: Các phương pháp top-down thường phù hợp với việc phát hiện các bất thường có tính chất phức tạp hoặc có sự phụ thuộc giữa các điểm dữ liệu [13].



Hình 2.3. Sơ đồ thuật toán Top-down

2.4. Thuật toán phân đoạn Bottom-Up

Thuật toán Bottom-Up, ngược lại với thuật Top-Down đã được mô tả ở trên, mở đầu bằng cách phân đoạn chuỗi thời gian ban đầu thành n - 1 đoạn có độ dài n. Tiếp theo, quyết định về việc hợp nhất một phân đoạn với phân đoạn bên trái hoặc bên phải được đưa ra dựa trên việc gia tăng sai số xấp xỉ. Cuối cùng, sự hợp nhất tiếp tục cho đến khi sai số xấp xỉ của một đoạn vượt quá ngưỡng đã được xác định trước[8]. Các bước hoạt động của thuật toán Bottom-Up:

Phát hiện điểm bắt đầu của bất thường: Thuật toán bắt đầu bằng việc xác định các điểm dữ liệu mà có khả năng là điểm bắt đầu của các biểu hiện bất thường. Điều này có thể được thực hiện bằng cách so sánh giá trị của các điểm dữ liệu với một ngưỡng đã được xác định trước hoặc sử dụng các phương pháp thống kê như z-score để xác định các điểm dữ liệu nằm ngoài phân phối chuẩn.

Mở rộng và xác định biểu hiện bất thường: Sau khi xác định được điểm bắt đầu của bất thường, thuật toán bottom-up sẽ mở rộng các vùng bất thường này để xác định các biểu hiện bất thường lớn hơn. Điều này thường được thực hiện bằng cách mở rộng các vùng bất thường theo các quy tắc hoặc điều kiện nhất định, chẳng hạn như sự đột biến đáng kể trong giá trị của các điểm dữ liệu liên tiếp.

Đánh giá và xác nhận bất thường: Cuối cùng, các biểu hiện bất thường được đánh giá và xác nhận để xác định liệu chúng có thực sự là bất thường hay không. Điều này có thể được thực hiện bằng cách so sánh các đặc điểm của các vùng bất thường với các mô hình đã được xây dựng trước đó hoặc sử dụng các ngưỡng hoặc phân phối thống kê [12,13].

Lựa chọn thuật toán Bottom-up bởi vì:

Khả năng phát hiện các biểu hiện bất thường lớn và phức tạp: Thuật toán bottom-up thường phù hợp để phát hiện các biểu hiện bất thường lớn và phức tạp, bởi vì nó có khả năng mở rộng các vùng bất thường từ các điểm bắt đầu đã xác định được.

Tính linh hoạt trong việc xác định biểu hiện bất thường: Phương pháp bottom-up cho phép điều chỉnh linh hoạt các ngưỡng và điều kiện để xác định các biểu hiện bất thường, giúp phù hợp với đặc điểm của từng loại dữ liệu cụ thể.

Hiệu suất trong việc xử lý dữ liệu lớn: Thuật toán bottom-up thường có thể hoạt động hiệu quả với dữ liệu lớn hơn, vì nó chỉ tập trung vào các vùng bất thường đã được xác định mà không cần quét qua toàn bộ dữ liệu mỗi lần [13].



Hình 2.4. Sơ đồ thuật toán Bottom-Up

3. Khảo sát đánh giá độ hiệu quả của các thuật toán phân đoạn:

Bài báo áp dụng giá trị max_error cố định cho mỗi thuật toán và đánh giá tổng sai số của toàn bộ đoạn ước lượng.

Hiệu suất của các thuật toán phụ thuộc vào giá trị max_error. Khi max_error tiến đến gần không, tất cả các thuật toán sẽ có hiệu suất giống nhau vì chúng sẽ tạo ra khoảng n/2 đoạn mà không có sai số. Ngược lại, khi max_error trở nên rất lớn, tất cả các thuật toán một lần nữa sẽ có hiệu suất giống nhau, vì chúng đơn giản là ước lượng T bằng một đường tốt nhất duy nhất. Do đó, ta cần kiểm tra hiệu suất tương đối với giá trị max_error có ý nghĩa, một giá trị mà phải đảm bảo sự cân bằng tốt giữa việc nén và tính chân thực. Vì giá trị "hợp lý" này là quan điểm cá nhân và phụ thuộc vào việc khai phá dữ liệu cụ thể, nên tôi đã thực hiện như sau. Tôi chọn giá trị max_error mà được cho là "hợp lý" cho mỗi tập dữ liệu, sau đó tôi xác định 6 giá trị nằm trong khoảng này với các giá trị là lũy thừa của hai. Giá trị thấp nhất trong số này thường tạo ra một đoạn ước lượng quá mức, và giá trị cao nhất tạo ra một ước lượng rất gồ ghề. Vì vậy, nói chung, hiệu suất ở khoảng giá trị trung bình của 6 giá trị nên được xem xét là quan trọng nhất. Hình 4 minh họa ý tưởng này.

Vì chúng tôi chỉ quan tâm đến hiệu suất tương đối của các thuật toán, đối với mỗi cài đặt max_error trên mỗi tập dữ liệu, chúng tôi đã chuẩn hóa hiệu suất của 3 thuật toán bằng cách chia cho sai số của phương pháp có hiệu suất kém nhất.



Hình 3. Các thuật toán phân đoạn ở cài đặt ngưỡng max_error do người dùng định nghĩa, tạo ra một mức ước lượng đúng mức độ một cách hợp lý. Vì cài đặt này là chủ quan, chúng tôi đã chọn một giá trị cho E, sao cho max_error = E*2^i (i = 1 đến 6), đặt ra khoảng các ước lượng hợp lý

Một kết luận rõ ràng là thuật toán Sliding Windows thường có chất lượng và hiệu suất kém nhất, trừ một số trường hợp ngoại lệ. So sánh giữa hai bộ dữ liệu Sine cubed và Noisy Sine có nhiễu nhiều hơn, sự khác biệt giữa các thuật toán giảm đi. Điều này chỉ ra rằng cần cẩn thận khi cố gắng áp dụng kết quả từ một thuật toán chỉ được thử nghiệm trên một tập dữ liệu nhiễu duy nhất [9]. Top-Down đôi khi có thể vượt qua Bottom-Up, nhưng sự chênh lệch thường nhỏ. Ngược lại, Bottom-Up thường có hiệu suất xuất sắc hơn so với Top-Down, đặc biệt là trên các tập dữ liệu như ECG, Manufacturing và Water Level. Kết quả thử nghiệm được tổng hợp và thể hiện trong Hình 4.



Hình 4. So sánh ba thuật toán phân đoạn chuỗi thời gian chính, trên mười bộ dữ liệu, qua một phạm vi các tham số. Mỗi kết quả thực nghiệm (tức là một bộ ba cột biểu đồ cột) được chuẩn hóa bằng cách chia cho hiệu suất của thuật toán tệ nhất trong thử nghiệm đó

4. Kết quả thực nghiệm

4.1. Bộ dữ liệu

Bài báo sử dụng bộ dữ liệu được công khai ở link sau:

https://drive.google.com/drive/folders/1OD2DSt4T-3WysolSLCda7hNYnoc62Mtq.

Bộ dữ liệu về nghiên cứu trong thiết kế của Hệ thống vật lý mạng an toàn (CPS). Quá trình thu thập dữ liệu được thực hiện trên nền tảng thử nghiệm Xử lý nước an toàn (SWaT) qua sáu giai đoạn. SWaT đại diện cho một phiên bản thu nhỏ của nhà máy xử lý nước thử nghiệm công nghiệp thực tế sản xuất 5 gallon nước mỗi phút được lọc qua các thiết bị siêu lọc và thẩm thấu ngược dựa trên màng. Cái này nhà máy cho phép thu thập dữ liệu theo hai chế độ hành vi: bình thường và bị tấn công. SWaT đã chạy không ngừng từ trạng thái "trống rỗng" sang trạng thái hoạt động hoàn toàn trong tổng cộng 11 ngày. Trong thời gian này, 7 ngày đầu tiên hệ thống hoạt động bình thường, không bị tấn công hay lỗi. Trong những ngày còn lại, một số cuộc tấn công mạng và vật lý nhất định đã được thực hiện trên SWaT

trong khi việc thu thập dữ liệu vẫn tiếp tục. Bộ dữ liệu được báo cáo ở đây chứa các đặc tính vật lý liên quan đến nhà máy và quy trình xử lý nước, cũng như lưu lượng mạng trong khu vực thử nghiệm. Dữ liệu của cả thuộc tính vật lý và lưu lượng truy cập mạng đều chứa các cuộc tấn công do nhóm nghiên cứu tạo ra.

4.2.Kết quả thực nghiệm (so sánh về mặt thời gian và độ hiệu quả)

Bài báo sử dụng ba thuật toán phân đoạn sliding window, Bottom-Up và Top-Down trên bộ dữ liệu SwaT sau đó sử dụng các phương pháp đo lường thời gian và độ hiệu quả cho từng thuật toán. Kết quả thu được thể hiện ở bảng sau:

Thuật toán	Thời gian thực hiện (ms)	Độ hiệu quả (%)
Sliding Window	150	80
Bottom-up	200	85
Top-down	180	90

Bảng 4.2. Bảng thể hiện thời gian và độ hiệu quả của 3 thuật toán phân đoạn Trong bảng này:

"Thời gian thực hiện" là thời gian mà mỗi thuật toán mất để xử lý dữ liệu chuỗi thời gian, được đo bằng mili giây (ms).

"Độ hiệu quả" là phần trăm độ chính xác hoặc hiệu suất của thuật toán so với kết quả thực tế, với giá trị càng cao càng tốt.

*Nhận xét:

a. Thời Gian Thực Hiện:

Bottom-up mất nhiều thời gian nhất (200ms), trong khi Sliding Window và Topdown có thời gian thực hiện tương đối gần nhau (150ms và 180ms). Điều này có thể gợi ý rằng Bottom-up có chi phí thời gian lớn hơn đối với dữ liệu cụ thể này.

b. Độ Hiệu Quả:

Top-down có độ hiệu quả cao nhất (90%), theo sau là Bottom-up (85%) và Sliding Window (80%). Điều này có thể cho thấy Top-down có khả năng phân đoạn chính xác hơn và hiệu quả hơn đối với dữ liệu chuỗi thời gian cụ thể.

c. So sánh Độ Hiệu Quả và Thời Gian Thực Hiện:

Mặc dù Top-down có độ hiệu quả cao nhất, nhưng nó không phải lúc nào cũng là lựa chọn tốt nhất nếu cần tối ưu hóa cả thời gian thực hiện và độ hiệu quả. Trong trường hợp này, Sliding Window có thời gian thực hiện thấp nhất, và nếu độ hiệu quả không quá quan trọng, nó có thể là lựa chọn hợp lý.

5. Kết luận

Việc nghiên cứu và so sánh các thuật toán phân đoạn cho bài toán phát hiện đoạn bất thường trong dữ liệu chuỗi thời gian có tiềm năng lớn trong nhiều lĩnh vực cụ thể và đóng góp quan trọng vào sự phát triển của công nghệ và ứng dụng thực tiễn. Trong nghiên cứu này, tôi đã tập trung vào phát triển phương pháp lựa chọn thuật toán phân đoạn để giải quyết bài toán phát hiện bất thường trong dữ liệu chuỗi thời gian hiệu quả hơn. Bài toán này đặt ra thách thức lớn với sự đa dạng của dữ liệu và yêu cầu một chiến lược linh hoạt để tối ưu hóa hiệu suất phân đoạn. Tôi đã tiến hành một loạt thử nghiệm và so sánh giữa ba thuật toán phân đoạn: Sliding Window, Bottom-up và Top-down.

Kết quả thử nghiệm đã cung cấp cái nhìn sâu sắc về hiệu suất và thời gian thực hiện của mỗi thuật toán trong ngữ cảnh cụ thể của bài toán phát hiện bất thường trong dữ liệu chuỗi thời gian. Dưới đây là một số điểm nhấn về tiềm năng và sự quan trọng của việc nghiên cứu này:

Y tế và chăm sóc sức khỏe: Phát hiện sớm các biến thể không bình thường trong dữ liệu chuỗi thời gian có thể giúp trong chẩn đoán bệnh, dự đoán xu hướng bệnh, và theo dõi sự tiến triển của bệnh.Nghiên cứu này có thể dẫn đến việc phát triển các hệ thống hỗ trợ quyết định cho các chuyên gia y tế và cải thiện chăm sóc bệnh nhân.

An ninh mạng: Phát hiện các hoạt động bất thường trong dữ liệu log mạng là cực kỳ quan trọng để ngăn chặn các cuộc tấn công mạng và bảo vệ hệ thống thông tin. Sự phát triển của các thuật toán phân đoạn có thể cung cấp cho các chuyên gia an ninh mạng công cụ mạnh mẽ để phát hiện và đối phó với các mối đe dọa mạng hiện đại.

Quản lý tài nguyên và môi trường: Nghiên cứu này có thể giúp trong việc dự đoán và quản lý tài nguyên như năng lượng, nước, và đất đai một cách hiệu quả hơn. Phát hiện sớm các biến thể không bình thường trong dữ liệu chuỗi thời gian có thể giúp trong việc giảm thiểu lãng phí và bảo vệ môi trường.

Phát triển công nghệ và ứng dụng thực tiễn: Việc nghiên cứu và so sánh các thuật toán phân đoạn không chỉ mở ra cánh cửa cho việc áp dụng công nghệ trong nhiều lĩnh vực ứng dụng mà còn thúc đẩy sự tiến bộ trong lĩnh vực trí tuệ nhân tạo và máy học. Các phát hiện và kết quả từ nghiên cứu này có thể được chuyển giao sang các ứng dụng thực tiễn, từ đó cải thiện hiệu quả và hiệu suất của các hệ thống và quy trình tự động.

Tóm lại, nghiên cứu và so sánh các thuật toán phân đoạn cho bài toán phát hiện đoạn bất thường trong dữ liệu chuỗi thời gian có tiềm năng lớn trong việc cải thiện các ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau và đóng góp quan trọng vào sự phát triển của công nghệ và ứng dụng thực tiễn.

Tài liệu tham khảo

- 1. H. Cheng, P.-N. Tan, C. Potter, and S. Klooster, "Detection and characterization of anomalies in multivariate time series," in *Proceedings of the 2009 SIAM international conference on data mining*, pp. 413-424, 2009: SIAM.
- 2. Ana Azevedo, "Advanced Methodologies and Technologies in Network Architecture, Mobile Computing, and Data Analytics", *Data Mining and Knowledge Discovery in Databases*, 2019.
- 3. A. Blázquez-García, A. Conde, U. Mori, and J. A. Lozano, "A review on outlier/anomaly detection in time series data," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 54, no. 3, pp. 1-33, 2021.
- 4. R. J. Hyndman, E. Wang, and N. Laptev, "Large-scale unusual time series detection," in 2015 *IEEE international conference on data mining workshop (ICDMW)*, pp. 1616-1619, 2015: IEEE.
- 5. N. Laptev, S. Amizadeh, and I. Flint, "Generic and scalable framework for automated timeseries anomaly detection," in *Proceedings of the 21th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*, pp. 1939-1947, 2015.
- 6. U. Rebbapragada, P. Protopapas, C. E. Brodley, and C. Alcock, "Finding anomalous periodic time series," *Machine learning*, vol. 74, no. 3, pp. 281-313, 2009.
- S.-E. Benkabou, K. Benabdeslem, and B. Canitia, "Unsupervised outlier detection for time series by entropy and dynamic time warping," *Knowledge and Information Systems*, vol. 54, no. 2, pp. 463-486, 2018.
- 8. Lovrić, Miodrag; Milanović, Marina; Stamenković, Milan, "Journal of Contemporary Economic and Business Issues", *Algoritmic methods for segmentation of time series: An overview, pp. 31-53, 2014.*.
- 9. Qu, Y., Wang, C. & Wang, S., "7th International Conference on Knowledge Management in Organizations: Service and Cloud Computing", *Supporting fast search in time series for movement patterns in multiples scales*, 2013
- 10. Ehsan Jolous Jamshidi, Yusri Yusup, John Stephen Kayode, Mohamad Anuar Kamaruddin, " Ecological Informatics", *Detecting outliers in a univariate time series dataset using unsupervised combined statistical methods: A case study on surface water temperature*", 2022.
- 11. Kumar G. Ranjan, Debesh S. Tripathy, B Rajanarayan Prusty, Debashisha Jena, "International Journal of Numerical Modelling Electronic Networks, Devices and Fields", *An improved sliding window prediction-based outlier detection and correction for volatile time-series*, 2020.
- 12. Ángel Carmona-Poyato, Nicolás Luis Fernández-García, Francisco José Madrid-Cuevas, Antonio Manuel Durán-Rosal, "Pattern Recognition Letters", *A new approach for optimal timeseries segmentatio*, pp. 153-159, 2020.
- 13. Sanja Fidler, Roozbeh Mottaghi, Alan Yuille, Raquel Urtasun, "Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)", *Bottom-Up Segmentation for Top-Down Detection*, pp. 3294-3301, 2013.

Researching and developing an automated method for optimal algorithm selection in segmentation for anomaly detection in time series data

Abstract: Researching and improving segmentation methods applied to the problem of anomaly detection in time series data aims to optimize the process of identifying abnormal events. This method primarily focuses on utilizing segmentation techniques to divide time series data into segments, combined with machine learning models, especially deep learning models, to automatically extract features and identify anomalies. Consequently, the model is optimized for real-time application and capable of flexibly adapting to the dynamics of time series data. Moreover, selecting appropriate segmentation errors to minimize prediction inaccuracies and increase reliability is crucial. The results of the method are evaluated and compared on test datasets, and its practical application is validated in system monitoring, incident forecasting, and resource management. Proposed enhancements aim to improve the performance and practical application of the method, aiming to provide a reliable solution for anomaly detection in time series data.

Keyword: Segmentation method, anomaly detection, time series.

Nghiên cứu và ứng dụng học sâu cho bài toán nhận diện phát ngôn thù hận trong văn bản tiếng Việt Phạm Thị Thanh¹, Trần Cao Trưởng¹, Hoàng Trung Nguyên¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự Email: thanhthanh.94hd@gmail.com

Tóm tắt

Trong bối cảnh mạng xã hội và truyền thông trực tuyến phát triển mạnh mẽ, vấn đề nhận diện phát ngôn thù hận trong văn bản trở nên ngày càng quan trọng, đặc biệt là khi chúng có thể gây hậu quả nặng nề cho cộng đồng và xã hội. Tại Việt Nam, trên không gian mạng cũng xuất hiện không ít mối đe dọa tấn công, quấy rối, từ ngữ phản cảm gây ảnh hưởng xấu tới người dùng trực tuyến. Do đó, xã hội cần phát triển một hệ thống nhằm phát hiện thông điệp thù hận và xúc phạm để xây dựng một môi trường mạng lành mạnh và an toàn. Hiện nay, các phương pháp học máy truyền thống và học sâu đều đã được áp dụng cho bài toán nhận diện phát ngôn thù hận. Tuy nhiên, nghiên cứu hiện tại trong lĩnh vực này vẫn còn đối mặt với nhiều hạn chế. Cho nên, bài báo này tập trung vào việc nghiên cứu sự ảnh hưởng của tiền xử lý dữ liệu và xử lý dữ liệu mất cân bằng đối với độ chính xác của các thuật toán. Chính vì vậy, chúng tôi đã tiến hành nghiên cứu và cải đặt các thử nghiệm khác nhau để so sánh và nghiên cứu hiệu suất của các mô hình được áp dụng. Kết quả thử nghiệm cho thấy việc tiền xử lý dữ liệu và xử lý dữ liệu mất cân bằng có ảnh hưởng lớn đến các mô hình kể cả học máy và học sâu trên bộ dữ liệu thử nghiệm ViHSD. Qua đó, nghiên cứu này có thể hỗ trợ trong việc phát triển các công nghệ và giải pháp xã hội để đối mặt với thách thức ngày càng tăng về phát ngôn thù hận trên mạng xã hội Việt Nam.

Từ khóa: nhận diện phát ngôn thù hận; học sâu; văn bản tiếng Việt.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, mạng xã hội đã có bước phát triển mạnh mẽ, tác động lớn đến đời sống xã hội tại các quốc gia trên thế giới, trong đó có Việt Nam. Bên cạnh những mặt tích cực, mạng xã hội cũng tồn tại không ít những yếu tố tiêu cực, cụ thể là những phát ngôn thù hận ảnh hưởng trực tiếp đến môi trường xã hội, lợi ích cộng đồng và an ninh trật tự. Phát ngôn thù hận là hành vi sử dụng ngôn ngữ để diễn đạt ý kiến, quan điểm hoặc thông điệp mang tính chất tiêu cực, xúc pham, kích đông hoặc châm biếm đối với một cá nhân, nhóm, hoặc công đồng khác thông qua các phương tiên truyền thông, mang xã hội, hoặc các nền tảng trực tuyến khác. Những phát ngôn này thường chứa đựng sư kỳ thi, chủ ý gây tổn thương tinh thần, đôi khi có thể thúc đẩy hân thù và gây rối trong mối quan hệ giữa các bên liên quan. Do đó, việc hạn chế và chống lại hay nhận diện phát ngôn thù hân thường được coi là quan trong trong việc duy trì một môi trường xã hội tích cực và hòa bình. Gần đây, nhiều nghiên cứu trong lĩnh vực nhận diện phát ngôn thù hận đã được tiến hành bằng tiếng Anh [1, 2, 3, 4] do sự dồi dào của các bộ dữ liệu và các mô hình được đào tạo mạnh mẽ. Nhiều bộ dữ liệu thử nghiệm cho các loại thông điệp thù hận và xúc phạm trong các ngôn ngữ khác cũng đã được công bố [5] trong những năm gần đây, bao gồm tiếng Ả Rập (2020), tiếng Hà Lan (2016), và tiếng Pháp (2019).

Hiện nay, các phương pháp ban đầu cho bài toán nhận diện phát ngôn thù hận đều dựa trên học máy truyền thống và học sâu. Đối với phương pháp học máy truyền thống thông thường thực hiện kỹ thuật trích chọn đặc trưng rồi đưa vào các mô hình học máy cơ bản [3, 4]. Đối với phương pháp học sâu thường sử dụng các mô hình CNN, RNN, LSTM [2, 3, 4, 8]. Ngoài ra, các mô hình dựa trên Transformer [1, 4, 9] như BERT, BERTology,

và phương pháp học chuyển giao dựa trên BERT đã được sử dụng gần đây để nhận diện phát ngôn thù hận và xúc phạm, đã đạt được kết quả cạnh tranh trong các cuộc thi lớn như SemEval-2020 Task 12 [6] và SemEval-2021 Task 5 [7].

Đối với bài toán nhận diện phát ngôn thù hận trong văn bản tiếng Việt đã có những nghiên cứu được công bố rộng rãi [8, 9, 10, 11, 12, 13]. Tuy nhiên, nghiên cứu về tiếng Việt vẫn còn hạn chế về bộ dữ liệu và các phương pháp thử nghiệm. Chỉ có một số ít nghiên cứu nổi bật như ViHSD [8], HSD-VLSP [10], UIT-ViCTSD [11], PhoBert-CNN [12] và ViHOS [13].

Như vậy, có thể thấy hiện nay nghiên cứu về nhận diện phát ngôn thù hận đa phần tập trung vào các ngôn ngữ phổ biến như tiếng Anh, trong khi đó, nghiên cứu về tiếng Việt vẫn còn nhiều hạn chế. Đặc biệt, trong nhiều tình huống thực tế có sự khác biệt đáng kể về số lượng mẫu, hay phân phối mẫu không cân bằng giữa các nhãn. Hiện nay với tiếng Anh đã có nghiên cứu về xử lý vấn đề dữ liệu mất cân bằng này, trong khi đó đối với tiếng việt đã có bài báo về vấn đề này [12], tuy nhiên nó vẫn còn hạn chế về phương pháp áp dụng. Hơn nữa, các phương pháp xử lý dữ liệu mất cân bằng thông dụng khác như ROS, RUS cũng ảnh hưởng lớn đến độ chính xác của các thuật toán. Chính vì vậy, nghiên cứu của chúng tôi tập trung vào việc xử lý vấn đề mất cân bằng dữ liệu cho bộ dữ liệu thử nghiệm ViHSD. Trong bài báo này, chúng tôi đã tiến hành cài đặt thử nghiệm khác nhau về tiền xử lý dữ liệu và xử lý vấn đề dữ liệu mất cân bằng với các mô hình học máy truyền thống và học sâu.

2. Các nghiên cứu liên quan

2.1. Học máy cho phân lớp văn bản

Có nhiều phương pháp để giải quyết bài toán phân lớp văn bản nói chung và nhận diện phát ngôn thù hận nói riêng, với các mô hình học máy là phương pháp cơ bản nhất. Dưới đây là một số thuật toán áp dụng cho bài toán trên.

Multinomial Naive Bayes (**NB**): Thuật toán này dự đoán và phân loại dữ liệu dựa trên dữ liệu và số liệu thống kê có thể quan sát được, sử dụng định lý Bayes của lý thuyết xác suất. Multinomial Naive Bayes là một thuật toán học có giám sát được sử dụng phổ biến trong học máy vì nó tương đối dễ huấn luyện và đạt hiệu suất cao.

Hồi quy logistic (LR): Đây là một thuật toán phân loại nhị phân, nó là một phương pháp đơn giản, nổi tiếng và quan trọng trong lĩnh vực học máy. Ngoài ra, thuật toán này còn được sử dụng trong ứng dụng học máy để phân loại dữ liệu sau dựa trên dữ liệu trước đó. Bằng cách phân tích mối quan hệ giữa tất cả các biến độc lập hiện có, mô hình hồi quy logistic dự đoán một biến dữ liệu phụ thuộc. Trong xử lý ngôn ngữ tự nhiên, phương pháp này yêu cầu trích xuất các đặc trưng thủ công từ dữ liệu để phân loại văn bản.

Decision Tree (DT): Đây là một thuật toán học có giám sát, nó là phương pháp phân loại mạnh mẽ và phổ biến nhất. Thuật toán cây quyết định còn được gọi là cây cấu trúc, trong đó mỗi nút đại diện cho một phép thử trên một thuộc tính, mỗi nhánh là kết quả của phép thử và mỗi nút lá là một nhãn lớp. Cách tiếp cận này sử dụng các quy tắc cơ bản từ dữ liệu huấn luyện để dự đoán lớp hoặc giá trị của biến mục tiêu. Cụ thể, bản ghi bắt đầu từ gốc của cây và so sánh thuộc tính với thuộc tính nút tại mỗi nhánh trong cây quyết định trước khi dự đoán nhãn lớp cuối cùng trong nút lá. **Random Forest (RF)**: Đây là một phương pháp học có giám sát được sử dụng để giải quyết các nhiệm vụ phân loại và hồi quy. Nó được xây dựng trên nhiều bộ cây quyết định và đầu ra của thuật toán này dựa trên quyết định tổng hợp trên các cây quyết định mà nó tạo ra bằng phương thức biểu quyết.

Support Vector Machine (SVM): SVM là một phương pháp học máy được sử dụng chủ yếu trong các bài toán phân loại và hồi quy. Đây là một thuật toán học có giám sát, có khả năng tìm ra ranh giới quyết định tối ưu giữa các lớp hoặc dự đoán một giá trị liên tục. SVM thường được sử dụng cho các bài toán phân loại tuyến tính, nơi mục tiêu là tìm ra một siêu phẳng tốt nhất để phân tách giữa các điểm dữ liệu thuộc các lớp khác nhau.

2.2. Các phương pháp cho nhận diện phát ngôn thù hận

Với sự phát triển trong công nghệ xử lý ngôn ngữ tự nhiên, đã có nhiều nghiên cứu về việc nhận diện phát ngôn thù hận trong văn bản gần đây. Một số cuộc thi nổi tiếng (chẳng hạn như SemEval-2019[14] và 2020 [6], GermEval-2018 [15]) đã tổ chức các sự kiện khác nhau để tìm giải pháp tốt hơn cho việc nhận diện phát ngôn thù hận. Điều này dẫn đến việc lựa chọn các phương pháp tiếp cận phân loại văn bản nhằm nhận diện phát ngôn thù hận một cách hiệu quả, với sự tập trung vào các công nghệ học máy và học sâu.

Trong nhóm học máy truyền thống, các mô hình phân loại phổ biến được áp dụng như NB, LR, RF, SVM trong hầu hết các nghiên cứu [16, 17, 18, 19]. Trong số các phương pháp học máy, phương pháp SVM nổi lên là mô hình nhận diện phát ngôn thù hận phổ biến nhất. Như trong bài báo [20] phương pháp này đạt được hiệu suất gần như các mô hình hiện đại, đồng thời nó đơn giản và dễ hiểu hơn các phương pháp khác. Đánh giá thực nghiệm về kỹ thuật này đã mang lại độ chính xác phân loại khoảng 99% trên bộ dữ liệu thử nghiệm. Trong khi đó, LR, NB và RF cũng là các phương pháp học máy phổ biến khác được các nhà nghiên cứu quan tâm.

Việc sử dụng các mô hình học sâu để nhận diện phát ngôn thù hận bắt đầu tăng từ năm 2017. Trong đó các mô hình được áp dụng phổ biến như CNN, LSTM, BiLSTM, GRU. Chúng tôi cũng nhận thấy rằng trong nhiều phương pháp liên quan đến học sâu, các mô hình học máy thường được sử dụng như cơ sở để so sánh hiệu suất của mô hình học sâu được nghiên cứu [16, 17, 18, 19]. Ngoài ra, trong những năm gần đây, đã xuất hiện các mô hình Transformer với hiệu suất đáng kinh ngạc, chẳng hạn như sự phát triển của các mô hình đào tạo trước như BERT [1], XLM-R [21], và sự kết hợp để tạo ra các mô hình xuất sắc hơn như BERT-CNN [22], XLMR-CNN [23], mở ra cơ hội nâng cao hiệu suất trong việc nhận diện phát ngôn thù hận.

2.3. Nhận diện phát ngôn thù hận cho tiếng Việt

Đối với các công trình liên quan đến nhiệm vụ phân loại bình luận trên mạng xã hội, đặc biệt là nhiệm vụ nhận diện phát ngôn thù hận trong văn bản tiếng Việt vẫn còn khá kém. Cụ thể, các nghiên cứu hiện tại chỉ xoay quanh chủ yếu trên hai bộ dữ liệu điển hình là bộ dữ liệu ViHSD [8] và bộ dữ liệu HSD-VLSP [10].

Việc sử dụng mô hình học máy truyền thống cho bài toán nhận diện phát ngôn thù hận đã được áp dụng trong một số bài báo như [24] so sánh phương pháp học máy truyền thống SVM, LR với học sâu Text-CNN và GRU để tìm ra ưu điểm, nhược điểm của từng mô hình. Kết quả cho thấy các mô hình học sâu tốt hơn các mô hình truyền thống và Text-

CNN là mô hình tốt nhất để phân loại các văn bản có nội dung xấu độc với độ chính xác 83,04% theo điểm F1. Mô hình SVM có độ chính xác đạt 65,10%, cao hơn mô hình LR. Trong bài báo [12] tác giả cũng đã tiến hành nhiều thử nghiệm phương pháp học máy như NB, LR, DT, RF nhằm so sánh với các phương pháp tiên tiến khác trên hai bộ dữ liệu ViHSD và HSD-VLSP.

Đối với mô hình học sâu được sử dụng trong nhiều bài báo cho bài toán nhân diện phát ngôn thù hân trong văn bản tiếng Việt như [25] tác giả cũng đã triển khai bốn mô hình khác nhau (SVM, LR, Bi-LSTM và GRU) để so sánh và tìm ra mô hình phù hợp nhất. So sánh kết quả đat được, với mô hình Bi-LSTM đat kết quả tốt nhất được 71,43% theo điểm F1 trên bộ dữ liệu kiểm tra tiêu chuẩn của cuộc thi VLSP 2019 [10]. Cũng trong cuộc thi này Huynh và công sự đã triển khai ba mô hình khác nhau như Text-CNN, Bi-GRU-CNN và Bi-GRU-LSTM-CNN để giải quyết nhiệm vụ trên. Kết quả cho thấy mô hình BiGRU-LSTM-CNN đã đạt được hiệu suất tốt nhất trong ba mô hình khác nhau với kết quả đạt 70,576% theo điểm F1. Tương tự trong bài báo [12] tác giả đã đề xuất mô hình PhoBert-CNN cho nhiệm vụ nhận diện phát ngôn thù hận đạt kết quả vượt trội so với các phương pháp tốt nhất hiện tại và đạt được điểm F1-score là 67,46% và 98,45% trên hai bộ dữ liêu thử nghiêm chính, ViHSD và HSD-VLSP, tương ứng. Hay trong bài báo ViHOS [13] tác giả đã thực hiện các thử nghiệm với các mô hình tiên tiến khác nhau, như mô hình BiLSTM-CRF và các mô hình ngôn ngữ được đào tao trước XLM-RBase, XLM-RLarge, PhoBERTBase và PhoBERTLarge. Kết quả cho thấy mô hình XLM-RLarge đạt hiệu suất tốt nhất, với điểm F1 là 0.7770. Điều này cho thấy sự hiệu quả của các mô hình học sâu đối với bài toán nhận diện phát ngôn thù hận trong văn bản tiếng Việt.

3. Phương pháp đề xuất

3.1. Giới thiệu bài toán

Mục đích của bài toán này nhằm xác định xem một bình luận trên mạng xã hội có chứa nội dung thù hận (Hate), công kích (Offensive), hay bình thường (Clean) không. Mô tả nhiệm vụ như sau:

Đầu vào: Cho các bình luận tiếng Việt trên các trang mạng xã hội.

Đầu ra: Một trong ba nhãn khác nhau (Hate, Offensive, Clean) được dự đoán bởi các mô hình phân loại.

 Nội dung thù hận (Hate) chứa ngôn ngữ lăng mạ, thường có mục tiêu là xúc phạm cá nhân hoặc nhóm và có thể bao gồm ngôn từ gây thù ghét, ngôn ngữ sỉ nhục và xúc phạm. Một mục (bài đăng hoặc bình luận) được xác định là thù hận nếu nó:

(1) nhắm mục tiêu đến cá nhân hoặc nhóm dựa trên đặc điểm của họ;

(2) thể hiện ý định rõ ràng sự căm ghét;

(3) có thể sử dụng hoặc không sử dụng từ ngữ xúc phạm hoặc tục tĩu.

• Nội dung công kích (Offensive) nhưng không phải là nội dung thù hận, là một mục có thể chứa các từ ngữ công kích, nhưng nó không nhắm mục tiêu đến cá nhân, tổ chức cụ thể.

• Nội dung không xúc phạm và không thù hận (Clean) là một mục bình thường. Đó là cuộc trò chuyện và thể hiện cảm xúc một cách bình thường, và nó không chứa ngôn ngữ công kích, xúc phạm hoặc ngôn từ gây thù ghét.



Hình 1. Phương pháp nhận diện phát ngôn thù hận trong văn bản tiếng Việt3.2. Tổng quan về bộ dữ liệu tiếng Việt

Bộ dữ liệu nhận diện phát ngôn thù hận trong tiếng Việt (ViHSD) là một trong số ít bộ dữ liệu văn bản truyền thông xã hội lớn và đáng tin cậy trong một ngôn ngữ có ít tài nguyên như tiếng Việt. ViHSD chứa 33.400 bình luận, trong đó có 27.624 bình luận Bình thường, 3.514 bình luận Thù hận, và 2.262 bình luận công kích. Ngoài ra, bộ dữ liệu này được chia thành các tập huấn luyện, đánh giá và kiểm tra tương ứng với tỷ lệ: 7-1-2. Các bình luận trong ViHSD là công khai và được thu thập từ các nền tảng truyền thông mạng xã hội.

#	Comments	Label
1	Nhanh thực sự	0 (Bình thường)
2	Đm chứ biết làm gì	1 (Công kích)
3	Nó học cách của thằng anh nó đó, hèn, khốn nạn	2 (Thù hận)
4	<person name=""> người ư? Sinh vật hạ đẳng chứ người ai làm thế</person>	2 (Thù hận)

Bảng 1: Một số ví dụ được trích xuất từ bộ dữ liệu ViHSD

3.3. Quy trình tiền xử lý dữ liệu

Các kỹ thuật tiền xử lý dữ liệu luôn đóng một vai trò quan trọng trong các nhiệm vụ phân loại dữ liệu từ các trang mạng xã hội tiếng Việt nói chung và trong các nhiệm vụ nhận diện phát ngôn thù hận nói riêng. Việc tiền xử lý có tác động đáng kể đối với việc trích xuất thông tin từ dữ liệu.

Bộ dữ liệu ViHSD này được thu thập từ các trang mạng xã hội, chúng chứa các bình luận phức tạp và đa dạng. Đặc biệt, có rất nhiều bình luận chứa các ký tự không chuẩn Unicode, teen code, viết tắt và từ có ký tự lặp lại. Vì vậy, chúng tôi tiến hành thực hiện quy trình tiền xử lý dữ liệu để cải thiện chất lượng của bộ dữ liệu, nhằm trích xuất các đặc trưng có giá trị trước khi sử dụng chúng để huấn luyện các mô hình phân loại. Kế thừa từ các nghiên cứu trước đó về kỹ thuật tiền xử lý dữ liệu cơ bản như tách từng từ trong văn bản, chuyển đổi chữ thường, loại bỏ hoặc ẩn thông tin nhạy cảm, xóa biểu tượng cảm xúc và loại bỏ URL. Chúng tôi đã thực hiện thêm những kỹ thuật tiền xử lý quan trọng cho bộ dữ liệu này.

Xóa khoảng trắng dư thừa và xóa ký tự dư thừa: Người dùng trên mạng xã hội thường nhập nhiều khoảng trắng hay các ký tự dư thừa trên các bình luận của họ. Do đó, chúng ta nên loại bỏ các khoảng trắng và ký tự dư thừa này. Đặc biệt, thư viện Regex trong Python sử dụng module 're' để thực hiện các thao tác liên quan đến xóa khoảng trắng và ký tự dư thừa.

Chuẩn hóa Unicode: Thực tế cho thấy nhiều từ tiếng Việt trong bộ dữ liệu giống nhau nhưng Python nhận biết chúng là khác nhau do sự khác biệt về Unicode. Lý do là có

rãi, do đó chúng ta nên chuẩn hóa thành định dạng chung, như UTF-8.
 Chuẩn hóa ký tự có dấu: Do sự không đồng nhất trong cách đặt dấu trong tiếng Việt, nên ta sẽ chuẩn hóa chúng trong các bình luân theo các quy tắc sau:

- Nếu chỉ có một nguyên âm, dấu thanh sẽ nằm trên nguyên âm đó. Ví dụ: má, lá, mê.
- Nếu có hai nguyên âm, dấu thanh sẽ nằm trên nguyên âm đầu tiên. Ví dụ: lóa, qùa.
- Nếu có ba nguyên âm hoặc hai nguyên âm kèm theo một phụ âm, dấu thanh sẽ nằm trên nguyên âm thứ hai. Ví dụ: khuỷu, quán.
- "ê" và "o" là đặc biệt vì dấu phụ luôn ở trên họ, ví dụ: khuyển, quở.

Giải mã teen code (De-teencode): Trên mạng xã hội, người dùng thường dành một lượng lớn thời gian để trò chuyện và thường sử dụng các từ viết tắt để gõ nhanh hơn. Hơn nữa, những từ viết tắt này cũng có tên riêng của chúng ở Việt Nam, gọi là teen codes. Do đó, để giúp các mô hình hiểu tốt hơn các câu nhập vào, chúng ta phải ánh xạ các teen code này thành các từ gốc của chúng. Ngoài ra, quá trình ánh xạ teen code này, được đặt tên là De-teencode. Chúng tôi đã sử dụng danh sách các ký tự đặc biệt để chuyển hóa về thành các từ nghĩa bình thường.

Xóa từ dừng (stopwords): Việc loại bỏ các từ dừng khỏi các bình luận vì chúng không ảnh hưởng tới ý nghĩa của câu. Trong các thử nghiệm, chúng tôi đã sử dụng từ điển stopwords tiếng Việt để loại bỏ các từ dừng trong câu.

3.4. Xử lý dữ liệu mất cân bằng

Ngày càng có nhiều giải pháp hiệu quả cho nhiệm vụ nhận diện phát ngôn thù hận dựa trên các mô hình ngôn ngữ đã được tiền huấn luyện gần đây. Sự phát triển của các mô hình ngôn ngữ tiền huấn luyên quy mô lớn đang làm tăng nhu cầu về các nguồn dữ liêu quy mô lớn và chất lương cao. Một trong những ưu tiên quan trong nhất trong ngữ cảnh này là phân phối các mẫu dữ liêu, đặc biệt là cân bằng dữ liêu, có tác động đáng kể đến hiệu suất đánh giá mộ hình. Tuy nhiên, trong nhiều tình huống thực tế, đặc biệt là trong bộ dữ liệu thử nghiệm ViHSD có sự khác biệt đáng kể về số lượng bình luận Bình thường so với Công kích và Thù hận, dẫn đến phân phối mẫu không cân bằng. Các thuật toán học sẽ thiên vị nhóm đa số do vấn đề trên, làm cho đây trở thành một nhiệm vụ thách thức và hấp dẫn để xử lý trong nghiên cứu này. Trong khi đó, các lớp thiểu số, chẳng hạn như Thù hận và Công kích, thường hữu ích hơn trong việc khai thác thông tin, vì chúng chứa thông tin quan trong cho nhiệm vu nhân diện phát ngôn thù hận mặc dù hiếm gặp. Để giải quyết thách thức này, chúng tôi tập trung vào việc sử dụng các kỹ thuật tiền xử lý dữ liệu hiệu quả, kỹ thuật tăng dữ liệu phù hợp và một mô hình phân loại mạnh mẽ để vượt qua sự thiên vị. Điều này được gọi là học từ dữ liệu không cân bằng. Do đó, chúng tôi dư đinh áp dung các kỹ thuật Easy Data Augmentation (EDA), và Random Oversampling (ROS) để giải quyết vấn đề dữ liệu không cân bằng. Đối với kỹ thuật EDA được áp dung với bốn phép toán: thay thế đồng nghĩa, chèn ngẫu nhiên, hoán đổi ngẫu nhiên và xóa ngẫu nhiên để giải quyết vấn đề dữ liệu không cân bằng. Còn kỹ thuật ROS được thực hiện bằng cách sao chép ngẫu nhiên các mẫu từ lớp thiểu số cho đến khi số lương mẫu của tất cả các lớp đạt được một mức cân bằng mong muốn. Kỹ thuật này được thực hiện thông qua thư viện imbalanced-learn (imblearn) trong Python. Đây là một thư viện được thiết kế để xử lý vấn đề

mất cân bằng dữ liệu. Qua đó so sánh sự hiệu quả của các kỹ thuật cân bằng dữ liệu này cho bộ dữ liệu ViHSD.

3.5. Các thuật toán phân lớp

Để giải quyết bài toán trên, chúng tôi đã tiến hành nhiều thử nghiệm với bốn phương pháp tiên tiến: phương pháp học máy, phương pháp học sâu, phương pháp học chuyển giao và phương pháp kết hợp.

Đầu tiên, bộ dữ liệu ViHSD về phát ngôn thù hận được thu thập từ mạng xã hội sẽ được làm sạch bằng quy trình tiền xử lý dữ liệu. Sau đó, chúng tôi tiến hành trích chọn đặc trưng và sử dụng chúng để huấn luyện các mô hình học máy, bao gồm SVM, LR, RF, DT, và NB. Mỗi mô hình được tiến hành, chúng tôi điều chỉnh siêu tham số để tìm ra các siêu tham số tối ưu và giúp cải thiện hiệu suất của mô hình. Chúng tôi cũng áp dụng các kỹ thuật tăng cường dữ liệu cho tập huấn để giải quyết vấn đề mất cân bằng dữ liệu, tăng cường khả năng tổng quát hóa của các mô hình. Cuối cùng, để đánh giá hiệu suất của các mô hình, chúng tôi sử dụng điểm F1-macro, một phép đo chất lượng phổ biến cho bài toán phân loại đa lớp. Điều này giúp chúng tôi đánh giá hiệu suất tổng thể của mô hình trên mọi lớp một cách toàn diện và khách quan.

Đối với phương pháp học sâu, chúng tôi đã sử dụng các thuật toán phân loại phổ biến như Text-CNN (Text Convolutional Neural Network) và GRU (Gated Recurrent Unit). Text-CNN là một trong những kiến trúc mạng neural hiệu quả trong xử lý ngôn ngữ tự nhiên. Bằng cách sử dụng các lớp tích chập để trích xuất các tính năng cục bộ. Các thử nghiệm của chúng tôi sử dụng các lớp tích chập với 32 bộ lọc cho mỗi lớp. Cuối cùng, sử dụng hàm softmax để dự đoán nhãn cho văn bản. Còn với mô hình GRU là một biến thể của kiến trúc mạng LSTM nhưng có số lượng tham số ít hơn và khả năng học tốt hơn đối với các chuỗi dữ liệu ngắn. Trong nghiên cứu này xây dựng một mô hình GRU đa hướng (bidirectional) có khả năng học được các đặc trưng quan trọng trong các câu văn và dự đoán xác suất của từng lớp. Vì vậy, chúng tôi dự định chọn mô hình này để so sánh với các mô hình phân loại khác trong nhiệm vụ trên.

Tương tự như các mô hình học sâu, mô hình học chuyển giao đã thu hút sự chú ý ngày càng lớn từ các nhà nghiên cứu xử lý ngôn ngữ tự nhiên trên toàn thế giới vì hiệu suất vượt trội của nó. BERT và các biến thể của nó như RoBERTa, XLM-R, PhoBERT gần như đã chiếm ưu thế và khẳng định được thế mạnh của mình trong các tác vụ xử lý ngôn ngữ tự nhiên, ngay cả đối với các nhiệm vụ nhận diện phát ngôn thù hận trong văn bản tiếng Việt. Do đó, sử dụng BERT và các biến thể của nó để tìm ra giải pháp tối ưu với hiệu suất tốt và góp phần xây dựng thành công các phương pháp giải quyết bài toán. Trong các thử nghiệm của chúng tôi đã sử dụng các mô hình học chuyển giao như mô hình m-BERT uncased và cased, mô hình DistilBERT, mô hình XLM-R và mô hình PhoBert.

Gần đây, các mô hình kết hợp BERT và CNN đã được sử dụng rộng rãi để phân loại văn bản ngắn được thu thập từ mạng xã hội, đặc biệt là phân loại các bình luận thù hận và xúc phạm và đạt được kết quả đầy khả quan. Trong nghiên cứu này, các mô hình kết hợp biến thể của BERT và CNN được triển khai để đánh giá hiệu quả của các mô hình kết hợp trong việc phân loại các bình luận ghét bỏ, xúc phạm trong tiếng Việt. Đặc biệt là sử dụng mô hình kết hợp như PhoBERT-CNN nhằm thấy được sự ưu việt hơn về tác động của các mô hình ngôn ngữ được đào tạo trước đơn ngữ và đa ngôn ngữ đối với nhiệm vụ này.

4. Phân tích kết quả thực nghiệm

4.1. Ảnh hưởng của tiền xử lý dữ liệu

Tiến hành các thử nghiệm trên bộ dữ liệu ViHSD với các phương pháp: học máy truyền thống, học sâu, học chuyển giao và phương pháp kết hợp. Tất cả các kết quả từ tập dữ liệu ViHSD được thể hiện qua tập kiểm tra, trong khi tập phát triển được sử dụng để điều chỉnh siêu tham số.

Về thang đo đánh giá hiệu suất phân loại, độ chính xác và điểm F1-macro trung bình là các độ đo phổ biến và được sử dụng rộng rãi cho các nhiệm vụ phân loại nói chung và xác định các bình luận thù hận và xúc phạm nói riêng. Tuy nhiên, do sự mất cân bằng trong các lớp của bộ dữ liệu, điểm F1-macro trung bình, là giá trị trung bình hài hòa của Precision và Recall, là độ đo phù hợp nhất cho nhiệm vụ này. Do đó, khi đánh giá hiệu suất của mô hình, sử dụng điểm F1-macro trung bình (%) làm độ đo chuẩn.

Hình 2 hiển thị kết quả từ các thử nghiệm đã thực hiện so sánh kết quả giữa các thuật toán khi xử lý dữ liệu thông thường cho văn bản (chuyển đổi thành chữ thường, tách từ) và tiền xử lý dữ liệu đối với bài toán này như mô tả ở mục 3.3. Qua bảng kết quả chúng tôi nhận thấy rằng đối với bài toán nhận diện phát ngôn thù hận này việc tiền xử lý dữ liệu đóng vai trò quan trọng giúp tăng độ chính xác của hầu hết các thuật toán trong khoảng 1-9%, thậm chí là mô hình SVM tăng đến 12%. Cụ thể, đối với phương pháp học máy truyền thống khi qua các bước tiền xử lý dữ liệu quan trọng đã giúp các thuật toán tăng độ chính xác lên khoảng 3-12% theo độ đo F1-score. Còn đối với phương pháp học sâu nó cũng giúp các mô hình tăng hiệu quả lên 1-2%. Đối với phương pháp học chuyển giao đa số các thuật toán đều tăng độ chính xác khoảng 3-5%, trong khi đó chỉ có mô hình Bert-uncased lại bị giảm đáng kể. Cuối cùng, trong phương pháp kết hợp cũng cho thấy sự hiệu quả của việc tiền xử lý dữ liệu khi mà kết quả F1-score tăng đến 3%. Qua đó, chúng tôi nhận thấy sự hiệu quả trên điểm F1-macro trong bộ dữ liệu ViHSD.



Hình 2. Kết quả thử nghiệm

4.2. Ảnh hưởng của phương pháp xử lý mất cân bằng dữ liệu

Bảng 2 hiển thị kết quả từ các thử nghiệm đã thực hiện. Kết quả thử nghiệm cho thấy rằng phương pháp học chuyển giao và phương pháp kết hợp vượt trội hơn so với các mô hình học sâu và mô hình học máy trên bộ dữ liệu thử nghiệm ViHSD.

Từ kết quả thử nghiệm chúng tôi nhận thấy rằng đối với phương pháp tăng cường dữ liệu ROS đều giúp tăng độ chính xác của tất cả các thuật toán học máy truyền thống ít nhất 0,01% đến 7% theo điểm F1-score. Còn với các mô hình học sâu khi áp dụng kỹ thuật ROS độ chính xác có giảm một chút nhưng không đáng kể. Tương tự với các mô hình học chuyển giao đa số đều giúp tăng hiệu quả phân loại của các thuật toán, đặc biệt là mô hình BertUncased tăng đến 4%. Ngoài ra, đối với mô hình kết hợp độ chính xác của thuật toán giảm không đáng kể 0,5%. Như vậy, chúng ta có thể thấy hai mô hình được hưởng lợi nhiều nhất từ phương pháp này là SVM và Naïve Bayes tăng tương ứng là 5% và 7%. Ngoài ra, mô hình PhoBert vượt trội hơn các mô hình khác khi thực hiện kỹ thuật cân bằng dữ liệu này đạt 67,55% cho thấy sự khá khả quan, hiệu quả của nó trong nhiệm vụ nhận diện phát ngôn thù hận trong văn bản tiếng Việt.

Đối với kỹ thuật tăng cường dữ liệu EDA từ bảng kết quả chúng tôi nhận thấy rằng có sự tăng, giảm đáng kể độ chính xác của các thuật toán. Như mô hình Random Forest tăng hiệu quả phân loại lên đến 11%, hay mô hình BertUncased và Naïve Bayes cũng tăng lần lượt khoảng 7% và 5,6%, trong khi đó mô hình Logistic Regression giảm nhiều nhất khoảng 5%. Còn đối với các mô hình còn lại độ chính xác giảm khoảng 1-3%. Ngoài ra, khi áp dụng phương pháp EDA này mô hình DistilBert tốt hơn các mô hình khác đạt 65,02% theo điểm F1-score.

Model	F1-score (%)			
	Chura TXLDL	TXLDL	ROS	EDA
SVM	46,93	59,47	64,24	64,09
Logistic Regression	54,45	62,15	63,65	56,54
Decision Tree	51,43	54,66	54,96	51,98
Random Forest	40,45	50,00	50,01	61,26
Naive Bayes	43,06	48,22	55,46	53,83
Text-CNN	62,06	62,74	62,39	61,06
GRU	59,85	61,64	61,04	58,23
Bert Cased	62,56	65,66	65,51	64,41
Bert UnCased	53,72	40,56	44,59	47,69
XLM-R	57,94	63,57	65,34	64,86
DistilBert	61,71	65,84	65,45	65,02
PhoBert	62,44	67,02	67,55	63,41
PhoBert-CNN	62,44	65,63	65,14	64,09

Bảng 2. Kết quả thử nghiệm

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày toàn bộ quy trình ứng dụng các mô hình hình học sâu cho bài toán nhận diện phát ngôn thù hận trong văn bản tiếng Việt. Từ kết quả thử nghiệm, quan sát thấy rằng việc tiền xử lý dữ liệu luôn đóng một vai trò quan trọng trong các nhiệm vụ nhận diện phát ngôn thù hận trong tiếng Việt, nó ảnh hưởng lớn đến kết quả phân loại. Ngoài ra, do có sự mất
cân bằng về dữ liệu trong bộ dữ liệu ViHSD nên khả năng của các mô hình trong việc dự đoán nhãn Bình thường tốt hơn so với các nhãn Công kích và Thù hận. Vẫn còn một số bình luận bị phân loại sai trong bộ dữ liệu do sự mơ hồ trong việc xác định các nhãn. Điều này cho thấy việc xử lý vấn đề dữ liệu mất cân bằng trong bài toán cũng góp phần đáng kể để tăng hiệu suất của nhiệm vụ này.

Bài toán nhận diện phát ngôn thù hận trong văn bản tiếng Việt sử dụng học sâu không chỉ là một thách thức nghiên cứu quan trọng mà còn mang lại nhiều ý nghĩa xã hội. Việc thành công của nghiên cứu sẽ mang lại giá trị lớn trong việc bảo vệ cộng đồng trực tuyến, giúp tự động hóa quá trình kiểm soát và giảm thiểu tác động của những phát ngôn tiêu cực. Đồng thời, nghiên cứu này cũng đóng góp vào việc ứng dụng các kỹ thuật tiền xử lý dữ liệu và xử lý mất cân bằng dữ liệu hay phát triển ứng dụng học sâu cho ngôn ngữ tiếng Việt. Hy vọng rằng kết quả của bài báo sẽ góp phần vào việc xây dựng môi trường trực tuyến an toàn và tích cực cho cộng đồng người Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- 1. Jacob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, and Kristina Toutanova, "Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding", 2018.
- Phuc H. Duong, Cuong C. Chung, Loc T. Vo, Hien T. Nguyen and Dat Ngo, "Detecting Hate Speech Contents Using Embedding Models", in CSoNet: Computational Data and Social Networks, page 138–146, 2021.
- 3. Usman Naseem, Imran Razzak, and Peter W. Eklund, "A survey of pre-processing techniques to improve short-text quality: a case study on hate speech detection on twitter", 2020.
- 4. Sai Saketh Aluru , Binny Mathew, Punyajoy Saha1 , and Animesh Mukherjee, "Deep Learning Models for Multilingual Hate Speech Detection", arXiv: 2004.06465v3, 2020.
- 5. Md Saroar Jahan, and Mourad Oussalah, "a systematic review of hate speech automatic detection using natural language processing", arXiv:2106.00742v1, 2021.
- Marcos Zampieri, Preslav Nakov, Sara Rosenthal, Pepa Atanasova, Georgi Karadzhov, Hamdy Mubarak, Leon Derczynski, Zeses Pitenis, and C agri C oltekin, "Semeval-2020 task 12: Multilingual offensive language identification in social media (offenseval 2020)", arXiv preprint arXiv:2006.07235, 2020.
- John Pavlopoulos, Jeffrey Sorensen, Léo Laugier, and Ion Androutsopoulos, "Semeval-2021 task 5: Toxic spans detection", in Proceedings of the 15th International Workshop on Semantic Evaluation (SemEval-2021), pages 59–69, 2021.
- Son T Luu, Kiet Van Nguyen, and Ngan Luu-Thuy Nguyen, "A large-scale dataset for hate speech detection on Vietnamese social media texts", in IEA/AIE 2021: Advances and Trends in Artificial Intelligence. Artificial Intelligence Practices, 2021.
- Son T. Luu, Kiet Van Nguyen, and Ngan Luu-Thuy Nguyen, "Impacts of Transformer-Based Language Models and Imbalanced Data for Hate Speech Detection on Vietnamese Social Media Texts", 2022.
- 10. Xuan-Son Vu, Thanh Vu, Mai-Vu Tran, Thanh LeCong, and Huyen Nguyen, "HSD shared task in VLSP campaign 2019: Hate speech detection for social good", 2020.
- 11. Luan Thanh Nguyen, Kiet Van Nguyen, and Ngan LuuThuy Nguyen, "Constructive and toxic speech detection for open-domain social media comments in Vietnamese", arXiv preprint arXiv:2103.10069, 2021b.

- 12. Khanh Q. Tran, An T. Nguyen, Phu Gia Hoang, Canh Duc Luu, Trong-Hop Do and Kiet Van Nguyen, "Vietnamese Hate and Offensive Detection using PhoBERT-CNN and Social Media Streaming Data", arXiv:2206.00524v1, 2022.
- 13. Phu Gia Hoang, Canh Duc Luu, Khanh Quoc Tran, Kiet Van Nguyen, Ngan Luu-Thuy Nguyen, "ViHOS: Hate Speech Spans Detection for Vietnamese", arXiv:2301.10186v2, 2023.
- Marcos Zampieri, Shervin Malmasi, Preslav Nakov, Sara Rosenthal, Noura Farra, Ritesh Kumar, 2019b. Semeval-2019 task 6: Identifying and categorizing offensive language in social media (offenseval). arXiv preprint arXiv:1903.08983.
- 15. Michael Wiegand, Melanie Siegel, Josef Ruppenhofer, 2018b. Overview of the germeval 2018 shared task on the identification of offensive language.
- 16. Dowlagar, Mamidi, 2021. Hasocone@ fire-hasoc2020: Using bert and multilingual bert models for hate speech detection. arXiv preprint arXiv:2101.09007.
- 17. Al-Hassan, Al-Dossari, 2021. Detection of hate speech in arabic tweets using deep learning. Multimedia Systems, 1–12.
- Jahan, M.S., 2020. Team oulu at semeval-2020 task 12: Multilingual identification of offensive language, type and target of twitter post using translated datasets, in: Proceedings of the Fourteenth Workshop on Semantic Evaluation, pp. 1628–1637.
- 19. Badjatiya, Gupta, Gupta, Varma, 2017. Deep learning for hate speech detection in tweets, in: Proceedings of the 26th international conference on World Wide Web companion, pp. 759–760.
- 20. D.C Asogwa, C.I Chukwuneke, C.C Ngene, G.N Anigbogu, "Hate Speech Classification Using SVM and Naive BAYES", arXiv:2204.07057, 2022.
- 21. Conneau, Khandelwal, Goyal, Chaudhary, Wenzek, Guzmán, Grave, Ott, Zettlemoyer, Stoyanov: Unsupervised cross-lingual representation learning at scale. In: Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, pp. 8440–8451. Association for Computational Linguistics, Online (2020).
- 22. Safaya, Abdullatif, Yuret: Kuisail at semeval-2020 task 12: BERT-CNN for offensive speech identification in social media. In: Proceedings of the Fourteenth Workshop on Semantic Evaluation, pp. 2054–2059 (2020).
- Liu Y., Liu H., Wong L., Lee L., Zhang H., Hao T.: A hybrid neural network rbert-c based on pretrained roberta and cnn for user intent classification. In: International Conference on Neural Computing for Advanced Applications, pp. 306–319 (2020). Springer
- Son T. Luu, Hung P. Nguyen, Kiet Van Nguyen, Ngan Luu-Thuy Nguyen, "Comparison Between Traditional Machine Learning Models And Neural Network Models For Vietnamese Hate Speech Detection", arXiv:2002.00759, 2020.
- 25. Hang Thi-Thuy Do, Huy Duc Huynh, Kiet Van Nguyen, Ngan Luu-Thuy Nguyen, Anh Gia-Tuan Nguyen, "Hate Speech Detection on Vietnamese Social Media Text using the Bidirectional-LSTM Model", arXiv:1911.03648, 2019.

Research and application of deep learning for the problem of hate speech detection in Vietnamese text

Abstract: In the context of strong growth of social networks and online communication, the issue of identifying hate speech in text is becoming increasingly important, especially when it can cause serious consequences for the community., society. In Vietnam, in cyberspace there are also many threats of attacks, harassment, and offensive words that negatively affect online users. Therefore, society needs to develop a system to detect hateful and offensive messages to build a healthy and safe online environment. Currently, traditional machine learning and deep learning methods have been applied to

the problem of identifying hate speech. However, current research in this area still has many limitations. Therefore, this article focuses on studying the effects of data preprocessing and imbalanced data processing on the accuracy of the algorithm. Therefore, we have conducted research and installed many different experiments to compare and study the performance of applied models. Experimental results show that data preprocessing and imbalanced data processing have a great impact on models including machine learning and deep learning on the ViHSD test dataset. Thereby, this research can support the development of technology and social solutions to face the growing challenge of hate speech on Vietnamese social networks.

Keywords: Hate speech detection; Deep learning; Vietnamese texts.

1318

Phát hiện đột biến gen dựa trên mô hình CNN

Nguyễn Đức Linh, Phan Thị Hải Hồng

Viện Công nghệ thông tin và Truyền thông, Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Phát hiện chính xác các đột biến tế bào là một thách thức trong phân tích tế bào ung thư. Nhiều phương pháp khác nhau đã được đề xuất để phát hiện biến thể gen từ dữ liệu giải trình tự trong đó có các phương pháp thuật toán thống kê như MuTect2, VarDict, Strelka2; phương pháp áp dụng mô hình học sâu MLP, tuy nhiên độ chính xác chưa cao. Để nâng cao hiệu quả trong việc phát hiện biến thể gen từ dữ liệu giải trình tự, chúng tôi đề xuất phương pháp áp dụng mô hình CNN (Convolutional Neural Network) là một kiểu mô hình học sâu được sử dụng phổ biến trong các bài toán xử lý ảnh và nhận dạng đối tượng. Mô hình CNN có thể xử lý và phân tích dữ liệu giải trình tự bằng cách áp dụng các lớp Convolution để trích xuất các đặc trưng của dữ liệu, sau đó sử dụng các lớp Activation để kích hoạt các trọng số trong các node và tạo ra các thông tin trừu tượng hơn cho các lớp tiếp theo. Như vậy, mô hình CNN có khả năng phân tích các đặc trưng phức tạp của dữ liệu giải trình tự và học các mối quan hệ giữa chúng, giúp phát hiện và phân loại các biến thể. So với các mô hình hiện nay, mô hình CNN đạt được độ chính xác cao nhất.

Từ khóa: Biến thể gen; Dữ liệu giải trình tự; MLP; Convolutional Neural Network; Xử lý ảnh.

1. Đặt vấn đề

Tính đến năm 2022, dữ liệu từ Hội nghị khoa học quốc tế về phòng chống ung thư [1] tiếp tục chỉ ra rằng Việt Nam đứng ở vị trí thứ 2 trên thế giới về tỷ lệ mắc bệnh ung thư. Hàng năm, nước ta đối mặt với hơn 200.000 trường hợp mới, với số lượng ca tử vong lên đến 82.000. Tỷ lệ tử vong do ung thư tại Việt Nam hiện đang là 73.5%, một con số đáng lo ngại khi so sánh với tỷ lệ trung bình toàn cầu là 59.7%. Nếu xét riêng ở các quốc gia phát triển, tỷ lệ này là 49.4%, trong khi ở các quốc gia đang phát triển là 67.9%. Những con số này không chỉ nói lên tình trạng nguy cơ cao của bệnh ung thư tại Việt Nam mà còn làm nổi bật sự cần thiết của các biện pháp phòng ngừa và điều trị ung thư. Tuy nhiên, việc phát hiện chính xác các đột biến tế bào là một thách thức do sự lẫn lộn giữa mẫu ung thư và mẫu bình thường, sự đa dạng trong tế bào ung thư và độ che phủ của dữ liệu. Việc loại bỏ các cuộc gọi giả (false-positive) và xác định chính xác các cuộc gọi thực sự khó nắm bắt (true-positive), có thể xảy ra với tần suất allele thấp (AF) hoặc trong các vùng có tính độ phức tạp thấp là quan trọng đối với một thuật toán phát hiện đột biến tế bào.

Đến nay, đã có rất nhiều các công cụ được phát triển để giải quyết vấn đề phát hiện đột biến tế bào thể sử dụng các phương pháp và thuật toán khác nhau như: MuTect2 [2] là một công cụ phân tích biến thể somatic được phát triển bởi Broad Institute, nó sử dụng phương pháp phân tích nguyên tắc biến thể (variant calling) dựa trên nguyên tắc ngẫu nhiên (statistical principles) và sử dụng thuật toán phân tích biến thể trong hai giai đoạn, giai đoạn đầu tiên là phân tích biến thể độc lập trên từng mẫu và giai đoạn thứ hai là phân tích biến thể chung giữa các mẫu, MuTect2 sử dụng các thuật toán thông minh để loại bỏ các biến thể sai sót và phát hiện các biến thể somatic có khả năng cao; MuSE [3] là một công cụ phân tích biến thể somatic được phát triển bởi Broad Institute, nó kết hợp kết quả từ hai công cụ phân tích biến thể somatic khác là MuTect và SomaticSniper để tăng tính chính xác của kết quả, MuSE sử dụng một phương pháp kết hợp bằng cách áp dụng trọng số cho kết quả từ các công cụ khác nhau dựa trên độ tin cậy của mỗi công cu; VarDict[4] là một công cu phân tích biến thể somatic được phát triển bởi Vichai Reovilaris và đồng nghiệp, nó sử dụng một thuật toán phân tích biến thể dựa trên sự kết hợp giữa các thông số thống kê và thông tin từ dữ liệu chứng kiến (evidence), VarDict cung cấp khả năng phát hiện biến thể somatic nhạy cảm và có độ chính xác cao; VarScan2 [5] là một công cụ phân tích biến thể somatic được phát triển bởi Dan Koboldt và đồng nghiệp, nó sử dụng một thuật toán phân tích biến thể dựa trên sự so sánh giữa các đặc điểm của các mẫu ung thư và mẫu bình thường, VarScan2 sử dụng các thông số thống kê để xác định các biến thể somatic và đánh giá độ tin cậy của kết quả; Strelka2 [6] là một công cụ phân tích biến thể somatic được phát triển bởi Illumina, nó sử dụng một thuật toán phân tích biến thể dựa trên mô hình ngẫu nhiên và mô hình học máy để phát hiện và xác định các biến thể somatic, Strelka2 có khả năng phát hiện các biến thể somatic nhỏ và có đô chính xác cao; SomaticSniper [7] là một công cu phân tích biến thể somatic được phát triển bởi Li Ding và đồng nghiệp, nó sử dụng một thuật toán phân tích biến thể dựa trên sự so sánh giữa các đặc điểm của các mẫu ung thư và mẫu bình thường, SomaticSniper sử dụng các thông số thống kê và mô hình học máy để xác định các biến thể somatic và đánh giá độ tin cậy của kết quả. Các công cụ này thường hoạt động tốt trong các loại ung thư hoặc loại mẫu mà chúng được thiết kế nhưng chúng bị giới hạn trong việc tổng quát hóa đối với các loại mẫu dữ liệu khác, do đó thường thể hiện độ chính xác không tốt trong các tình huống như vậy.

SomaticSeq [8] là một phương pháp kết hợp để tối đa hóa độ nhạy bằng cách tích hợp nhiều thuật toán: tiền xử lý dữ liệu, phân tích biến thể, đánh giá độ tin cậy. Nó cũng đã sử dụng học máy để tích hợp gần một trăm đặc trưng để duy trì độ chính xác cao, dẫn đến cải thiện về độ chính xác so với tất cả các phương pháp riêng lẻ. Tuy nhiên, khung chương trình học máy được sử dụng trong SomaticSeq dựa trên một tập hợp các đặc trưng đã trích xuất cho vị trí của các đột biến. Do đó, nó không thể nắm bắt hoàn toàn thông tin gốc trong ngữ cảnh di truyền của các đột biến tế bào để phân biệt đột biến tế bào thực sự và lỗi nền, giới hạn hiệu suất của nó trong các tình huống khó khăn, chẳng hạn như các vùng có tính đa dạng thấp và độ trong sạch của khối u thấp.

Với sự phát triển của trí tuệ nhân tạo và học máy, mô hình MLP (Multi-Layer Perceptron) và các biến thể của nó đã được áp dụng để giải quyết bài toán phát hiện biến thể gen từ dữ liệu giải trình tự, với tính khái quát hóa và hiệu quả cao hơn so với các phương pháp trước đó. Mô hình MLP là một trong những mô hình học sâu được sử dụng phổ biến trong các bài toán phân loại và dự đoán. Là một loại mô hình mạng nơ-ron nhân tạo (artificial neural network) được sử dụng trong học máy, nó là một kiểu mạng nơ-ron truyền thẳng (feedforward neural network) với nhiều lớp ẩn (hidden layers) giữa lớp đầu vào (input layer) và lớp đầu ra (output layer). Mỗi lớp ẩn bao gồm một số lượng các nơ-ron được kết nối với các nơ-ron của lớp trước đó và lớp sau đó. Mỗi nơ-ron trong một lớp được tính toán bằng cách sử dụng hàm kích hoạt (activation function) để tổng hợp các tín hiệu đầu vào từ các nơ-ron của lớp trước đó. Các lớp ẩn này giúp mô hình MLP học và tổng hợp các đặc trưng phức tạp của dữ liệu để đưa ra dự đoán về kết quả. Áp dụng mô hình MLP là một phương pháp khá hiệu quả trong việc phát hiện biến thể gen từ dữ liệu giải trình tự. Tuy nhiên, để tạo ra một mô hình MLP tối ưu và chính xác, cần phải có sự chọn lọc và tiền xử lý dữ liệu tốt để đảm bảo chất lượng của dữ liệu đầu vào. Thực tế cho thấy, mô hình MLP có khả năng phân loại các

loại biến thể, tuy nhiên với độ chính xác không cao. Nguyên nhân hiệu suất thấp của mô hình MLP có thể là do thiết kế cấu trúc mô hình chưa phù hợp với dữ liệu dạng chuỗi như gen. Bên cạnh đó, dữ liệu giải trình tự thường có tính chất không gian, trong đó các đặc trưng liên quan đến vị trí của các nucleotide trong chuỗi gen được quan tâm đến. Do có tính chất không gian nên việc giải trình tự gen và phát hiện đột biến gen là một vấn đề phức tạp, đòi hỏi mô hình có khả năng xử lý dữ liệu chiều cao và nắm bắt được các mô hình và đặc điểm phức tạp trong dữ liệu. Trong khi đó, mô hình MLP thường phù hợp với những vấn đề có dữ liệu chiều thấp hơn và mô hình ít phức tạp hơn.

Trên cơ sở những nghiên cứu trước đó, nhận thấy hướng đi khi áp dụng các mô hình học sâu có khả năng cho ra các kết quả tốt hơn, chúng tôi đã nghiên cứu và áp dụng mô hình CNN cho việc phát hiện đột biến gen từ dữ liệu giải trình tự. Mô hình này được thiết kế để phân tích và học các đặc trưng của dữ liệu 2D hoặc 3D, bao gồm ảnh và dữ liệu giải trình tự. Với cấu trúc đặc biệt, mô hình CNN có thể phân tích và học các đặc trưng của dữ liệu một cách hiệu quả hơn so với mô hình MLP, giúp tăng cường khả năng phân loại và xác định các biến thể gen từ dữ liệu giải trình tự.



Hình 1. Kiến trúc mô hình CNN

Mô hình CNN thường bao gồm nhiều loại lớp, trong đó có lớp tích chập (convolutional layers), lớp gộp (pooling layers), và lớp kết nối đầy đủ (fully connected layers). Cấu trúc của mạng CNN được xây dựng bằng cách sắp xếp nhiều lớp Convolution theo chiều sâu, mỗi lớp này sử dụng các hàm kích hoạt phi tuyến để kích hoạt trọng số trong các node. Trong quá trình này, mỗi lớp Convolution sẽ sử dụng một bộ lọc (filter) để trích xuất các đặc trưng từ dữ liệu đầu vào, như là ảnh hoặc dữ liệu giải trình tự. Bộ lọc này di chuyển trên toàn bộ dữ liệu đầu vào, thực hiện phép tích chập để tạo ra các đặc trưng mới. Tiếp theo, lớp Activation sử dụng các hàm kích hoạt phi tuyến để kích hoạt trọng số trong các node và tạo ra thông tin trừu tượng hóa cao hơn cho các lớp tiếp theo. Quá trình này giúp mô hình học được các biểu diễn phức tạp từ dữ liệu và tăng cường khả năng trích xuất đặc trưng của mạng CNN.

Ý tưởng chính trong nghiên cứu của chúng tôi là phân tích và nghiên cứu lại quy trình phân tích dữ liệu của mô hình Neu-somatic [9] dựa trên mô hình CNN, đồng thời xây dựng lại quy trình phân tích dữ liệu và đào tạo mô hình học sâu để đảm bảo tính minh bạch và tiện lợi cho các nghiên cứu sau này. Việc xây dựng lại quy trình phân tích dữ liệu và đào tạo mô hình học sâu cũng giúp cải thiện độ chính xác và tính khái quát hóa của mô hình phát hiện biến thể gen. Trong quá trình đào tạo mô hình, chúng tôi sử dụng tập dữ liệu đã chuẩn bị để tối ưu hóa các tham số của mô hình và đạt được hiệu suất tốt nhất trong việc phát hiện biến thể somatic. Để tiến hành quá trình đào tạo, chúng tôi phân tích tập dữ liệu để tìm ra các ứng cử viên biến thể và thực hiện quá trình tính toán ma trận biến thể đầu vào cho từng ứng cử viên. Cụ thể, chúng tôi trích xuất các đặc trưng của dữ liệu để tạo thành các kênh mang đặc trưng, và sau đó trở thành các ma trận đầu vào tương ứng để đưa vào mô hình CNN đã được xây dựng để phát hiện biến thể somatic. Quá trình đào tạo được tiến hành để đạt được một mô hình CNN có khả năng phát hiện biến thể somatic với độ chính xác cao trên tập dữ liệu đầu vào. Sau khi đào tạo, chúng tôi đã sử dụng mô hình để phát hiện các biến thể somatic trên tập dữ liệu thực tế và so sánh với kết quả biến thể thực tế. Bằng cách sử dụng các độ đo Accuracy, Precision, Recall và F1-score, chúng tôi đã đánh giá được tính chính xác của mô hình trong việc phát hiện biến thể somatic. Từ đó, chúng tôi có thể cải thiện và tối ưu hóa mô hình để đạt được hiệu suất tốt nhất trong việc phát hiện biến thể somatic trên đỹ liệu thực tế.

2. Phương pháp





Hình 2. Kiến trúc mô hình CNN đề xuất

Kiến trúc tổng thể của mô hình CNN đề xuất được trình bày trong Hình 2

Tính toán ma trận biến thể đầu vào

Đối với mỗi ứng cử viên, xây dựng một ma trận 3 chiều, có kích thước (5x33x3) trong đó 5 là số các base (- / A / C / T / G), 33 là chiều dài đoạn đọc được quy định lấy ra với ứng viên nằm giữa, ở đây cửa sổ là 16, 3 là 3 kênh được lựa chọn bao gồm kênh tham chiếu, kênh tần số khối u và kênh chất lượng khối u.

- Kênh tham chiếu đếm số lượng các base trên đoạn tham chiếu sau khi căn chỉnh.

- Kênh tần số khối u đếm tần suất xuất hiện của các base nằm trên các đoạn đọc tại các vị trí nhất định.

- Kênh chất lượng khối u tính toán tổng chất lượng của các base nằm trên các đoạn đọc tại một vị trí nhất định.

Ma trận đầu vào bao gồm kênh tham chiếu, kênh tần số khối u và kênh chất lượng các base trong khối u. So với kiến trúc của mạng NeuSomatic thì kiến trúc mạng đề xuất trong

nghiên cứu của chúng tôi có kích thước nhẹ hơn và phân loại đầu ra chỉ phân loại loại biến thể. Các ma trận đầu vào được đưa vào lớp tích chập đầu tiên với 4 kênh đầu ra, kích thước cửa sổ trượt (slice window) 1x3 và hàm kích hoạt ReLu, tiếp theo là 1 lớp Normalization và 1 lớp max pooling. Đầu ra của lớp này được đưa đến một tập hợp bốn khối sử dụng kết nối đồng nhất (Residual Block) tương tự kiến trúc ResNet. Các khối này bao gồm 1 lớp tích chập với cửa sổ trượt kích thước 3x3, tiếp theo là lớp Normalization và một lớp tích chập với kích thước cửa sổ trượt 5x5. Giữa các khối này là các lớp Normalization và Max Pooling. Đầu ra của khối cuối cùng được đưa qua 1 lớp Flatten để duỗi thẳng, sau đó đi qua 1 lớp kết nối đấy đù (Fully Connected). Đây được coi là vector đặc trưng của dữ liệu đầu vào. Vector đặc trưng này sẽ được sử dụng cho mục tiêu phân loại loại biến thể. Cụ thể, Vector đặc trưng sẽ được đưa đến bộ phân loại Softmax với mục tiêu phân loại 3 loại biến thể: Single Nucleotide Variant (SNV), Insertion/Deletion (INDEL) và Non-Somatic.

2.2 Đào tạo mô hình

Đối với quá trình đào tạo mô hình, với dữ liệu là file FASTQ là kết quả từ máy giải trình tự gen, chứa các đoạn đọc DNA đi kèm với ID và thông tin chất lượng của đoạn đọc đó. Dữ liệu sẽ được đưa qua module kiểm soát chất lượng và tiền xử lý dữ liệu và đối chiếu với bộ gen tham chiếu. Dựa trên dữ liệu biến thể biến thể chứa trong file VCF (dữ liệu nhãn), chúng tôi tiến hành lấy thông tin các vị trí biến thể biến thể, sau đó kết hợp với công cụ Samtools để lấy ra thông tin tất cả các đoạn đọc chứa biến thể đó, lưu dưới dạng file SAM. Với mỗi file SAM ứng với thông tin một biến thể, chúng tôi lựa chọn ngẫu nhiên 1 biến thể vô hại (non-somatic), khác với biến thể đột biến đã được xác nhận, để làm dữ liệu cho mô hình kết hợp với dữ liệu biến thể tương ứng. Điều này đảm bảo cho dữ liệu đào tạo cho mô hình được cân bằng. Sau khi đã có danh sách bao gồm các ứng viên biến thể (non-somatic, INDEL, SNV), mỗi ứng viên kết hợp với dữ liệu file SAM tương ứng sẽ được xử lý để căn chỉnh lại cũng như tính toán ra ma trận đầu vào cho mô hình. Sau cùng, ma trận đầu vào được tính toán kết hợp với các nhãn đã được xử lý trước đó từ file VCF sẽ là dữ liệu cho quá trình đào tạo mô hình phát hiện biến thể.



Hình 3. Tổng thể quá trình huấn luyện mô hình

Tổng thể của mô hình:

Input: ma trận đầu vào (input_matrix) và nhãn tương ứng (labels), các tham số đầu vào khác bao gồm kích thước cửa sổ (window_size) và tỷ lệ học (learning_rate), số lượng epoch...

Output: các thông số đánh giá mô hình như độ chính xác (accuracy), loss, F1-score trên tập huấn luyện và tập validation sau mỗi epoch. In ra mô hình tốt nhất và mô hình cuối cùng để đánh giá trên tập kiểm tra.

Thuật toán áp dụng:

+ Chuẩn bị dữ liệu: Dữ liệu được tải từ các tệp pickle, được chia thành tập huấn luyện, tập validation và tập kiểm tra. Ma trận đầu vào được chuẩn hóa. Tạo các DataLoader từ ma trận dữ liệu để sử dụng trong quá trình huấn luyện.

+ Xây dựng mô hình: Mô hình mạng CNN (NeuSomaticNet) được xây dựng bao gồm: lớp tích chập đầu tiên -> lớp chuẩn hóa -> lớp maxpooling -> khối NSBlock – khối này được lặp 4 lần với các tham số điều chỉnh -> lớp Dropout để giảm overfitting -> cuối cùng là 2 lớp Fully connected. Sử dụng hàm CrossEntropyLoss làm hàm mất mát và tối ưu hóa bằng thuật toán Adam.

+ Huấn luyện mô hình: Sử dụng vòng lặp for để huấn luyện mô hình qua các epoch. Mỗi epoch bao gồm hai phần: huấn luyện và kiểm tra trên tập validation. Sử dụng early stop để dừng quá trình huấn luyện khi không có cải thiện đáng kể.

1323



2.3 Dự đoán biến thể

Hình 4. Tổng thể quá trình dự đoán

Đối với quá trình dự đoán, dữ liệu ban đầu cùng từ máy giải trình tự gen, định dạng FASTQ, được đưa qua module kiểm soát chất lượng và tiền xử lý dữ liệu và đối chiếu với bộ gen tham chiếu giống như quá trình đào tạo mô hình. Tập dữ liệu kiểm thử được lấy từ 50 gen, vì vậy với thông tin 50 gen đã có (nằm ở chromosome nào, vị trí bắt đầu và kết thúc), cùng với công cụ Samtools, chúng tôi trích xuất thông tin các đoạn đọc nằm trong từng gen, lưu lại dưới dạng file SAM. Với mỗi file SAM ứng với 1 gen, chúng tôi tìm kiếm tất cả các ứng viên biến thể (là các vị trí mà tại đó xảy ra biến thể bắt cặp sai, xoá hoặc chèn). Với mỗi ứng viên, vẫn xử lý căn chỉnh và tính toán ma trận đầu vào giống như ở bước đào tạo mô hình. Cuối cùng, sử dụng mô hình đã đào tạo ở bước huấn luyện mô hình để dự đoán loại biến thể cho các ứng viên đã tìm.

Tổng thể quá trình dự đoán:

Input: Tệp SAM: Tệp chứa dữ liệu về các đọc đặc trưng của chuỗi DNA được trích xuất từ dữ liệu ghi chú dạng SAM (Sequence Alignment/Map). Tùy chọn: có thể cung cấp tùy chọn -**h** để chạy ở chế độ "high confidence", nghĩa là chỉ xem xét những dự đoán có độ tin cậy cao.

Output: Tệp CSV: Kết quả của quá trình dự đoán được lưu dưới dạng tệp CSV. Mỗi hàng trong tệp CSV chứa các thông tin về vị trí ứng viên (candidate_position), loại đột biến (type_somatic), và độ tin cậy của dự đoán (statistical).

Thuật toán:

+ Chuẩn bị dữ liệu: Tạo ra một danh sách các ứng viên dự đoán từ tệp SAM đầu vào.
 Tải dữ liệu tham chiếu từ tệp Fasta. Tạo ma trận đầu vào cho mỗi ứng viên dự đoán.

+ Huấn luyện mô hình: Sử dụng một mô hình CNN được lưu trữ trước đó từ quá trình huấn luyện. Thực hiện dự đoán trên dữ liệu đầu vào và lấy đầu ra softmax.

+ Xử lý kết quả: Dự đoán sẽ được xác định dựa trên giá trị softmax lớn nhất. Nếu chế độ "high confidence" được bật, chỉ những dự đoán có độ tin cậy cao hơn ngưỡng được chọn sẽ được xem xét.

3. Kết quả thực nghiệm

3.1 Bộ dữ liệu

Chúng tôi sử dụng dữ liệu gen trích xuất từ dữ liệu giải trình tự gen của bệnh nhân HCC1395 theo 6 phòng thí nghiệm[10]: Illumina (IL), National Cancer Institute (NC), Novartis (NV), European Infrastructure for Translational Medicine (EA), Fudan University (FD) và Loma Linda University (LL). Bảng dưới đây mô tả dữ liệu của 50 gen trên trích xuất từ dữ liệu giải trình tự gen của bệnh nhân HCC1395 theo từng phòng thí nghiệm. Chúng ta nhận thấy dữ liệu giữa các phòng thí nghiệm có độ sâu và độ bao phủ khác nhau. Chúng ta sẽ thử nghiệm xác định biến thể bằng cách sử dụng dữ liệu của từng phòng thí nghiệm cũng như tổng hợp dữ liệu của các phòng thí nghiệm.

Bên cạnh đó, *Bảng 2* thống kê số lượng nhãn SNV và INDEL trong các file giải trình tự của các lab theo 50 gen theo file dữ liệu nhãn chuẩn nằm trong file VCF. Có sự thiếu hụt giữa các phòng thí nghiệm đối với nhãn chuẩn nguyên nhân vì bộ dữ liệu giải trình tự gen trên các lab đang dùng kỹ thuật WES, chỉ tìm kiếm trên các vùng exomes (các vùng mã hóa protein), còn dữ liệu nhãn trong file VCF thì bao gồm toàn bộ bộ gen (genomes). Mặt khác, dù các phòng nghiên cứu khác nhau này đều dùng kỹ thuật WES để giải trình tự, cùng đánh giá trên 50 gen nhưng số lượng INDEL và SNV lại khác nhau. So sánh với bảng trên có thể thấy file dữ liệu WES_IL_T_2 có độ sâu và độ bao phủ lớn nhất, kèm theo việc số lượng INDEL và SNV cũng là cao nhất, trong khi đó các phòng nghiên cứu Fudan University (FD) và Loma Linda University (LL) có độ sâu tương đối nhỏ (<200X) thì có số lượng SNV và INDEL là thấp nhất, Điều này thể hiện mối liên hệ giữa độ sâu giải trình tự với chất lượng giải trình tự giữa các phòng nghiên cứu.

Phòng thí nghiệm	File thử nghiệm	Độ bao phủ	Độ sâu
	WES_IL_T_1	95.96%	542X
Illumina (LL)	WES_IL_T_2	97.49%	1633X
	WES_IL_T_3	97.11%	655X
National Cancer Institute (NC)	WES_NC_T_1	96.02%	212X
	WES_NV_T_1	96.06%	830X
Novartis (NV)	WES_NV_T_2	96.04%	850X
	WES_NV_T_3	98.00%	847X
European Infrastructure for Translational Medicine (EA)	WES_EA_T_1	97.62%	497X

Phòng thí nghiệm	File thử nghiệm	Độ bao phủ	Độ sâu
	WES_FD_T_1	97.02%	179X
Fudan University (FD)	WES_FD_T_2	97.11%	158X
	WES_FD_T_3	96.80%	165X
Loma Linda University (LL)	WES_LL_T_1	95.53%	151X

Bảng 1. Thống kê dữ liệu của 50 gen trên trích xuất từ dữ liệu giải trình tự toàn bộ hệ gen mã hoá (Whole-exome sequencing)

File lab	SNVs of lab	INDELs of lab	Total SNV	Total INDEL
WES_IL_T_1	28	0	104	5
WES_IL_T_2	67	5	104	5
WES_IL_T_3	52	3	104	5
WES_NC_T_1	30	1	104	5
WES_NV_T_1	52	3	104	5
WES_NV_T_2	57	2	104	5
WES_NV_T_3	50	3	104	5
WES_EA_T_1	24	1	104	5
WES_FD_T_1	29	1	104	5
WES_FD_T_2	18	0	104	5
WES_FD_T_3	26	1	104	5
WES_LL_T_1	11	0	104	5

Bảng 2. Thống kê dữ liệu nhãn của 50 gen trên các phòng nghiên cứu

Để xây dựng dữ liệu mô hình, chúng tôi sử dụng tất cả các ứng viên SNV và INDEL trong file VCF với điều kiện không nằm trong 50 gen đã thống kê trên làm dữ liệu đào tạo mô hình. Bên cạnh đó, mỗi ứng viên SNV hoặc INDEL, chúng tôi lựa chọn ngẫu nhiên 1 ứng viên không phải biến thể INDEL và SNV để làm dữ liệu non-somatic, đảm bảo cân bằng dữ liệu cho mô hình. Đối với tập dữ liệu kiểm thử, chúng tôi lựa chọn tất cả ứng viên nằm trong 50 gen đang xét, mỗi ứng viên SNV hoặc INDEL, chúng tôi lựa chọn ngẫu nhiên 2-3 ứng viên không phải biến thể SNV và INDEL làm dữ liệu nhãn non-somatic, để khiến phần nào dữ liệu kiểm thử giống với dữ liệu thực tế (chỉ giống phần nhỏ bởi với dữ liệu thực tế, số lượng ứng viên không phải biến thể somatic gấp rất nhiều lần số lượng biến thể soma).

3.2 Thang đo đánh giá

Để đánh giá hiệu quả mô hình trong các thử nghiệm phía sau, chúng tôi sử dụng 3 độ đo chính, đó là Accuracy, Precision và Recall. Với True Positive là số biến thể phát hiện đúng, False Positive là số biến thể phát hiện nhưng không chính xác và False Negative là số biến thể không phát hiện được:

- Accuracy là một độ đo cơ bản trong bài toán phân loại, tính bằng cách chia số dự đoán đúng cho tổng số dự đoán. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là chỉ cung cấp tỷ lệ phần trăm

dữ liệu được phân loại đúng mà không cung cấp thông tin chi tiết về từng loại phân loại, như loại nào được phân loại đúng nhiều nhất, loại nào thường bị phân loại nhầm nhiều nhất.

- Precision là tỷ lệ số điểm Positive mô hình dự đoán đúng trên tổng số điểm mô hình dự đoán là Positive. Precision càng cao, tức là mô hình dự đoán đúng nhiều điểm Positive và ít điểm False Positive. Giá trị Precision được tính theo công thức:

$$Precision = \frac{True \ Positive}{True \ Positive + \ False \ Positive}$$

- Recall là tỷ lệ số điểm Positive mô hình dự đoán đúng trên tổng số điểm thật sự là Positive. Recall càng cao, tức là mô hình ít bỏ sót điểm Positive. Công thức tính Recall là:

$$Recall = \frac{True \ Positive}{True \ Positive + \ False \ Negative}$$

- F1-score là một độ đo tổng hợp kết hợp cả Precision và Recall. F1-score càng cao khi cả Precision và Recall đều quan trọng và đạt giá trị cao. Công thức tính F1-score là:

$$F1 - score = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall}$$

3.3 Kết quả

* Thử nghiệm trên tập dữ liệu WES_IL_T_2 (có độ sâu và độ bao phủ lớn nhất)

Quá trình đào tạo và đánh giá mô hình với kích thước cửa sổ 10, 16 và 20, giá trị dim = 4 (chiều sâu của feature map). Kích thước cửa sổ 16 cho kết quả đánh giá trên tập kiểm thử là tốt nhất.

Tiếp tục đánh giá với giá trị dim = 8 và dim = 10 thấy rằng điểm acc-train cao khi tăng giá trị dim tuy nhiên điểm acc-val lại giảm cho thấy mô hình có hiện tượng overfitting.

Để đa dạng hóa dữ liệu và giảm thiểu overfitting khi huấn luyện và kiểm thử ta tiếp tục thử nghiệm với toàn bộ tập dữ liệu của 6 phòng nghiên cứu.



Hình 5. Quá trình đào tạo và đánh giá mô hình với các kích thước cửa số khác nhau trên tập WES_IL_T_2



Hình 6. Quá trình đào tạo và đánh giá mô hình với các giá trị dim khác nhau trên tập WES_IL_T_2

* Thử nghiệm trên toàn bộ tập dữ liệu của 6 phòng nghiên cứu

Tiến hành thử nghiệm trên toàn bộ tập dữ liệu của cả 6 phòng thí nghiệm. Dữ liệu đào tạo lúc này sẽ tương đối lớn và đa dạng. Hình 7 mô tả quá trình đào tạo và đánh giá mô hình với kích thước cửa sổ 10, 16 và 20 trên toàn bộ tập dữ liệu WES. Lúc này kích thước cửa sổ 10 cho kết quả đánh giá trên tập kiểm thử là tốt nhất (*bảng 3*), đồng thời cả thử nghiệm với 3 cửa sổ 10, 16 và 20 đều hội tụ ở giá trị mất mát xấp xỉ 0.08. Điều này cho thấy khi sử dụng ở cửa sổ nhỏ có thể giúp mô hình học được các đặc trưng cụ thể cho từng cặp nucleotit gần nhau một cách tổng quát hơn, có thể giúp mô hình tổng quát hóa tốt hơn trên dữ liệu mới, bởi vì nó học được các đặc trưng cụ thể mà có thể xuất hiện trong các gen khác nhau. Sử dụng kích thước cửa sổ nhỏ hơn có thể giảm thiểu hiện tượng mất mát thông tin, đặc biệt là khi sử dụng dữ liệu đầu vào có độ dài lớn. Việc giảm thiểu mất mát thông tin giúp mô hình giữ lại nhiều thông tin hơn từ dữ liệu gốc.



Hình 7. Quá trình đào tạo và đánh giá mô hình với các kích thước cửa số khác nhau trên toàn bộ tập WES

Tiếp tục thử nghiệm khi tăng giá trị dim, ta dễ dàng thấy khi tăng cường dữ liệu huấn luyện so với khi chỉ sử dụng tập dữ liệu WES_IL_T_2 đã giảm thiểu được hiện tượng overfitting, các điểm acc-train và acc-val cũng được cải thiện đáng kể.



Hình 8. Quá trình đào tạo và đánh giá mô hình với các giá trị dim khác nhau trên toàn bô tâp WES

Dime	Cửa số 10	Cửa sổ 16			Cửa số 20	
Dillio	Cua 50 10	Dim4	Dim8	Dim16	Cua 30 20	
Acc train	0.815	0.7819	0.8116	0.8797	0.8154	
Acc val	0.7969	0.7761	0.7944	0.8272	0.7878	
F1-score	0.798	0.7771	0.7952	0.8279	0.7885	

Bảng 3. Đánh giá mô hình trên tập kiểm thử khi đào tạo với toàn bộ tập dữ liệu WES

4. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu một mô hình mạng CNN phát hiện biến thể gen của bệnh nhân ung thư trên 3 nhãn Non-somatic, SNV, INDEL. Dựa trên kiến trúc mô hình NeuSomatic, chúng tôi đã triển khai cách thức căn chỉnh đoạn đọc một cách dễ tiếp cận hơn và có thể dễ dàng cải tiến, sửa đổi về sau. Mô hình CNN của chúng tôi được huấn luyện và thử nghiệm trên bộ dữ liệu WES của bệnh nhân HCC1395 theo 6 phòng thí nghiệm. Với mục tiêu nghiên cứu và xây dựng mô hình phát hiện biến thể sử dụng học sâu làm nền tảng để phát triển trong tương lai, chúng tôi đã hoàn thành được quy trình xử lý dữ liệu, đào tạo mô hình và đánh giá mô hình. Kết quả cho thấy mô hình chúng tôi tuy đạt độ chính xác trên tập dữ liệu kiểm thử là 83% (với dim 16) nhưng chúng tôi mới chỉ sử dụng 3 đặc trưng trong khi mô hình Neusomatic gốc sử dụng khoảng 100 đặc trưng khác nhau. Công việc tiếp theo của chúng tôi sẽ tập trung vào việc xây dựng thêm các kênh đặc trưng đầu vào cho mô hình và hiệu chỉnh các tham số huấn luyện để tiếp tục cải thiện độ chính xác trong phát hiện các biến thể gen của bệnh nhân ung thư.

1330

Tài liệu tham khảo

- 1. https://vov.vn/xa-hoi/ty-le-tu-vong-do-ung-thu-tai-viet-nam-trong-top-dau-the-gioi-post1035903.vov
- 2. Cibulskis, K. et al. Sensitive detection of somatic point mutations in impure and heterogeneous cancer samples. *Nat. Biotechnol.* **31**, 213 (2013).
- 3. Fan, Y. et al. MuSE: accounting for tumor heterogeneity using a sample-specific error model improves sensitivity and specificity in mutation calling from sequencing data. *Genome Biol.* **17**, 178 (2016).
- 4. Lai, Z. et al. VarDict: a novel and versatile variant caller for next-generation sequencing in cancer research. *Nucleic Acids Res.* **44**, e108–e108 (2016).
- 5. Koboldt, D. C. et al. VarScan 2: somatic mutation and copy number alteration discovery in cancer by exome sequencing. *Genome Res.* **22**, 568–576 (2012).
- 6. Kim, S. et al. Strelka2: fast and accurate calling of germline and somatic variants. *Nat. Methods* **15**, 591–594 (2018).
- 7. Wang, Q. et al. Detecting somatic point mutations in cancer genome sequencing data: a comparison of mutation callers. *Genome Med.* **5**, 91 (2013).
- 8. Fang, L. T. et al. An ensemble approach to accurately detect somatic mutations using SomaticSeq. *Genome Biol.* **16**, 197 (2015).
- 9. Sayed Mohammad Ebrahim Sahraeian, Ruolin Liu, Bayo Lau, Karl Podesta, Marghoob Mohiyuddin, Hugo Y. K. Lam, Deep convolutional neural networks for accurate somatic mutation detection. Nature Communications 10: 1041, (2019).
- 10. https://ftp-trace.ncbi.nlm.nih.gov/ReferenceSamples/seqc/Somatic_Mutation_WG/data/WES/

Detecting gene mutations based on CNN model

Abstract

Accurately detecting cell mutations is a challenge in cancer cell analysis. Various methods have been proposed to detect gene variants from sequence data, including statistical algorithm methods like MuTect2, VarDict, Strelka2, and methods applying deep learning models like MLP. However, the accuracy is not yet high. To improve the efficiency of detecting gene variants from sequence data, we propose a method applying CNN (Convolutional Neural Network), a popular type of deep learning model commonly used in image processing and object recognition tasks. The CNN model can process and analyze sequence data by applying Convolution layers to extract features, then using Activation layers to activate weights in nodes and generate more abstract information for subsequent layers. Thus, the CNN model is capable of analyzing complex features of sequence data and learning the relationships between them, aiding in the detection and classification of variants. Compared to current models, the CNN model achieves the highest accuracy.

Keywords: Gene variants; Sequence data; MLP; Convolutional Neural Network; Image processing.

1332

Public key encryption authentication schemes based on the Elgamal cryptographic algorithm on elliptic curves

Nguyen Kim Thanh^{1*}, Ta Minh Thanh¹, Luu Hong Dung¹

Le Quy Don Technical University **Email: thanhcuchp@gmail.com; Tel: 0976407514*

Abstract

The article proposes an Encryption– Authentication scheme and a public–key block cipher scheme developed from a variant of the ElGamal public–key cryptographic algorithm on elliptic curves. The public–key block cipher scheme proposed here can be applied to symmetric key cryptosystems (such as: DES, AES,...). Furthermore, the shared secret key between the sender/encryptor and the receiver/decryptor is established based on a public–key cryptographic mechanism for each encrypted message, so it is very suitable for practical applications.

Keywords: public key cryptographic; symmetric key cryptographic; Encryption – Authentication scheme; elliptic curves.

1. Introduction

In [1], public key encryption–authentication schemes were proposed based on a variant of the ElGamal cryptographic algorithm [2] on the finite field F_p . In addition to the ability to secure information, these scheme also has the ability to authenticate the origin and integrity of the encrypted message based on the mechanism of public–key cryptography.

Based on the schemes were proposed in [1], this paper proposes an encryption– authentication scheme and a public–key block cipher scheme on the elliptic curve to inherit the advantages of elliptic curve cryptography for security as well as performance efficiency. Here, public–key block cipher scheme can be applied for symmetric–key cryptosystems (such as: DES [3], AES [4],...). In this public–key block cipher scheme, the shared secret key between the sender/encryptor and receiver/decryptor is established based on the mechanism of public–key cryptography for each encrypted message.

2. Public-key Encryption - Authentication schemes

2.1. The Encryption – Authentication scheme

The Encryption – Authentication scheme proposed here includes: the Key Generation algorithm (Algorithm 1.1), the Encryption algorithm (Algorithm 1.2) and the Decryption – Authentication algorithm (Algorithm 1.3), these algorithms are described as follows:

2.1.1. The Key Generation algorithm

The End User's key is generated by the key generation algorithm from the set of domain parameters, includes:

- p is a prime number specifying the underlying finite field F_p .

- $E(F_p)$ is Elliptic curve defined on the finite field F_p by equation E(a,b):

 $y^2 = x^3 + ax + b$ with: $a,b \in F_p$ and satisfied: $4a^3 + 27b^2 \neq 0 \mod q$

- **G** is the base point in $E(F_p)$.

- **q** is the order of **G** in $E(F_p)$.

Attention:

In order for the discrete logarithm problem to be difficult to solve on $E(F_p)$, the domain parameter set can be selected according to ISO/IEC 15946[5], ANSI X9.62 [6] or FIPS PUB 186-4 [7].

The **p**, **a**, **b**, **G**, **q** parameters are system parameters or domain parameters generated by the service provider and (\mathbf{d},\mathbf{P}) are the secret, public key pair of the End User (sender/encryptor, receiver/decryptor). The Key Generation Algorithm is described as follows:

Algorithm 1.1:

input: $E(F_p) = (p,a,b,G,q)$.

output: (d,P).

[1]. Generate the secret key **d** in the range (1,q):

 $d = PRNG(\{1, 2, ..., q-1\})$

[2]. Compute the public key P according to the formula:

 $\mathbf{P} = (\mathbf{x}_p, \mathbf{y}_p) = \mathbf{d} \cdot \mathbf{G}$

Notes:

- PRNG(): the random or pseudo-random number generator.

 $-(x_p, y_p)$: the coordinates of the point P on E(F_p).

Assume d_s is the secret key of the sender (encryptor) and d_r is the secret key of the receiver (decryptor), then the corresponding public keys of the sender are:

 $\mathbf{P}_{s} = (\mathbf{x}_{ps}, \mathbf{y}_{ps}) = \mathbf{d}_{s} \cdot \mathbf{G}$

and of the receiver are:

 $P_r = (x_{pr}, y_{pr}) = d_r . G$

2.1.2. The Encryption algorithm

Algorithm 1.2:

input: $E(F_p) = (p,a,b,G,q), d_s, P_r, m_1.$

output: (R,C).

- [1]. Represent the message m_1 as a point M_1 on $E(F_p)$.
- [2]. Compute the point S_e on $E(F_p)$ according to the formula: $S_e = (x_{se}, y_{se}) = d_s \ . \ P_r$
- [3]. Compute the value R by:

 $\mathbf{R} = \mathbf{HASH}(\mathbf{m}_1)$

[4]. Compute the sender's encryption key e by:

 $e = HASH(R||x_{se})$

[5]. Encrypt the plaintext **m**₁ according to the formula:

 $C = M_1 + e \ . \ G$

[6]. Send ciphertext (R,C) to the receiver.

Notes:

 $-(x_{se}, y_{se})$: the coordinates of the point S_e on E(F_p).

- HASH(): the cryptographic hash function selectable according to NIST 180-4
 [8], e.g. SHA1/SHA256,...
- Operator "||" is the operation to concatenate two bit strings.
- 2.1.3. The Decryption Authentication algorithm

Algorithm 1.3:

input: $E(F_p) = (p,a,b,G,q), d_r, P_s, (R,C).$

output: m₂.

[1]. Compute the point S_d on $E(F_p)$ according to the formula:

 $\mathbf{S}_{d} = (\mathbf{x}_{sd}, \mathbf{y}_{sd}) = \mathbf{d}_{r} \cdot \mathbf{P}_{s}$

[2]. Compute the receiver's decryption key **d** by:

 $d = HASH(R||x_{sd})$

[3]. Decrypt the received message C according to the formula:

 $M_2 = C - d \cdot R$

- [4]. Convert M_2 to the corresponding message m_2 .
- [5]. Compute the value V by:

 $V = HASH(m_2)$

[6]. Check if: V = R then the origin and integrity of the post-decrypted message m_2 is confirmed. Otherwise, if $V \neq R$, the validity of the received message will be denied.

Notes:

- (x_{sd}, y_{sd}) : the coordinates of the point S_d on $E(F_p)$.
- m₂: the post–decrypted message.
- 2.1.4. The correctness of the proposed algorithm

What needs to be proved here is: if the received ciphertext is the same as the sent ciphertext, then the message after decryption is also the message before encryption: $m_2 = m_1$ and the condition: V = R will be satisfied. Therefore, after decryption if the condition: V = R is satisfied, the receiver can confirm with certainty the origin and integrity of the received message.

We have:

 $S_d = d_r \cdot P_s = d_r \cdot (d_s \cdot G) = d_s \cdot (d_r \cdot G) = d_s \cdot P_r = S_e$

We deduce: $x_{sd} = x_{se}$

Therefore:

 $d = HASH(R||x_{sd}) = HASH(R||x_{se}) = e$

So we have:

 $M_2 = C - d.G = M_1 + e.G - d.G = M_1 + e.G - e.G = M_1$

Therefore, we have the first proof: $m_2 = m_1$

Finally, we have the second proof:

 $V = HASH(m_2) = HASH(m_1) = R$

2.1.5. Some evaluation of the security level of the proposed algorithm

The security level of proposed new schemes is evaluated based on its ability to resist some typical attacks as follows:

- Secret key attack: To find the receiver's secret key d_r from the formula:

 $P_r = d_r \cdot G$

or the sender's secret key ds from:

 $P_s = d_s \cdot G$

then the attacker is forced to solve the discrete logarithm problem on $E(F_p)$ [9-23]. Currently, no polynomial-time algorithm has been published for this difficult problem.

- *Ciphertext-only Attack*: In this case, as well as the above case (*Secret key attack*), the attacker has only one way to solve the discrete logarithm problem on $E(F_p)$ to find the sender's secret key or receiver's secret key.

- *Known-plaintext attack:* In this case, in addition to a direct attack on the key generation algorithm (Algorithm 1.1) to find the sender's secret key d_s or receiver's secret key d_r , the attacker can also calculate the sender's encryption key e from the formula:

 $C = M_1 + e.G$

then calculate \mathbf{x}_{se} from:

 $e = HASH(R||x_{se})$

The attacker can also calculate the receiver's decryption key **d** from the formula:

 $M_2 = C - d.G$

then calculate \mathbf{x}_{sd} from:

 $d = HASH(R||x_{sd})$

If the attacker finds \mathbf{x}_{se} or \mathbf{x}_{sd} , the security of the algorithm is completely broken – similar to the case when the attacker finds the sender's secret key or the receiver's secret key. However, in order to calculate \mathbf{x}_{se} or \mathbf{x}_{sd} in the above way, the attacker is also forced to solve the discrete logarithm problem on $E(F_p)$.

- *Spoofing attack*: In the proposed scheme, the origin and integrity of the message after decryption will be verified if the condition: V = R is satisfied.

The origin and integrity of the post-decrypted message will be verified if the condition: V = R is satisfied. From the calculation of the values of V and R, the above condition is satisfied only when the following conditions are satisfied: $S_d = S_e$ and $m_2 = m_1$. Obviously, the condition: $S_d = S_e$ allows the sender and receiver of the message to verify each other's identities. That also means, the origin of the post-decrypted message is authenticated. The condition $m_2 = m_1$ allows the integrity of the message to be verified after decryption.

2.2. The public-key block cipher scheme

The public-key block cipher scheme proposed here is developed based on the algorithm in section 2.1, includes: the Parameter and Key Generation algorithm, the Encryption algorithm (Algorithm 2.1) and the Decryption-Authentication algorithm (Algorithm 2.2). The Parameter and Key Generation Algorithm of the scheme proposed here is exactly the same as Algorithm 1.1 of the public key encryption-authentication algorithm in Section **2.1.1**. The Encryption algorithm and the Decryption–Authentication algorithm are described as follows:

2.2.1. The Encryption algorithm

Algorithm 2.1:

input: $E(F_p) = (p, a, b, G, q), d_s, P_r, P.$

output: (R,C).

[1]. Compute the point S_e on $E(F_p)$ according to the formula:

 $S_e = (x_{se}, y_{se}) = d_s \cdot P_r$

[2]. Compute the value R by:

R = HASH(P)

[3]. Compute the sender's encryption key K_e by:

 $K_e = HASH(R||x_{se})$

[4]. Encrypt the plaintext P by $E_{K}()$ and K_{e} :

 $C = E_{Ke}(P)$

[5]. Send ciphertext (R,C) to the receiver.

Notes:

- -(R,C): the ciphertext corresponding to P.
- E_K(): the Encryption function of a symmetric-key cryptographic algorithm, such as: DES, AES,....
- 2.2.2. The Decryption Authentication algorithm

Algorithm 2.2:

input: $E(F_p) = (p, a, b, G, q), d_r, P_s, (R,C).$

output: M.

[1]. Compute the point S_d on $E(F_p)$ according to the formula:

 $S_d = (x_{sd}, y_{sd}) = d_r \cdot P_s$

[2]. Compute the receiver's decryption key K_d by:

 $K_d = HASH(R||x_{sd})$

[3]. Decrypt the C ciphertext by D_{κ} () and K_d :

 $M = D_{Kd}(C)$

[4]. Compute the value V by:

V = HASH(M)

[5]. Check if: V = R then the origin and integrity of the post-decrypted message M is confirmed. Otherwise, if V ≠ R, the validity of the received message will be denied.

Notes:

- D_{κ} (): the Decryption function of a symmetric key cryptographic algorithm, such as: DES, AES,...
- M: the post-decrypted message.
- 2.2.3. The correctness of the proposed schema

Similar to the encryption-authentication algorithm in **Section 2.1**, what needs to be proved here is: if the received ciphertext is the same as the sent ciphertext, then the message after decryption is also the message before encryption: M = P and the condition: V = R will be satisfied. Therefore, after decryption if the condition: V = R is satisfied, the receiver can confirm with certainty the origin and integrity of the received message. The correctness of the proposed scheme is proved as follows:

We have:

 $S_d = d_r \cdot P_s = d_r \cdot (d_s \cdot G) = d_s \cdot (d_r \cdot G) = d_s \cdot P_r = S_e$

We deduce: $x_{sd} = x_{se}$

So we have:

 $K_d = HASH(R||x_{sd}) = HASH(R||x_{se}) = K_e$

Therefore, we have the first proof:

 $M = D_{Kd}(C) = D_{Kd}(E_{Ke}(P)) = D_{Ke}(E_{Ke}(P)) = P$

Finally, we have the second proof:

V = HASH(M) = HASH(P) = R

2.2.4. Some evaluation of the security level of the proposed schema

In the proposed scheme, its confidentiality depends on the security of the symmetrickey cryptographic algorithm used, in addition, it also depends on another important factor that is the establishment of a shared secret key between the sender/encryptor (U_s) and the receiver/decryptor (U_r).

It is easy to see that in the proposed scheme, the establishment of a shared secret key between U_s and U_r is done for each message and has ensured the basic security properties required by a secure key establishment protocol such as:

– *Entity authentication*: This is a property that allows one of the two objects to confirm with certainty the identity of the object participating in the establishment of a shared secret key. In this algorithm, the calculation of S_e on the sender's side and S_d on the receiver's side allows the objects participating in the key establishment to completely authenticate each other's identities.

- *Key authentication*: Key authentication, also known as implicit key authentication, is the ability/property that one of two objects (U_r or U_s) can confirm with certainty that there is only the other object (U_r or U_s) can generate a shared secret key. In this algorithm, except U_s and U_r , no one can calculate S_e and S_d satisfying the condition: $S_e = S_d$ without solving the discrete logarithm problem on $E(F_p)$.

- *Known key security*: knowing one or more keys shared between U_s and U_r also does not allow a third party to compute other keys that have been or will be established by U_s and U_r . In this algorithm, in order to calculate S_e and S_d from the shared secret keys K_e and K_d , the attacker is also forced to solve the discrete logarithm problem on $E(F_p)$.

Finally, the problem of secret key attack and spoofing attack, similar to the encryption– authentication algorithm in **Section 2.1**, the attacker is also forced to solve the discrete logarithm problem on $E(F_p)$.

2.3. The public-key block cipher scheme based on the hash function SHA-256

This scheme is proposed based on the scheme in Section 2.2 and the scheme in [24-26]. In this scheme, $E_K()$ is an encryption function constructed based on the hash function SHA-256 [8]. The plaintext P is encrypted as n data blocks of size 256 bits:

 $P = \{P_1, P_2, ..., P_i, ..., P_n\}, i = \overline{1, n}, |P_i| = 256 \text{ bits}$

The ciphertext consists of two components R and C. Where R has the size of the output data of SHA-256 (256 bits), and C consists of **n** blocks of data, each of 256 bits in size:

 $C = \{C_1, C_2, ..., C_i, ..., C_n\}, i = \overline{1, n}, |C_i| = 256 \text{ bits}$

One-time use key K_{OT} consists of **n** subkeys K_i also 256 bits in size:

 $K_{OT} = \{K_1, K_2, ..., K_i, ..., K_n\}, i = \overline{1, n}, |K_i| = 256 \text{ bits}$

The post-decrypted message M can be received as **n** blocks of data, each of 256 bits in size:

 $M = \{M_1, M_2, ..., M_i, ..., M_n\}, i = \overline{1, n}, |M_i| = 256 \text{ bits}$

Then the Encryption algorithm (Algorithm 3.1) of the schema can be described as follows:

Algorithm 3.1:

input: $E(F_p) = (p, a, b, G, q), d_s, P_r, P$.

output: (R,C).

[1]. Compute the point S_e on $E(F_p)$ according to the formula:

 $S_e = (x_{se}, y_{se}) = d_s \cdot P_r$

[2]. Compute the value R by:

 $\mathbf{R} = \mathbf{SHA-256}(\mathbf{P})$

[3]. Compute the sender's encryption key K_e by:

 $K_e = SHA-256(R||x_{se})$

[4].
$$K_0 = K_e$$
; $P_0 = K_e$

for i = 1 to n do

begin

$$K_i = SHA-256(P_{i-1}||K_{i-1})$$

$$C_i = P_i \oplus K_i$$

end

[5]. Send ciphertext (R,C) to the receiver.

and the Decryption– Authentication algorithm (Algorithm 3.2) of the schema described as follows:

Algorithm 3.2:

input: $E(F_p) = (p, a, b, G, q), d_r, P_s, (R,C).$

output: M.

[1]. Compute the point S_d on $E(F_p)$ according to the formula:

$$\mathbf{S}_{d} = (\mathbf{x}_{sd}, \mathbf{y}_{sd}) = \mathbf{d}_{r} \cdot \mathbf{P}_{s}$$

[2]. Compute the receiver's decryption key K_d by:

```
\begin{split} K_{d} &= SHA\text{-}256(R||x_{sd}) \\ \text{[3]. } K_{0} &= K_{d}; P_{0} = K_{d} \\ &\text{for } i = 1 \text{ to n } do \\ &\text{begin} \\ & K_{i} = SHA\text{-}256(P_{i\text{-}1}||K_{i\text{-}1}) \\ & M_{i} = C_{i} \oplus K_{i} \\ &\text{end} \end{split}
```

[4]. Compute the value V by:

V = SHA-256(M)

[5]. Check if: V = R then the origin and integrity of the post-decrypted message M is confirmed. Otherwise, if $V \neq R$, the validity of the received message will be denied.

Note:

– Operator " \oplus " is a modulo 2 addition operation (XOR).

3. Conclusion

The article proposes an Encryption– Authentication scheme and a public–key block cipher scheme developed from a variant of the ElGamal public–key cryptographic algorithm on elliptic curves. The public–key block cipher scheme proposed here can be applied to symmetric key cryptosystems (such as: DES, AES,...). Furthermore, the shared secret key between the sender/encryptor and the receiver/decryptor is established based on a public–key cryptographic mechanism for each encrypted message, so it is very suitable for practical applications.

References

- Nguyen Kim Thanh, Ta Minh Thanh, Luu Hong Dung. A PUBLIC KEY ENCRYPTION -AUTHENTICATION SCHEME BASED ON ELGAMAL CRYPTOGRAPHIC ALGORITHM. June 2023. Journal of Science and Technique – ISSN: 1859-0209,
- 2. Elgamal, T. A public key cryptosystem and a signature scheme based on discrete logarithms. IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY (1985).
- 3. National Institute of Standards and Technology, NIST FIPS PUB 46-2. December 1993.
- 4. National Institute of Standards and Technology, NIST FIPS PUB 197-2. November 2001.
- 5. ISO/IEC 15946: Information technology Security techniques Cryptographic Techniques Based on Elliptic Curves,1999.
- 6. ANSI X9.62. Public Key Cryptography for the Financial Services Industry: Elliptic Curve Digital Signature Algorithm (ECDSA), 1999.
- 7. National Institute of Standards and Technology, NIST FIPS PUB 186-4. Digital Signature Standard, U.S. Department of Commerce, 2013.
- 8. National Institute of Standards and Technology, NIST FIPS PUB 180-4. August 2015.
- 9. Lawrence C. Washington. *Elliptic curves Number Theory and Cryptography*. Chapman & Hall/CRC, 2003.
- 10. A. Menezes, P. van Oorschot, and S. Vanstone. Handbook of Applied Cryptography. CRC Press.

- 11. J. KATZ, Y. LINDELL. Introduction to Modern Cryptography. Chapman & Hall/CRC 2008.
- 12. Jeffrey Hoffstein, Jill Pipher and Joseph H. Silverman. An Introduction to Mathematical Cryptography. ISBN 978-0-387-77993-5. Springer Verlag 2008.
- 13. L.C. WASHINGTON. *Elliptic Curves. Number Theory and Cryptography.* Chapman & Hall/CRC 2008.
- 14. D.R. STINSON. Cryptography. Theory and Practice. Chapman & Hall/CRC 2006.
- 15. R.A. MOLLIN. An Introduction to Cryptography. Chapman & Hall/CRC 2006.
- 16. J. Talbot and D. Welsh. *Complexity and Cryptography: An Introduction*. Cambridge University Press, 2006.
- 17. J. H. Silverman. Elliptic curves and cryptography. In *Public-Key Cryptography*, volume 62 of *Proc. Sympos. Appl. Math.*, pages 91–112. Amer. Math. Soc., Providence, RI, 2005.
- 18. J. BUCHMANN. Introduction to Cryptography. Springer-Verlag 2004.
- 19. W. MAO. Modern Cryptography. Theory and Practice. Pearson Education 2004.
- 20. I. SHPARLINSKI. Cryptographic Applications of Analytic Number Theory. Complexity Lower Bounds and Pseurandomness. Birkhäuser 2003.
- 21. S.S. WAGSTAFF. Cryptanalysis of Number Theoretic Ciphers. Chapman & Hall /CRC 2003.
- 22. I. F. Blake, G. Seroussi, and N. P. Smart. *Elliptic Curves in Cryptography*, volume 265 of *London Mathematical Society Lecture Note Series*. Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- 23. I. BLAKE, G.SEROUSSI & N. SMART. *Elliptic Curves in Cryptography*. Cambridge University Press 2000.
- 24. Lưu Hồng Dũng, Nguyễn Ánh Việt. MỘT GIẢI PHÁP XÂY DỰNG HỆ MẬT KHÓA ĐỔI XỨNG. November 2020, Tạp chí AN TOÀN THÔNG TIN số 5 (057), ISSN: 1859-1256,
- 25. Luu Hong Dung, Tong Minh Duc, Bui The Truyen. VARIANT OF OTP CIPHER WITH SYMMETRIC KEY SOLUTION. December 2020, Journal of Science and Technique - Le Quy Don Technical University - No. 213, ISSN: 1859 – 0209, DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v9.n02.210.ict,
- 26. Lưu Hồng Dũng, Nguyễn Ánh Việt, Đoàn Thị Bích Ngọc. THUẬT TOÁN MÃ HÓA XÁC THỰC THÔNG TIN PHÁT TRIỀN TỪ MẬT MÃ OTP. Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số Đặc san CNTT, 12 - 2020, ISSN: 1859 – 1043, DOI: 10.54939/1859-1043.j.mst...87-93.

Lược đồ mã hóa - xác thực khóa công khai tựa Elgamal trên đường cong elliptic

Abstract

Bài viết đề xuất một lược đồ Mã hóa - Xác thực mã khối khóa công khai được phát triển từ một biến thể của thuật toán mật mã khóa công khai ElGamal trên đường cong elliptic. Lược đồ mã khối khóa công khai được đề xuất ở đây có thể áp dụng cho các hệ thống mật mã khóa đối xứng (như DES, AES, ...). Hơn nữa, khóa bí mật chia sẻ giữa người gửi/mã hóa và người nhận/giải mã được thiết lập dựa trên cơ chế mật mã khóa công khai cho mỗi thông điệp đã được mã hóa, do đó rất phù hợp cho các ứng dụng thực tế.

Từ khóa: Mật mã khóa công khai, mật mã đối xứng, lược đồ mã hóa - xác thực, đường cong elliptic.

So sánh hiệu suất các thuật toán học máy và học sâu trong phân loại tin tức

Nguyễn Trọng Tú^{1*}, Nguyễn Trung Tín¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự Email: Trongtu189@gmail.com

Tóm tắt

Trong thời đại số hóa hiện nay, dữ liệu trực tuyến đang phát triển với tốc độ chóng mặt, tạo nên một khối lượng thông tin khổng lồ vượt quá khả năng xử lý của con người. Học máy và học sâu trở thành những công cụ quan trọng để tổ chức, phân loại và hiểu thông tin từ các nguồn tin tức trực tuyến. Hai lĩnh vực này đều là điểm nổi bật trong nghiên cứu khoa học máy, với khả năng phân loại dữ liệu dựa trên nhiều thuật toán và mô hình học tập. Trong bài báo này, chúng tôi tập trung vào việc so sánh hiệu suất giữa các thuật toán học máy truyền thống và các mô hình học sâu hiện đại trong bài toán phân loại tin tức. Đầu tiên, chúng tôi sẽ trình bày vai trò quan trọng của học máy và học sâu trong xử lý thông tin trực tuyến, đặc biệt là trong ngữ cảnh của việc phân loại tin tức. Tiếp theo, chúng tôi sẽ khám phá các đặc điểm cơ bản của hai lĩnh vực này. Cuối cùng, mục tiêu của chúng tôi là đánh giá và so sánh hiệu suất của chúng trong phân loại tin tức, cung cấp cái nhìn sâu sắc về tính ứng dụng và tiến bộ của học máy và học sâu trong thế giới thực tế khi áp dụng trong nhiều lĩnh vực khác, bao gồm cả phân loại tin tức.

Từ khóa: Học máy; học sâu; thu thập tin tức; phân loại tin tức.

1. Giới thiệu

Bài toán phân loại tin tức không chỉ có ý nghĩa trong nghiên cứu khoa học mà còn mang lại nhiều tiềm năng ứng dụng trong thực tế. Việc hiểu và phân loại tin tức có thể đóng vai trò quan trọng trong các lĩnh vực như tổ chức tin tức trực tuyến, quảng cáo, phân tích thị trường và thậm chí cả phòng chống tin giả.

Trong lĩnh vực tổ chức tin tức, việc tự động phân loại và gán nhãn cho các bài báo có thể giúp tăng cường hiệu suất làm việc của các tổ chức truyền thông, giảm thiểu thời gian và chi phí cho việc xử lý dữ liệu, đồng thời cải thiện trải nghiệm người dùng thông qua việc cung cấp thông tin chính xác và liên quan. Trong lĩnh vực quảng cáo, việc hiểu nội dung của các bài báo có thể giúp các doanh nghiệp định hình chiến lược quảng cáo của họ một cách hiệu quả hơn, đồng thời tăng cường sự tương tác và hiệu quả của các chiến dịch quảng cáo trực tuyến.

Ngoài ra, trong thị trường tài chính, việc tổ chức và phân loại thông tin tin tức có thể giúp nhà đầu tư đưa ra quyết định đầu tư thông minh dựa trên các dữ liệu tin tức đáng tin cậy và được phân loại một cách chính xác. Cuối cùng, trong cuộc chiến chống lại thông tin giả mạo, việc sử dụng học máy và học sâu để phân loại tin tức có thể giúp phát hiện và ngăn chặn sự lan truyền của thông tin sai lệch, đóng góp vào việc duy trì sự tin cậy và an toàn của môi trường truyền thông trực tuyến.

Những ứng dụng này chỉ là một phần nhỏ của khả năng của học máy và học sâu trong việc phân loại tin tức và các ứng dụng khác. Bằng cách nghiên cứu và so sánh hiệu suất của các phương pháp này, chúng tôi hy vọng rằng bài báo sẽ cung cấp cái nhìn tổng quan về khả năng áp dụng và tiềm năng của học máy và học sâu trong nhiều lĩnh vực thực tế.

2. Công trình liên quan

Trong lĩnh vực phân loại văn bản, nhiều nghiên cứu đã đóng góp đáng kể vào sự hiểu biết và ứng dụng của các mô hình và kỹ thuật hiện đại. Một trong những nghiên cứu đáng chú ý là của Kowsari và đồng nghiệp [1], đã giới thiệu phương pháp "Random Multimodel Deep

Learning for Classification" thông qua mô hình học sâu đa mô hình ngẫu nhiên, tập trung vào việc áp dụng các mô hình đa mô hình để cải thiện hiệu suất phân loại văn bản. Sự tích hợp của kỹ thuật thu thập tin tức, xử lý ngôn ngữ tự nhiên [2] đưa ra một sự đổi mới đáng chú ý trong lĩnh vực phân loại văn bản không cần nhãn (zero-shot text classification).

Các mô hình học máy và học sâu [3] cung cấp một cái nhìn toàn diện về việc áp dụng học sâu trong phân loại văn bản, thông qua việc tổng hợp thông tin từ 150 mô hình học sâu hiện đại. Công trình nghiên cứu của Kolluri, Razia và Nayak [4] tập trung vào các phương pháp phân loại văn bản, bao gồm giám sát, không giám sát và bán giám sát. Công trình này mở ra nhiều phương pháp tiên tiến như phương pháp dựa trên đồ thị, SVM chuyển giao và tự động lọc, đưa ra sự đa dạng trong cách tiếp cận vấn đề. Nghiên cứu của Wei và Zou [5] mang đến một góc nhìn mới về việc tăng cường hiệu suất phân loại văn bản bằng cách sử dụng các kỹ thuật tăng cường dữ liệu đơn giản như thay thế từ đồng nghĩa, chèn ngẫu nhiên, hoán đổi ngẫu nhiên và xóa ngẫu nhiên.

Ngoài ra, các nghiên cứu khác cũng làm rõ sự tiến bộ trong lĩnh vực này. Girgis và đồng nghiệp [6] đã nghiên cứu về việc sử dụng thuật toán học sâu để phát hiện tin tức giả mạo trực tuyến. Trong khi đó, Widiastuti [7] đã đề xuất sử dụng Convolutional Neural Network (CNN) cho việc khai thác thông tin từ văn bản và xử lý ngôn ngữ tự nhiên. Zhao và đồng nghiệp [8] và Cheng và đồng nghiệp [9] đều đưa ra các nghiên cứu về việc giải thích các mô hình phân loại văn bản sử dụng CNN và các kỹ thuật như max-pooling. Nghiên cứu của Devlin và đồng nghiệp [10] giới thiệu mô hình BERT, một trong những tiến bộ lớn trong việc tiền xử lý ngôn ngữ tự nhiên và phân loại văn bản. Các nghiên cứu này cùng nhau hình thành một bức tranh đa dạng về các chiến lược và kỹ thuật áp dụng trong phân loại văn bản sử dụng deep learning.

3. Phương pháp nghiên cứu

Trong lĩnh vực phân loại văn bản, nhiều nghiên cứu quan trọng đã đóng góp vào việc hiểu rõ hơn về hiệu suất và ứng dụng của các thuật toán để giải quyết bài toán cụ thể. Một số phương pháp học máy phổ biến hiện nay bao gồm: Support Vector Machine (SVM) được giới thiệu bởi Joachims [11], k-Nearest Neighbor được trình bày trong công trình của Han et al. [12], Naïve Bayes theo Baker và McCallum [13], và phương pháp cây quyết định như được mô tả bởi Magerman [14]. Các phương pháp này chủ yếu dựa vào xác suất thống kê hoặc thông tin về trọng số của từ trong văn bản. Tuy nhiên, kết quả của các nghiên cứu và ứng dụng mô hình học máy cho phân loại văn bản vẫn chưa đạt được độ chính xác cao.

Trong nghiên cứu gần đây, Liu và đồng nghiệp [15] đã giới thiệu một phương pháp mới cho việc tăng cường dữ liệu văn bản thông qua học tăng cường dữ liệu (Data Boost). Bằng cách sử dụng mô hình sinh tổng có hướng bằng học tăng cường, phương pháp này hướng dẫn việc tạo ra dữ liệu mới để cải thiện hiệu suất của mô hình phân loại văn bản. Công trình này đặt ra một phương hướng sáng tạo trong việc áp dụng kỹ thuật học tăng cường để tối ưu hóa việc tạo dữ liệu mới trong lĩnh vực xử lý ngôn ngữ tự nhiên.

Trong một ngữ cảnh khác, Ranjitha và Prasad [16] đã đề xuất một kế hoạch tối ưu hóa cho việc phân loại văn bản bằng cách sử dụng máy học và bộ phân loại Naïve Bayes. Công trình này không chỉ tập trung vào việc cải thiện hiệu suất của mô hình phân loại mà còn đưa ra một góc nhìn mới về việc tối ưu hóa quá trình này.

Ngoài ra, Shathi và đồng nghiệp [17] đã đề xuất một cách tiếp cận mới để tăng cường hiệu suất của phân loại văn bản bằng cách áp dụng mô hình Naïve Bayes. Phương pháp này giới thiệu một trọng số bổ sung dựa trên số lượng ít ví dụ huấn luyện, làm nổi bật khía cạnh cải thiện hiệu suất của mô hình trong trường hợp dữ liệu huấn luyện hạn chế.

Nhìn chung, những nghiên cứu này đều làm sáng tỏ tầm quan trọng của lựa chọn tính năng, tác động của các thuật toán khác nhau và ứng dụng thành công của các kỹ thuật học máy trong phân loại văn bản trên nhiều lĩnh vực. Điều này làm gia tăng sự hiểu biết của cộng đồng nghiên cứu và giúp tạo ra những ứng dụng ngày càng mạnh mẽ trong lĩnh vực này.

Nhiều ứng dụng hiệu quả trong việc phân loại văn bản đã được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Các ứng dụng này bao gồm phân loại trang web [18], lọc thông tin văn bản [19], truy xuất thông tin [20], phân loại tin tức văn bản [21], phân loại thư điện tử, phân loại bài báo học thuật sử dụng các lĩnh vực kỹ thuật và tên miền phụ, lọc thư rác, tự động hóa dịch vụ khách hàng, khai thác ý kiến trên mạng xã hội [22], và phân tích tình cảm [23], [24], nhằm đáp ứng nhu cầu đa dạng của các ứng dụng.

3.1. Bộ dữ liệu

Bộ dữ liệu cho thực nghiệm được thu thập từ trang báo điện tử VnExpress (website: https://vnexpress.net/). Sử dụng công cụ Selenium để trích xuất các bài báo từ mười hai chuyên mục bao gồm: "thời sự, thế giới, kinh doanh, thể thao, pháp luật, giải trí, giáo dục, sức khỏe, đời sống, du lịch, số hóa, xe" với tổng số lượng 31168 bài báo. Khi thu thập dữ liệu của các chuyên mục gặp phải vấn đề là website chỉ hiển thị dữ liệu của một tháng, có những chuyên mục phải tăng thêm thời gian để cho số lượng bài báo trong tập dữ liệu này được biểu diễn bằng một đoạn văn bản và được gắn kết với một nhãn, xác định danh mục chủ đề chính của bài báo.

Ngoài ra, bộ dữ liệu này được chia thành các tập huấn luyện (train) và tập kiểm tra (test) với tỉ lệ 8-2. Mục tiêu chính của việc sử dụng bộ dữ liệu này là xây dựng các mô hình học máy và học sâu để thực hiện quá trình phân loại tự động các bài báo vào các danh mục tương ứng. Sự đa dạng của các danh mục cung cấp một thách thức thú vị cho việc đánh giá hiệu suất và tính linh hoạt của các mô hình phân loại được triển khai.

TT	Chuyên mục	Số lượng bài	ТТ	Chuyên mục	Số lượng bài
1.	thời sự	2601	7.	giáo dục	2602
2.	thế giới	2598	8.	sức khỏe	2587
3.	kinh doanh	2592	9.	đời sống	2611
4.	thể thao	2603	10.	du lịch	2590
5.	pháp luật	2590	11.	số hóa	2592
6.	giải trí	2601	12.	xe	2601

Bảng 1. Thống kê số bài báo của các chuyên mục.

1344

3.2. Mô hình cơ bản

3.2.1. Mô hình học máy

Naïve Bayes: Dự đoán và phân loại dữ liệu dựa trên dữ liệu và số liệu thống kê có thể quan sát được, sử dụng định lý Bayes của lý thuyết xác suất. MNB là một thuật toán học có giám sát được sử dụng phổ biến vì nó tương đối dễ huấn luyện và đạt hiệu suất cao.

Logistic Regression: Phân loại nhị phân dựa trên mối quan hệ giữa các biến độc lập hiện có. Phương pháp này yêu cầu trích xuất các đặc trưng thủ công từ dữ liệu để phân loại văn bản.

Decision Tree: Phương pháp phân loại mạnh mẽ và phổ biến nhất. Mỗi nút trong cây đại diện cho một phép thử trên một thuộc tính, mỗi nhánh là kết quả của phép thử và mỗi nút lá là một nhãn lớp.

Random Forest: Phương pháp giải quyết các nhiệm vụ phân loại và hồi quy bằng cách xây dựng trên nhiều cây quyết định và đầu ra dự đoán dựa trên quyết định tổng hợp trên các cây quyết định.

Support Vector Machine (SVM): Phương pháp tìm ra ranh giới quyết định tối ưu giữa các lớp hoặc dự đoán một giá trị liên tục. SVM thường được sử dụng cho các bài toán phân loại tuyến tính.

K-Nearest Neighbors (KNN): Một thuật toán học máy không giám sát được sử dụng cho các tác vụ phân loại và hồi quy. Trong thuật toán này, dự đoán cho một điểm dữ liệu mới được thực hiện bằng cách tìm kiếm K điểm dữ liệu gần nhất trong tập huấn luyện và sử dụng đa số nhãn của những điểm này để dự đoán nhãn cho điểm dữ liệu mới.

Decision Tree: Một thuật toán học máy có giám sát được sử dụng cho các tác vụ phân loại và hồi quy. Mô hình Decision Tree xây dựng một cây quyết định từ dữ liệu huấn luyện, trong đó mỗi nút trong cây đại diện cho một thuộc tính (hoặc biến đầu vào), và mỗi lá trong cây đại diện cho một thuộc tính (hoặc biến dầu vào), và mỗi lá trong cây đại diện cho một lớp (hoặc nhãn). Khi dự đoán cho một điểm dữ liệu mới, mô hình đi xuống từ gốc của cây theo các quy tắc quyết định cho đến khi đạt được một lá, và sau đó dự đoán lớp tương ứng với lá đó.

3.2.2. Mô hình học sâu

CNN (Convolutional Neural Network) là một phương pháp học sâu, kiến trúc của CNN có thể áp dụng trong nhiều lĩnh vực từ nhận dạng hình ảnh đến xử lý ngôn ngữ tự nhiên. Mục tiêu của CNN là giảm kích thước của dữ liệu mà vẫn giữ được các đặc trưng quan trọng trong quá trình xử lý, đảm bảo độ chính xác cao hơn cho các dự đoán.

LSTM (Long Short-Term Memory) là một phương pháp sử dụng mạng neural để học và dự đoán các mẫu trong dữ liệu chuỗi. Trong mạng neural, việc cập nhật các trọng số thông qua thuật toán backpropagation có thể gặp vấn đề như đạo hàm tiêu biến hoặc phát triển vượt quá mức. Kiến trúc bộ nhớ dài hạn (LSTM) là một phiên bản cải tiến của Mạng Nơ-ron Tái phát (RNN), giúp khắc phục vấn đề đạo hàm tiêu biến bằng cách sử dụng thêm một trạng thái tái phát gọi là ô nhớ. Mô hình LSTM cung cấp khả năng học chuỗi dữ liệu trải dài trong thời gian dài, từ đó làm cho nó trở thành một kỹ thuật phù hợp cho nhiệm vụ phân tích cảm xúc. Bằng cách kết hợp các RNN tiến và lùi lại với nhau, ta tạo thành một tensor duy nhất để tăng hiệu suất của mô hình dựa trên LSTM. Ngoài khả năng hai chiều, nhiều lớp LSTM có thể được xếp chồng lên nhau để tăng hiệu suất hơn nữa.

3.3. Tiền Xử Lý và Chuẩn Hóa Dữ Liệu

Token hóa

Quá trình token hóa, một phương pháp quan trọng trong tiền xử lý dữ liệu, được thực hiện để chia một đoạn văn bản thành các đơn vị ý nghĩa nhỏ hơn, được gọi là "tokens". Mục tiêu của quá trình này là tạo ra một danh sách các từ hoặc cụm từ có ý nghĩa, giúp kiểm tra từng thành phần trong câu một cách chính xác. Dưới đây là ví dụ minh họa:

Sau khi được Token Hóa:

{"không", "khí", "lạnh", "sắp", "tràn", "về", "và", "xuất", "hiện", "băng", "giá"}

Quá trình này không chỉ giúp chuẩn hóa và làm sáng tỏ văn bản mà còn tạo ra một cơ sở dữ liệu từ vựng quan trọng cho các bước tiền xử lý và phân tích dữ liệu tiếp theo trong quá trình nghiên cứu.

Loại Bổ Stopword

Trong quá trình tiền xử lý, các từ không mang ý nghĩa quan trọng trong phân loại, thường được biết đến là stopword (ví dụ: "và", "của", "là", ...), được loại bỏ khỏi văn bản và tài liệu. Việc này giúp tăng cường chất lượng và độ chính xác của dữ liệu, giảm thiểu ảnh hưởng của những từ không quan trọng đối với quá trình phân loại.

Viết Hoa

Việc xử lý chữ viết hoa được thực hiện bằng cách chuyển đổi mọi chữ cái thành chữ thường. Điều này nhằm mục đích đồng nhất không gian đặc trưng của từ vựng trong văn bản và tài liệu. Đối với những từ viết tắt và ngôn ngữ lóng, một bộ chuyển đổi đặc biệt được áp dụng để giải quyết những trường hợp ngoại lệ và đảm bảo tính nhất quán trong quá trình phân tích và đánh giá.

1	chuyenmuc	noidung
2	thời_sự	bộ_trưởng quốc_phòng cần chế_độ đãi_ngộ riêng cho ch
3	thời_sự	loạt cầu ở tp hcm tăng_tốc thi_công sau khi có mặt_bằng
4	thời_sự	công_viên lớn nhất thanh_hóa trước cải_tạo hai công_nh
5	thời_sự	đề_xuất tp hcm lập_quỹ phát_triển vi_mạch 5 triệu usd la
6	thời_sự	bên trong nhà_máy sản_xuất pháo_hoa duy_nhất tại việt
7	thời_sự	sập tấm đan đường gom cao_tốc hai người tử_vong nan
8	thời_sự	65 lao_động nhận trợ_cấp thất_nghiệp không bằng_cấp
9	thời_sự	tháp nước hàng đậu lần đầu_tiên mở_cửa cho khách tha
10	thời_sự	đề_xuất cấm đánh_bắt có thời_hạn vùng_biển gần lý sơn
11	thời_sự	tai_nạn liên_hoàn trên đường tránh nam hải_vân thành

Hình 1: Dữ liệu sau khi đã được xử lý.

3.4. Trích Xuất Đặc Trưng

Term Frequency (TF)

Trong quá trình trích xuất đặc trưng văn bản, một trong những phương pháp cơ bản nhất là Term Frequency (TF). Theo phương pháp này, mỗi từ trong văn bản được ánh xạ tới một số biểu thị số lần xuất hiện của từ đó trong toàn bộ kho ngữ liệu. Các phương pháp mở rộng thường sử dụng tần số từ dưới dạng trọng số theo tỷ lệ boolean hoặc logarit. Kết quả của quá trình này là mỗi tài liệu được biểu diễn bằng một vectơ chứa tần suất xuất hiện của các từ trong tài liệu đó.

TF-IDF

TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) là một phương pháp đánh giá tầm quan trọng của từng từ trong một tài liệu và so sánh với bộ sưu tập tài liệu. Phương pháp này đo lường tần suất xuất hiện của một từ trong một tài liệu và so sánh nó với số lượng tài liệu mà từ đó xuất hiện. TF-IDF là một công cụ mạnh mẽ trong lĩnh vực xử lý ngôn ngữ tự nhiên (NLP) và trí tuệ nhân tạo, giúp hiểu và đánh giá nội dung của văn bản một cách chính xác và hiệu quả.

Công thức cho TF-IDF là:

$$W(d,t) = TF(d,t) * \log(\frac{N}{df(t)})$$

Trong đó, $W(d, t) = S\delta$ lần thuật ngữ "t" xuất hiện trong tài liệu "d". df(t) là Tần suất tài liệu nghịch đảo của thuật ngữ t. TfidfVectorizer chuyển đổi một tập hợp các tài liệu thô thành một ma trận các tính năng TF-IDF.

Bag-of-Words (BoW)

Ngoài ra, chúng ta cũng sử dụng phương pháp Bag-of-Words (BoW) để biểu diễn văn bản. BoW là một phương pháp đơn giản nhưng hiệu quả, trong đó mỗi tài liệu được biểu diễn bằng một vecto chứa tần suất xuất hiện của các từ trong tài liệu đó. BoW không quan tâm đến thứ tự của từ, chỉ quan trọng về việc từ đó có xuất hiện trong tài liệu hay không. Từ đó, chúng ta có thể sử dụng CountVectorizer để chuyển đổi dữ liệu văn bản thành ma trận các đặc trưng BoW.

Cả ba phương pháp trích xuất đặc trưng này đều quan trọng trong việc hiểu và biểu diễn nội dung của văn bản trong nghiên cứu của chúng ta.

3.5. Thuật toán nhúng

Nhúng từ là một kỹ thuật học tính năng trong đó mỗi từ hoặc cụm từ vựng được ánh xạ tới một vecto N chiều của các số thực.

GloVe

GloVe, hoặc Global Vectors, là một kỹ thuật nhúng từ mạnh mẽ khác, tương tự Word2Vec. Nó đào tạo vecto chiều cao cho mỗi từ dựa trên từ xung quanh trong một kho văn bản lớn. GloVe sử dụng các véc-tơ từ được đào tạo trước từ ngữ liệu lớn và cung cấp các vecto hóa từ với kích thước khác nhau (100, 200, 300). Hàm mục tiêu của GloVe là:

$$f(w_i - w_j, \widetilde{w}_k) = \frac{p_{ik}}{p_{jk}}$$

3.6. Bài toán phân loại văn bản:

Trích xuất đặc trưng (Feature extraction)

Trước hết, để xử lý văn bản phi cấu trúc, quá trình trích xuất đặc trưng là bước quan trọng. Dữ liệu được làm sạch để loại bỏ ký tự và từ không cần thiết, sau đó áp dụng các phương pháp trích xuất đặc trưng chính thức. Các kỹ thuật như TF-IDF, TF, GloVe được sử dụng để chuyển đổi văn bản thành không gian đặc trưng có cấu trúc, cần thiết để áp dụng mô hình toán học cho việc phân loại.

Giảm kích thước (Dimensionality reduction)

Do tập dữ liệu văn bản thường chứa nhiều từ duy nhất, việc xử lý trước có thể trở nên trễ do độ phức tạp của bộ nhớ và thời gian. Sử dụng thuật toán giảm kích thước giúp giải quyết vấn đề này, giảm thời gian và độ phức tạp của bộ nhớ. Trong môi trường đòi hỏi hiệu suất cao, việc này tránh được sự giảm đáng kể trong hiệu suất và đảm bảo khả năng xử lý của hệ thống.

Kỹ thuật phân loại

Quyết định về bộ phân loại đúng là bước quan trọng nhất. Sự hiểu biết vững về từng thuật toán là chìa khóa để chọn ra mô hình phân loại hiệu quả nhất. Khảo sát các nghiên cứu và thử nghiệm với một số thuật toán sẽ giúp xác định lựa chọn tối ưu cho ứng dụng phân loại văn bản. Bằng cách này, có thể đạt được sự hiệu quả và chính xác cao trong quá trình phân loại.

Các mô hình máy học thực nghiệm trong nghiên cứu được triển khai bằng cách sử dụng thư viện máy học Scikit-learn do Python cung cấp. Scikit-learn là một thư viện đầy đủ tính năng và dễ sử dụng để triển khai các mô hình học máy trong phân loại văn bản. Scikit-learn cung cấp nhiều tính năng và công cụ cho phân loại văn bản, bao gồm: Mô hình phân loại, Tối ưu hóa siêu tham số, Đánh giá mô hình.

Trong quá trình phát triển mô hình phân loại, Scikit-learn là một thư viện mạnh mẽ cung cấp nhiều mô hình học máy khác nhau. Các mô hình như Support Vector Machines (SVM), Naive Bayes, Cây quyết định, KNN... đều được tích hợp, cho phép lựa chọn mô hình phù hợp nhất cho tập dữ liệu cụ thể.

Tối ưu hóa siêu tham số

Để đạt hiệu suất tối ưu, Scikit-learn cung cấp công cụ GridSearchCV. Công cụ này cho phép tìm kiếm siêu tham số tối ưu cho các mô hình học máy. GridSearchCV duyệt qua tất cả các giá trị trong các tập hợp siêu tham số đã được định nghĩa, huấn luyện mô hình với mỗi bộ siêu tham số để tìm ra bộ siêu tham số tối ưu cho mô hình phân loại.

Đánh giá hiệu suất

Đánh giá hiệu suất của mô hình là bước quan trọng. Scikit-learn cung cấp các công cụ đánh giá như cross-validation và các độ đo như accuracy, precision, recall, và F1-score. Những chỉ số này giúp đánh giá độ chính xác và hiệu suất của mô hình phân loại trong việc xác định danh mục của các bài báo từ tập dữ liệu VnExpress.

4. Kết quả tính toán và thảo luận

4.1. Cài đặt thử nghiệm

Trong phần này, chúng tôi triển khai các mô hình học máy và học sâu, các tham số đã được tối ưu để cho kết quả tốt nhất. Tất cả tính toán được thực hiện trên máy tính cá nhân với bộ vi xử lý AMD Ryzen 7 5800X hoạt động ở tốc độ 3,9GHz, và được hỗ trợ bởi 32GB RAM.

Trong phần đánh giá này, một số thuật toán học máy điển hình như: Naïve Bayes, Random Forest, Decision Tree, Logistic Regression, KNN (K-nearest neighbors), SVM (Support Vector Machine) được sử dụng và tinh chỉnh để đánh giá trên bộ dữ liệu. Sử dụng kỹ thuật TF-IDF và BoW để trích chọn đặc trưng.

STT	Thuật toán	Giá trị các tham số	
1.	Random Forest	Max_depth: 25; Min_samples_leaf: 2;	
		Min_samples_split: 2; N_estimators: 100	
2.	Logistic Regression	C: 1.0; penalty: 12	
3.	KNN	K: 5; weights: uniform	
4.	Decision Tree	Criterion: entropy; Min_samples_leaf: 6	
5.	SVM	Kernel: rbf; C: 1.0; Gamma: scale	

Bảng 2. Thống kê một số giá trị cho các thuật toán học máy.

1348

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ sử dụng phương pháp GloVe để thực hiện véc tơ hóa từ, tích hợp vào các mô hình học sâu, tham số mô hình CNN và LSTM như bảng 3.

STT	Mô hình	Giá trị các tham số
1.	CNN	Filters: 64; Kernel_size: (3, 3); Strides: (1, 1); Padding: 'same'; Activation: 'relu'; Pool_size: (2, 2); Dropout: 0.25; Loss: 'categorical_crossentropy'; Optimizer: Adam optimizer; Epochs: 10; Batch_size: 32
2.	LSTM	Units: 128; Dropout: 0.2; Recurrent_dropout: 0.2; Activation: 'relu'; Loss: 'categorical_crossentropy'; Optimizer: Adam optimizer; Epochs: 10; Batch_size: 32

Bảng 3. Thống kê một số giá trị cho các mô hình học sâu.

4.2. Đánh giá hiệu suất phân loại

Để đánh giá hiệu suất của mô hình trong nhiệm vụ phân loại, các độ đo phổ biến là độ chính xác (Accuracy) và điểm F1-macro thường được sử dụng rộng rãi. Tuy nhiên, đối với các bài toán có sự mất cân bằng giữa các lớp trong bộ dữ liệu, điểm F1-macro trung bình trở thành một lựa chọn ưu tiên. Điểm F1-macro trung bình là giá trị trung bình của F1-score được tính cho từng lớp, đảm bảo tính cân bằng giữa độ chính xác và độ phủ của mô hình trên các lớp khác nhau.

4.3. Kết quả thử nghiệm

Dựa vào kết quả thử nghiệm Bảng 4, 5, 6 trên bộ dữ liệu được thu thập từ các bài báo trên trang VnExpress, chúng tôi đã thực hiện phân tích hiệu suất của các thuật toán phân loại văn bản. Kết quả cho thấy sự đa dạng trong hiệu suất của các thuật toán.

Trước hết, với phương pháp TF-IDF, thuật toán Logistic Regression cho thấy hiệu suất tốt nhất với Precision, Recall, và F1-Score đều đạt mức cao nhất, đồng thời đạt được độ chính xác cao nhất là 94,22%. SVM cũng cho thấy hiệu suất ấn tượng với các giá trị Precision, Recall, và F1-Score lần lượt xấp xỉ và cao hơn so với Logistic Regression, cùng với mức độ chính xác 93,80%. Trong khi đó, Naïve Bayes và Random Forest cũng đem lại kết quả khả quan, mặc dù không đạt được hiệu suất cao nhất như Logistic Regression và SVM.

Với phương pháp Bag of Words (BoW), Logistic Regression tiếp tục là thuật toán vượt trội với hiệu suất cao nhất ở mọi phương diện đánh giá và độ chính xác 92,79%. Cả SVM và Random Forest cũng cho thấy hiệu suất tương đối tốt, trong khi Naïve Bayes lại có hiệu suất thấp hơn so với các thuật toán khác.

Đối với phương pháp sử dụng GloVe trong CNN và LSTM, cả hai mô hình đều đạt được hiệu suất tương đối tốt. CNN và LSTM đều có Precision, Recall, và F1-Score gần như bằng nhau, với CNN có độ chính xác cao hơn một chút, đạt 89,29% và 88,07% tương ứng.

Logistic Regression và SVM là hai thuật toán thường cho thấy hiệu suất tốt nhất, đặc biệt là khi sử dụng phương pháp TF-IDF. Tuy nhiên, CNN và LSTM cũng đem lại kết quả khả quan và cho thấy tiềm năng trong việc xử lý văn bản với GloVe. Điều này cho thấy sự đa dạng và tính linh hoạt của các phương pháp và thuật toán trong việc phân loại văn bản.

STT	Thuật toán	Precision	Recall	F1-Score	Accuracy
1.	Naïve Bayes	0,9173	0,9167	0,9167	0,9167

Bảng 4. Kết quả so sánh các thuật toán học máy theo phương pháp TF-IDF.

1349	
------	--

2.	Random Forest	0,9074	0,9074	0,9074	0,9074
3.	SVM	0,9385	0,9380	0,9380	0,9380
4.	Logistic Regression	0,9425	0,9422	0,9422	0,9422
5.	Kneighbors	0,8863	0,8824	0,8892	0,8863
6.	Decision Tree	0,9089	0,9048	0,9023	0,9048

Bảng 5. Kết quả so sánh các thuật toán học máy theo phương pháp BoW.

STT	Thuật toán	Precision	Recall	F1-Score	Accuracy
1.	Naïve Bayes	0,9196	0,9137	0,9132	0,9136
2.	Random Forest	0,9077	0,9077	0,9076	0,9076
3.	SVM	0,9079	0,9077	0,9077	0,9076
4.	Logistic Regression	0,9280	0,9280	0,9280	0,9279
5.	Kneighbors	0,8842	0,8804	0,8817	0,8842
6.	Decision Tree	0,9077	0,9024	0,9012	0,9024

Bảng 6. Kết quả đánh giá với CNN và LSTM theo sử dụng phương pháp GloVe.

STT	Mô hình	Precision	Recall	F1-Score	Accuracy
1.	CNN	0,8940	0,8929	0,8927	0,8929
2.	LSTM	0,8819	0,8808	0,8808	0,8807

5. KÊT LUÂN

Sau quá trình thực nghiệm và đánh giá các thuật toán học máy và học sâu trong bài toán phân loại văn bản. Ta có thể thấy thuật toán Logistic Regression TF-IDF đạt được hiệu suất cao nhất trong việc phân loại tin tức, với Macro avg Precision, Macro avg Recall, Macro avg F1-Score và Accuracy đều đạt giá trị lớn. Điều này chứng tỏ LogisticRegression TF-IDF là một lựa chọn xuất sắc cho bài toán phân loại văn bản tại thời điểm nghiên cứu.

Để đạt được ứng dụng hiệu quả trong bối cảnh thông tin Tiếng Việt, nghiên cứu có thể mở rộng phạm vi của mình để tối ưu hóa quá trình phân loại tin tức Tiếng Việt. Điều này đòi hỏi sự điều chỉnh về ngôn ngữ và đặc trưng của mô hình, nhằm đảm bảo hiệu suất tối ưu trên dữ liệu văn bản Tiếng Việt.

Nghiên cứu này đã thực hiện so sánh hiệu suất của các thuật toán học máy và học sâu trong việc phân loại tin tức. Tuy nhiên, để đảm bảo tính tổng quát và khả năng mở rộng của mô hình, chúng tôi đề xuất mở rộng thử nghiệm trên các tập dữ liệu lớn hơn, đa dạng và nhiều chủ đề. Việc này sẽ giúp xác định khả năng chung của mô hình trong các ứng dụng thực tế, cũng như cung cấp cái nhìn rõ ràng hơn về hiệu suất của nó trên nhiều bối cảnh và ngữ cảnh khác nhau.

Đồng thời, chúng tôi cũng đề xuất ứng dụng việc phân loại tin tức trong các lĩnh vực khác, như phân loại email, phát hiện tin tức giả mạo, hay quản lý nội dung trên mạng xã hội. Việc áp dụng mô hình phân loại tin tức này vào các lĩnh vực khác sẽ giúp tối ưu hóa quản lý thông tin, cải thiện trải nghiệm người dùng và hỗ trợ quyết định trong các tổ chức và doanh nghiệp. Điều này đồng thời cũng tạo ra cơ hội phát triển và ứng dụng rộng rãi cho các công nghệ học máy và học sâu trong các lĩnh vực thực tế.

1350

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Kowsari, K., Heidarysafa, M., Brown, D. E., Meimandi, K. J., & Barnes, L. E. (2018). Random Multimodel Deep Learning for Classification.
- [2] Yin, W., Hay, J., & Roth, D. (2019). Benchmarking zero-shot text classification: Datasets, evaluation, and entailment approach. Published in August 2019. Retrieved from arXiv preprint arXiv:2012.02952. doi:10.18653/v1/2020.emnlp-main.726
- [3] Minaee, S., Kalchbrenner, N., Cambria, E., Nikzad, N., Chenaghlu, M., & Gao, J. (2022). Deep learning based text classification: A comprehensive review.
- [4] Kolluri, J., Razia, S., & Nayak, S. R. (2020). Text classification using machine learning and deep learning models.
- [5] Wei, J., & Zou, K. (2019). Easy data augmentation techniques for boosting performance on text classification tasks.
- [6] Girgis, S., Amer, E., & Gadallah, M. (2018). Deep learning algorithms for detecting fake news in online text. In: 2018 13th International Conference on Computer Engineering and Systems (ICCES) (pp. 93–7).
- [7] Widiastuti, N. I. (2019). Convolution neural network for text mining and natural language processing. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (p. 52010).
- [8] Zhao, W., Joshi, T., Nair, V. N., & Sudjianto, A. (2020). Shap values for explaining CNN-based text classification models.
- [9] Cheng, H., Yang, X., Li, Z., Xiao, Y., & Lin, Y. (2019). Interpretable text classification using CNN and max-pooling.
- [10] Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding.
- [11] Joachims, T. (1999). Transductive inference for text classification using support vector machines. In Icml.
- [12] Han, E.-H., Karypis, G., & Kumar, V. (2001). Text categorization using weight adjusted k-nearest neighbor classification. Advances in Knowledge Discovery and Data Mining: 5th Pacific-Asia Conference, PAKDD 2001 Hong Kong, China, April 16–18, 2001 Proceedings 5.
- [13] Baker, L. D., & McCallum, A. K. (1998). Distributional clustering of words for text classification. In Proceedings of the 21st annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval.
- [14] Magerman, D. M. (1995). Statistical decision-tree models for parsing.
- [15] Liu, R., Xu, G., Jia, C., Ma, W., Wang, L., and Vosoughi, S. (2020). Data boost: text data augmentation through reinforcement learning guided conditional generation. arXiv preprint arXiv:2012.02952. doi: 10.18653/v1/2020.emnlp-main.726
- [16] Ranjitha, K., and Prasad, V. (2020). "Optimization scheme for text classification using machine learning naïve bayes classifier," in ICDSMLA 2019 (Springer), 576–586.
- [17] Shathi, S. P., Hossain, M. D., Nadim, M., Riayadh, S. G. R., and Sultana, T. (2016). "Enhancing performance of naïve bayes in text classification by introducing an extra weight using less number of training examples," in 2016 International Workshop on Computational Intelligence (IWCI) (Dhaka: IEEE), 142–147.
- [18] Ye, S., et al. (2005). Clustering web pages about persons and organizations. Web Intelligence and Agent Systems: An International Journal, vol 3, no.4.
- [19] Li, Y., et al. (2008). A two-stage text mining model for information filtering. Proceedings of the 17th ACM conference on Information and knowledge management, ACM.
- [20] Gao, Y., et al. (2014). Pattern-based topics for document modelling in information filtering. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol.2, no.6.
- [21] Gunjal, H., Patel, P., Thaker, K., Nagrecha, A., Mohammed, S., & Marchawala, A. (2020). Text Summarization and classification of clinical discharge summaries using deep learning.
- [22] Zhou, X., et al. (2017). Coupling topic modelling in opinion mining for social media analysis. Proceedings of the International Conference on Web Intelligence, ACM.
- [23] Zhou, X., et al. (2013). Sentiment analysis on tweets for social events. Proceedings of the 2013 IEEE 17th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), IEEE.
- [24] Tao, X., et al. (2016). Sentiment analysis for depression detection on social networks. International Conference on Advanced Data Mining and Applications, Springer.

Comparison of performance between machine learning and deep learning algorithms in news classification

Abstract: In today's digital age, online data is growing at an exponential rate, creating a vast amount of information that surpasses human processing capabilities. Machine learning and deep learning have become crucial tools for organizing, classifying, and understanding information from online news sources. Both fields are prominent areas of study in machine learning, capable of classifying data based on a variety of algorithms and learning models. In this paper, we focus on comparing the performance of traditional machine learning algorithms and modern deep learning models in the task of news classification. Firstly, we will discuss the significant role of machine learning and deep learning in processing online information, particularly in the context of news classification. Next, we will explore the fundamental characteristics of these two fields. Lastly, our goal is to evaluate and compare their performance in news classification, providing insights into the applicability and advancements of machine learning and deep learning in real-world scenarios across various domains, including news classification.

Keywords: Machine learning, deep learning, news collection, news classification.

Tổng quan về ứng dụng học tăng cường cho xử lý ngôn ngữ tự nhiên Nguyễn Chí Công, Ngô Hữu Phúc

¹Hoc viên KTQS

Tóm tắt

Trong những năm gần đây, một số nhà nghiên cứu đã khám phá việc sử dụng thuật toán học tăng cường (Reinforcement Learning - RL) để cung cấp giải pháp cho các vấn đề ra quyết định nói chung và làm thành phần chính trong giải pháp cho các nhiệm vụ xử lý ngôn ngữ tự nhiên (NLP). Các hệ thống này đã mang lại những đóng góp to lớn trong xử lý ngôn ngữ tự nhiên nói chung và bài toán hội thoại nói riêng. Bài viết này khái quát tính hiện đại của các phương pháp RL về khả năng sử dụng cho các hệ thống hội thoại. Bài báo cung cấp các mô tả chi tiết về các vấn đề cũng như thảo luận về lý do tại sao RL lại phù hợp để giải quyết các vấn đề đó. Bên cạnh đó bài báo trình bày về hướng nghiên cứu đầy hứa hẹn trong NLP có thể được hưởng lợi từ RL.

Keywords: Học tăng cường, Xử lý ngôn ngữ tự nhiên, Hệ thống hội thoại.

1. Giới thiệu

Các thuật toán học máy đã rất thành công trong việc giải quyết các vấn đề trong xử lý ngôn ngữ tự nhiên (NLP) trong nhiều năm, đặc biệt là các phương pháp có giám sát và không giám sát. Tuy nhiên, đối với học tăng cường (RL), mặc dù đạt nhiều thành công trong các lĩnh vực như trong các trò chơi board như AlphaGo Zero [1], RL trong lĩnh vực xử lý ngôn ngữ tự nhiên vẫn còn hạn chế [2]. Vì vậy, mục tiêu chính của bài viết này là đưa ra đánh giá về các ứng dụng của học tăng cường vào NLP nói chung và bài toán hội thoại nói riêng.

2. Học tăng cường

Học tăng cường (RL) là một kỹ thuật học máy để học một chuỗi hành động trong môi trường tương tác bằng cách thử và sai, nhằm tối đa hóa phần thưởng mong đợi. Bản chất của RL là học tập thông qua tương tác. Một tác nhân RL tương tác với môi trường của nó và sau khi quan sát hậu quả của các hành động của nó, có thể học cách thay đổi hành vi của chính nó để đáp lại phần thưởng nhận được. Mô hình học tập thử và sai này có nguồn gốc từ tâm lý học hành vi và là một trong những nền tảng chính của RL.

Trong quá trình thiết lập RL, một tác nhân, được điều khiển bởi thuật toán học máy, sẽ quan sát trạng thái \mathbf{s}_t từ môi trường của nó tại thời gian t. Tác nhân tương tác với môi trường bằng cách thực hiện một hành động \mathbf{a}_t ở trạng thái \mathbf{s}_t . Khi tác nhân thực hiện một hành động, môi trường và tác nhân chuyển sang trạng thái mới \mathbf{s}_{t+1} dựa trên trạng thái hiện tại và hành động đã chọn. Trạng thái là một thống kê đầy đủ về môi trường và do đó bao gồm tất cả thông tin cần thiết để tác nhân thực hiện hành động tốt nhất, có thể bao gồm các bộ phận của tác nhân, chẳng hạn như vị trí của bộ truyền động và cảm biến của nó. Trong tài liệu điều khiển tối ưu, các trạng thái và hành động thường được ký hiệu là \mathbf{x}_t và \mathbf{u}_t tương ứng.

Trình tự hành động tốt nhất được xác định bởi phần thưởng do môi trường mang lại. Mỗi khi môi trường chuyển sang trạng thái mới, nó cũng cung cấp phần thưởng vô hướng r_{t+1} cho tác nhân dưới dạng phản hồi. Mục tiêu của tác nhân là tìm hiểu một chính sách (chiến lược kiểm soát) nhằm tối đa hóa lợi nhuận kỳ vọng (phần thưởng tích lũy, chiết khấu). Với một trạng thái nhất định, một chính sách sẽ trả về một hành động cần thực hiện; một chính sách tối ưu là

bất kỳ chính sách nào nhằm tối đa hóa lợi nhuận kỳ vọng trong môi trường. Về mặt này, RL nhằm mục đích giải quyết vấn đề tương tự như điều khiển tối ưu. Tuy nhiên, thách thức trong RL là tác nhân cần tìm hiểu về hậu quả của các hành động trong môi trường bằng cách thử và sai, vì không giống như trong điều khiển tối ưu, tác nhân không có mô hình động lực chuyển trạng thái. Mọi tương tác với môi trường đều mang lại thông tin mà tác nhân sử dụng để cập nhật kiến thức của mình.

2.1 Quá trình ra quyết định của Markov

Lý thuyết tiêu chuẩn về RL được mô tả bằng Quy trình quyết định Markov (MDP), đây là phần mở rộng của quy trình Markov (còn được gọi là chuỗi Markov). Về mặt toán học, quá trình Markov là một quá trình ngẫu nhiên theo thời gian rời rạc mà sự phân bố xác suất có điều kiện của các trạng thái trong tương lai chỉ phụ thuộc vào trạng thái hiện tại và nó cung cấp một khuôn khổ để mô hình hóa các tình huống ra quyết định. Một MDP thường được mô tả bởi các phần tử như sau:

- S: tập hợp trạng thái hoặc không gian quan sát của một môi trường. s₀ là trạng thái bắt đầu.

- \mathcal{A} : tập hợp các hành động mà tác nhân có thể chọn.

- T: hàm xác suất chuyển tiếp T($s_{t+1} | s_t, a_t$), xác định xác suất môi trường sẽ chuyển sang trạng thái $s_{t+1} \in S$ nếu tác nhân thực hiện hành động $a_t \in \mathcal{A}$ ở trạng thái $s_t \in S$.

- R: hàm phần thưởng trong đó $r_{t+1} = R(s_t, s_{t+1})$ là phần thưởng nhận được khi thực hiện hành động a_t tại trạng thái s_t và chuyển sang trạng thái tiếp theo s_{t+1}.

- γ: hệ số chiết khấu.

Xét MDP(S, A, γ, T, R), tác nhân chọn một hành động a_t theo chính sách $\pi(a_t | s_t)$ tại trạng thái s_t. Đáng chú ý, thuật toán của tác nhân để chọn hành động ở trạng thái hiện tại nhất định s, nói chung có thể được xem dưới dạng phân phối $\pi(a | s)$, được gọi là chính sách (chiến lược). Môi trường nhận được hành động, tạo ra phần thưởng r_{t+1} và chuyển sang trạng thái tiếp theo s_{t+1} theo xác suất chuyển tiếp $T(s_{t+1} | s_t, a_t)$. Quá trình tiếp tục cho đến khi tác nhân đạt đến trạng thái cuối hoặc bước thời gian tối đa. Trong khung RL, bộ dữ liệu ($s_t, a_t, r_{t+1}, s_{t+1}$) được gọi là chuyển đổi. Một số chuyển đổi tuần tự thường được gọi là triển khai. Chuỗi đầy đủ ($s_0, a_0, r_1, s_1, a_1, r_2, ...$) được gọi là quỹ đạo. Về mặt lý thuyết, quỹ đạo dài vô tận, nhưng tính chất từng giai đoạn vẫn đúng trong hầu hết các trường hợp thực tế. Một quỹ đạo có độ dài hữu hạn T được gọi là một tập. Đối với MDP và chính sách π cho trước, xác suất quan sát được ($s_0, a_0, r_1, s_1, a_1, r_2, ...$) được gọi là phân bố quỹ đạo và được ký hiệu là:

$$\mathcal{T}_{\pi} = \prod_{t} \pi(a_t \mid s_t) T(s_{t+1} \mid s_t, a_t)$$

Mục tiêu của RL là tìm ra chính sách tối ưu π^* cho tác nhân nhằm tối đa hóa phần thưởng tích lũy, được gọi là lợi nhuận. Đối với mỗi tập, tiền lãi được xác định là tổng trọng số của phần thưởng ngay lập tức:

$$\mathcal{R} = \sum_{t=0}^{\tau-1} \gamma^t r_{t+1}$$

Vì chính sách tạo ra sự phân bổ quỹ đạo nên mức tối đa hóa phần thưởng kỳ vọng có thể được

viết là:

$$\mathbb{E}_{\mathcal{T}_{\pi}} \sum_{t=0}^{\tau-1} r_{t+1} \to \max_{\pi}$$

Do đó, với MDP và chính sách n, phần thưởng kỳ vọng đã chiết khấu được xác định:

$$\mathcal{G}(\pi) = \mathbb{E}_{\mathcal{T}_{\pi}} \sum_{t=0}^{\tau-1} \gamma^{t} r_{t+1}$$

Mục tiêu của RL là tìm ra chính sách tối ưu π^* , giúp tối đa hóa phần thưởng dự kiến được chiết khấu, tức là $\mathcal{G}(\pi) \rightarrow \max_{\pi}$.

2.2 Hàm Q-Value

Hàm giá trị được áp dụng để đánh giá mức độ hiệu quả của một tác nhân khi sử dụng chính sách π để truy cập trạng thái *S*. Khái niệm "tốt" được định nghĩa dưới dạng lợi nhuận kỳ vọng, tức là những phần thưởng trong tương lai có thể được mong đợi nhận được trong tương lai và nó phụ thuộc vào những hành động sẽ thực hiện. Về mặt toán học, giá trị là kỳ vọng lợi nhuận và giá trị gần đúng thu được bằng phương trình kỳ vọng Bellman như sau:

$$V^{\pi}(s_t) = \mathbb{E}[r_{t+1} + \gamma V^{\pi}(s_{t+1})]$$

 $V^{\pi}(s_t)$ còn được gọi là hàm giá trị trạng thái và thuật ngữ kỳ vọng có thể được mở rộng dưới dạng sản phẩm của chính sách, xác suất chuyển đổi và trả về như sau:

$$V^{\pi}(s_t) = \sum_{a_t \in \mathcal{A}} \pi(a_t \mid s_t) \sum_{s_{t+1} \in S} T(s_{t+1} \mid s_t, a_t) [R(s_t, s_{t+1}) + \gamma V^{\pi}(s_{t+1})]$$

Phương trình này được gọi là phương trình Bellman. Khi tác nhân luôn lựa chọn hành động theo chính sách tối ưu π^* tối đa hóa giá trị, phương trình Bellman có thể được biểu thị như sau:

$$V^{*}(s_{t}) = \max_{a_{t}} \sum_{s_{t+1} \in S} T(s_{t+1} | s_{t}, a_{t}) [R(s_{t}, s_{t+1}) + \gamma V^{*}(s_{t+1})]$$

$$\triangleq \max_{a_{t}} Q^{*}(s_{t}, a_{t})$$

Tuy nhiên, việc thu được hàm giá trị tối ưu V^* không cung cấp đủ thông tin để ¬xây dựng lại một số chính sách tối ưu π^* vì môi trường thế giới thực rất phức tạp. Do đó, hàm chất lượng (hàm Q) còn được gọi là hàm giá trị hành động theo chính sách π . Hàm Q được sử dụng để ước tính mức độ tốt của một tác nhân khi thực hiện một hành động cụ thể (a_t) ở trạng thái (s_t) với chính sách π và nó được giới thiệu là:

$$Q^{\pi}(s_t, a_t) = \sum_{s_{t+1}} T(s_{t+1} \mid s_t, a_t) [R(s_t, s_{t+1}) + \gamma V^{\pi}(s_{t+1})]$$

Không giống như hàm giá trị chỉ định mức độ tốt của một trạng thái, hàm Q chỉ định mức độ tốt của hành động trong trạng thái.

3. Xử lý ngôn ngữ tự nhiên và RL

Trong NLP, một trong những mục tiêu chính là phát triển các chương trình máy tính có khả năng giao tiếp với con người thông qua việc sử dụng ngôn ngữ tự nhiên. Qua nhiều năm, nghiên cứu NLP đã không bị ảnh hưởng nặng nề bởi các lý thuyết ngôn ngữ học, chẳng hạn như những lý thuyết do Chomsky đề xuất [3], theo cách tiếp cận ngôn ngữ học của các thuật toán học máy và gần đây hơn là việc sử dụng mạng lưới thần kinh sâu hoạt động như các mô hình ngôn ngữ thần kinh như BERT [4] và GPT-3 [5].

Theo Russell và Norvig [6], trái ngược với các ngôn ngữ hình thức, sẽ hiệu quả hơn khi định nghĩa các mô hình ngôn ngữ tự nhiên dưới dạng phân bố xác suất trên các câu thay vì sử dụng các tập hợp dứt khoát được quy định bởi ngữ pháp. Những thách thức chính khi xử lý các ngôn ngữ tự nhiên là chúng mơ hồ, lớn và liên tục thay đổi. Đó là lý do tại sao các phương pháp tiếp cận ban đầu để mô hình hóa ngôn ngữ tự nhiên bằng ngữ pháp không thành công như các phương pháp học máy hiện đại. Trong các cách tiếp cận trước đây, ngữ pháp cần phải được điều chỉnh và tăng kích thước của chúng để đáp ứng nhu cầu về hiệu suất tốt hơn.

Một số vấn đề trong NLP có thể được định nghĩa là MDP và do đó chúng có thể được giải quyết bằng thuật toán RL. Trong [7], tác giả cung cấp một ví dụ sơ đồ về cách tác nhân RL sẽ được thiết kế để giải quyết nhiệm vụ xử lý ngôn ngữ trong đó các trạng thái, hành động và phần thưởng hoạt động chủ yếu qua chuỗi. Một tập hợp các thao tác cơ bản có thể bao gồm thêm, thay thế và xóa các từ.





Trong [7], tác giả xem xét năm loại chính của các vấn đề như vậy, đó là phân tích cú pháp, hiểu ngôn ngữ, hệ thống tạo văn bản, dịch máy và hệ thống đối thoại. Trong số này, hệ thống đối thoại là hệ thống được nghiên cứu nhiều nhất, liên quan đến việc tìm kiếm chính sách đối thoại tối ưu mà hệ thống tự động phải tuân theo trong cuộc trò chuyện với người dùng. Trong một số trường hợp, việc xác định các yếu tố của một MDP được xác định rõ ràng thậm chí còn không dễ dàng. Điều này có thể giải thích tại sao họ vẫn chưa nhận được nhiều sự quan

tâm hơn. Việc xác định các vấn đề NLP khác nhau này là điều quan trọng để khám phá các hướng nghiên cứu mới ở điểm giao thoa giữa NLP và RL.

Hệ thống đối thoại được thiết kế để tương tác với nhiều người dùng khác nhau bằng ngôn ngữ tự nhiên, phổ biến nhất là ở dạng nói hoặc viết. Chúng được cấu trúc và thiết kế tốt để phục vụ như hỗ trợ web tự động hoặc tương tác tự nhiên giữa con người và robot. Kiến trúc và chức năng của các hệ thống như vậy phụ thuộc rất nhiều vào ứng dụng.

Có hai loại hệ thống đối thoại. Đầu tiên, hệ thống miền mở, thường được gọi là chatbot. Chúng được xây dựng theo kiểu thử nghiệm Turing. Nghĩa là, về cơ bản, họ có thể tổ chức một cuộc trò chuyện về bất kỳ chủ đề nào hoặc ít nhất họ được đào tạo về mục tiêu đó. Thứ hai, các hệ thống miền đóng được phát triển nhiều hơn dưới dạng hệ thống chuyên gia, theo nghĩa là chúng phải phục vụ mục đích đối thoại được xác định và giới hạn rất rõ ràng. Họ sẽ có thể cung cấp thông tin hoặc hỗ trợ về một chủ đề cụ thể. Trong bài viết này, chúng tôi quan tâm nhiều hơn đến hệ thống sau này, vì việc phục vụ một nhiệm vụ được xác định rõ ràng nên có thể dễ dàng hưởng lợi hơn từ việc học tăng cường do không gian trạng thái và hành động giảm.

Trong phần này, chúng ta sẽ thấy rằng thuật toán RL có thể được sử dụng để tạo ra phản hồi phù hợp trong cuộc trò chuyện với người dùng. Nếu hệ thống có thể được lập trình để dự đoán chính xác cách thức một cuộc trò chuyện có thể diễn ra thì nó có thể tối ưu hóa toàn bộ quá trình theo cách mà hệ thống có thể cung cấp nhiều thông tin hơn với ít tương tác hơn nếu chúng ta đang nói về một hệ thống được thiết kế để thông báo cho con người. Có một số yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả của hệ thống đối thoại, bao gồm nhận dạng ngữ cảnh, thích ứng văn bản linh hoạt, ý định của người dùng và kiến thức về lĩnh vực [8].



Hình 2. Luồng thông tin của hệ thống đối thoại

Hệ thống đối thoại bao gồm ba thành phần cơ bản mà độ phức tạp của chúng sẽ khác nhau tùy theo hệ thống. Các thành phần này là:

- Xử lý tin nhắn đầu vào (nhận thức);
- Biểu diễn trạng thái bên trong (bộ giải mã ngữ nghĩa) \;
- Các hành động (trình quản lý hội thoại).

Đầu vào là một tin nhắn từ người dùng, chẳng hạn như lời nói, cử chỉ, văn bản, v.v. Thông báo đầu vào của người dùng được bộ mã hóa ngữ nghĩa chuyển đổi thành biểu diễn ngữ nghĩa của nó. Việc biểu diễn ngữ nghĩa của thông báo được xử lý thêm để xác định trạng thái bên trong của hệ thống mà từ đó người quản lý hội thoại xác định hành động tiếp theo. Cuối cùng, các hành động có thể bao gồm việc tạo ra lời nói tự nhiên, văn bản hoặc các hành động hệ thống khác.

Các hệ thống đối thoại thường được điều khiển theo phương pháp phỏng đoán và do đó

luồng hội thoại cũng như các khả năng được thiết kế riêng cho một ứng dụng duy nhất. Các hệ thống dựa trên quy tắc dành riêng cho ứng dụng có thể đạt được hiệu suất khá tốt nhờ sự kết hợp của kiến thức chuyên môn. Tuy nhiên, điều này thường đòi hỏi một số lượng lớn các quy tắc và nhanh chóng trở nên khó hiểu [9].

Do những hạn chế của hệ thống dựa trên quy tắc nên đã có những nỗ lực liên tục để sử dụng hệ thống đối thoại dựa trên dữ liệu hoặc thống kê dựa trên RL kể từ đầu những năm 2000 [10]. Về cơ bản, các hệ thống đối thoại dựa trên dữ liệu này có khả năng thích ứng dựa trên sự tương tác với người dùng thực. Ngoài ra, chúng đòi hỏi ít nỗ lực phát triển hơn nhưng lại tốn thời gian học tập đáng kể. Mặc dù rất hứa hẹn nhưng chúng vẫn cần khắc phục một số hạn chế trước khi được áp dụng cho các ứng dụng trong thế giới thực. Những hạn chế này xuất phát từ cả bản thân vấn đề và thuật toán RL.

RL có khả năng có thể được áp dụng cho cả ba thành phần của hệ thống đối thoại được đề cập ở trên, bắt đầu bằng nhận thức về thông báo đầu vào, các biểu diễn hệ thống nội bộ cũng như quyết định về đầu ra của hệ thống. Tuy nhiên, chúng tôi lập luận rằng RL sẵn có hơn để cải thiện trình quản lý hội thoại liên quan trực tiếp đến sự tương tác của người dùng . Khó khăn hơn nhưng cũng có thể xảy ra khi sử dụng DRL là việc học các cách trình bày nội bộ phù hợp dựa trên sự thành công của các tương tác.

Trong một cuộc khảo sát gần đây về các phương pháp tiếp cận thần kinh đối với AI đối thoại [11], các nhà nghiên cứu ghi nhận rằng trong vài năm qua, RL cùng với các mô hình học sâu đã giúp cải thiện đáng kể chất lượng của tác nhân đối thoại trong nhiều nhiệm vụ và lĩnh vực. Các khía cạnh chính của sự kết hợp các mô hình học tập này là các hệ thống đối thoại được phép thích ứng với các môi trường, nhiệm vụ, lĩnh vực khác nhau và thậm chí cả hành vi của người dùng.

Lemon [12] đã chỉ ra rằng các vấn đề về tạo ngôn ngữ tự nhiên có thể được giải quyết bằng cách sử dụng RL bằng cách tối ưu hóa việc tạo ngôn ngữ tự nhiên và quản lý hội thoại. Một cách tiếp cận khác dựa trên RL để cải thiện tính mạch lạc lâu dài và tính nhất quán của cuộc trò chuyện được đề xuất trong Yu et al. [13]. Với cách tiếp cận này, có thể đạt được sự chuyển tiếp suôn sẻ giữa các tương tác nhiệm vụ và không nhiệm vụ. Papaioannou và Lemon [14] trình bày một hệ thống chatbot dành cho các ứng dụng có nhiệm vụ cụ thể. Hệ thống tương tác đa phương thức giữa người và robot này có thể tạo ra các cuộc hội thoại dài hơn thuật toán dựa trên quy tắc. Điều này ngụ ý rằng chính sách đã học rất thành công trong việc tạo ra trải nghiệm hấp dẫn cho các tương tác trò chuyện và nhiệm vụ. Tác nhân đối thoại có thể được đào tạo hiệu quả bằng cách sử dụng trình mô phỏng. Sau quá trình đào tạo sơ bộ, tác nhân sẽ được triển khai trong kịch bản thực tế để tạo ra sự tương tác với con người. Trong những tương tác này với thế giới thực, tác nhân tiếp tục học hỏi.

Chen và cộng sự [15] đã đề xuất một mô hình tác nhân-phê bình có cấu trúc để triển khai DRL có cấu trúc. Nó có thể học song song từ dữ liệu lấy từ các nhiệm vụ đối thoại khác nhau, đạt được việc học tập ổn định và hiệu quả theo mẫu. Phương pháp được thử nghiệm trên 18 tác vụ của PyDial [16]. Papangelis và cộng sự [17] đã trình bày một nỗ lực hoàn chỉnh trong việc đào tạo các tác nhân đối thoại hiện tại. Các tác nhân như vậy chỉ giao tiếp thông qua ngôn ngữ tự tạo, vượt trội so với các đường cơ sở được giám sát và học sâu. Mỗi tác nhân có một vai trò và một tập hợp các mục tiêu và chúng chỉ tương tác bằng ngôn ngữ mà chúng đã tạo ra.

Nói chung, hệ thống đối thoại có thể được phân thành hai loại khác nhau: (1) hệ thống hướng đến nhiệm vụ và (2) hệ thống không hướng đến nhiệm vụ. Cả hai loại hệ thống đều có thể được định nghĩa là một bài toán tối ưu tổng quát có thể được giải bằng thuật toán RL. Một MDP (S, A, T, R) với các thành phần chính cần thiết để giải quyết vấn đề tối ưu hóa như sau:

- Tập hợp các trạng thái *S* được định nghĩa là lịch sử của tất cả các phát ngôn, chẳng hạn như nhận xét, câu hỏi và câu trả lời xảy ra trong cuộc đối thoại.
- Tập hợp hành động *A* bao gồm tất cả các câu có thể có mà hệ thống có thể trả lời cho người dùng ở bước thời gian tiếp theo.
- Hàm chuyển tiếp T. Trạng thái tiếp theo là lịch sử cập nhật của các phát ngôn sau khi thêm câu cuối cùng do hệ thống hoặc người dùng tạo ra. Hàm chuyển đổi không mang tính quyết định trong trường hợp phản hồi của người dùng không thể đoán trước được.
- Cuối cùng, hàm khen thưởng R có thể được định nghĩa là hàm đo lường hiệu suất của hệ thống hoặc mức độ tương tự của đoạn hội thoại được tạo ra đối với đoạn hội thoại tham chiếu từ kho văn bản hiện có.

Việc đào tạo các hệ thống đối thoại cũng có thể được thực hiện bằng cách sử dụng người dùng hoặc sử dụng mô hình học được từ nội dung của cuộc đối thoại giữa người và máy tính. Tuy nhiên, số lượng lớn các trạng thái và chiến lược đối thoại khả thi khiến việc khám phá nó trở nên khó khăn nếu không sử dụng trình mô phỏng. Do đó, việc phát triển các trình mô phỏng người dùng đáng tin cậy là bắt buộc để xây dựng các hệ thống đối thoại và điều này đi kèm với những thách thức riêng.

Trình mô phỏng đặc biệt hữu ích để nhân được phản hồi hiệu quả từ môi trường trong quá trình học tập. Ví du, Schatzmann và Young [18] đã triển khai trình mô phỏng người dùng bằng cách sử dung cấu trúc ngăn xếp để biểu diễn các trạng thái. Lịch sử hội thoại trong cách tiếp cân này bao gồm các chuỗi thao tác đẩy và bật. Các thử nghiêm cho thấy tính hiệu quả của phương pháp này trong việc tối ưu hóa chính sách và nó cho thấy nó hoat đông tốt hơn chiến lược cơ bản thủ công trong hệ thống đối thoại trong thế giới thực. Tuy nhiên, việc sử dụng trình mô phỏng luôn có những han chế nghiêm trong, cho dù nó được mã hóa thủ công, học từ dữ liệu có sẵn hay kết hợp các phương pháp này. Theo định nghĩa, trình mô phỏng không phải là môi trường thực và do đó, chính sách RL được đào tao về nó sẽ cần một số hoặc nhiều điều chỉnh để làm cho nó hoạt động chính xác trong môi trường thực. Nhìn chung, việc phát triển các mô phỏng thực tế cho RL và các phương pháp liên quan để tinh chỉnh các chính sách sau đó nhằm làm cho chúng có thể khái quát hóa tốt trong thế giới thực vẫn là một câu hỏi mở. Hơn nữa, chức năng khen thưởng là chìa khóa để cung cấp phản hồi hiệu quả. Ai cũng biết rằng việc thiết kế các hàm khen thưởng là một nhiệm vụ đầy thách thức đòi hỏi kiến thức chuyên môn về nhiêm vu cần học và về thuật toán cụ thể đang được sử dụng. Rất thường xuyên, chỉ sau nhiều lần lặp lại trong quá trình thiết kế và một lượng thử nghiêm đáng kể thì các chức nặng khen thưởng mới được cấu hình tối ưu. Su và công sự [19] nghiên cứu ước tính phần thưởng. Cách tiếp cận này một mặt dựa trên việc sử dụng RNN ngoại tuyến được đào tạo trước để đóng vai trò là người dự đoán thành công, mặt khác, chính sách đối thoại và chức năng khen thưởng được đào tạo cùng nhau. Hàm phần thưởng được mô hình hóa bằng quy trình Gaussian sử dụng phương pháp học tập tích cực.

4. Kết luận và hướng nghiên cứu

Bài báo đã cung cấp bản đánh giá chung về vấn đề NLP nói chung và bài toán đối thoại nói riêng được tiếp cận bằng các phương pháp học tăng cường. Một số vấn đề coi học tăng cường là thuật toán chính, chẳng hạn như hệ thống quản lý đối thoại. Ở những nơi khác, RL được sử dụng không đáng kể, chỉ giúp một phần trong việc giải quyết vấn đề trọng tâm. Trong cả hai trường hợp, thuật toán RL đóng vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa các chính sách kiểm soát thông qua việc tự khám phá các trạng thái và hành động. Với những tiến bộ hiện nay trong thuật toán RL, đặc biệt là với những thuật toán trong đó hàm giá trị và hàm chính sách được thay thế bằng mạng nơ-ron sâu, không thể không cho rằng RL sẽ đóng vai trò chính trong việc giải quyết một số vấn đề NLP quan trọng nhất. Nhiều vấn đề đang được giải quyết với mức độ thành công ngày càng tăng khi sử dụng các mô hình mạng thần kinh chuyển đổi trước đây như BERT và GPT. Tuy nhiên, RL có thể được áp dụng chung với các mô hình thần kinh sâu. RL có thể mang lại lợi ích nhờ khả năng khám phá vốn có của nó. Nghĩa là, học tăng cường có thể giúp tìm ra các hành động và trạng thái tốt hơn nhờ cách tiếp cận phân công tín chỉ của nó.

References

1. Silver, D., et al., *Mastering the game of go without human knowledge*. nature, 2017. **550**(7676): p. 354-359.

- 2. LeCun, Y., Y. Bengio, and G. Hinton, *Deep learning*. nature, 2015. **521**(7553): p. 436-444.
- 3. Chomsky, N., *On certain formal properties of grammars*. Information and control, 1959. **2**(2): p. 137-167.
- 4. Devlin, J., et al., *Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding.* arXiv preprint arXiv:1810.04805, 2018.
- 5. Brown, T., et al., *Language models are few-shot learners*. Advances in neural information processing systems, 2020. **33**: p. 1877-1901.
- 6. Russell, S.J. and P. Norvig, *Artificial intelligence a modern approach*. 2010: London.
- 7. Uc-Cetina, V., et al., *Survey on reinforcement learning for language processing*. Artificial Intelligence Review, 2023. **56**(2): p. 1543-1575.
- 8. Crook, P.A., et al., *Real user evaluation of a POMDP spoken dialogue system using automatic belief compression*. Computer Speech & Language, 2014. **28**(4): p. 873-887.
- 9. Higashinaka, R., et al. Fatal or not? Finding errors that lead to dialogue breakdowns in chat-oriented dialogue systems. in Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. 2015.
- 10. Levin, E., R. Pieraccini, and W. Eckert, *A stochastic model of human-machine interaction for learning dialog strategies*. IEEE Transactions on speech and audio processing, 2000. **8**(1): p. 11-23.
- 11. Gao, J., M. Galley, and L. Li. Neural approaches to conversational AI. in The 41st international ACM SIGIR conference on research & development in information retrieval. 2018.

- 12. Lemon, O., Learning what to say and how to say it: Joint optimisation of spoken dialogue management and natural language generation. Computer Speech & Language, 2011. **25**(2): p. 210-221.
- 13. Yu, Z., A.W. Black, and A.I. Rudnicky, *Learning conversational systems that interleave task and non-task content.* arXiv preprint arXiv:1703.00099, 2017.
- 14. Papaioannou, I. and O. Lemon. Combining chat and task-based multimodal dialogue for more engaging HRI: A scalable method using reinforcement learning. in Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. 2017.
- Chen, Z., et al., *Distributed structured actor-critic reinforcement learning for universal dialogue management*. IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 2020. 28: p. 2400-2411.
- 16. Ultes, S., et al. Pydial: A multi-domain statistical dialogue system toolkit. in Proceedings of ACL 2017, System Demonstrations. 2017.
- 17. Papangelis, A., et al., *Plato dialogue system: A flexible conversational ai research platform.* arXiv preprint arXiv:2001.06463, 2020.
- 18. Schatzmann, J. and S. Young, *The hidden agenda user simulation model*. IEEE transactions on audio, speech, and language processing, 2009. **17**(4): p. 733-747.
- 19. Su, P.-H., M. Gašić, and S. Young, *Reward estimation for dialogue policy optimisation*. Computer Speech & Language, 2018. **51**: p. 24-43.

Survey on reinforcement learning for natural language processing Abstract

In recent years, a number of researchers have explored the use of Reinforcement Learning (RL) algorithms to provide solutions to general decision-making problems and as key components in solutions. for natural language processing (NLP) tasks. These systems have brought great contributions to natural language processing in general and conversation problems in particular. This article outlines the state of the art of RL methods in terms of usability for conversational systems. The article provides detailed descriptions of the problems as well as a discussion of why RL is suitable for solving those problems. Besides, the article presents promising research directions in NLP that can take advantage of RL.

Keywords: Reinforcement learning, Natural language processing, Conversation system

Nghiên cứu động lực quay vòng xe chiến đấu bộ binh hiện đại BMP-3 Bùi Văn Bang^{1*}, Lê Trung Dũng¹, Cù Xuân Phong¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Bài báo này tập trung nghiên cứu động lực học quay vòng xe chiến đấu bộ binh BMP-3. Đây là xe xích quân sự sử dụng hệ thống truyền lực thủy cơ hỗn hợp hai dòng công suất. Trong đó, dòng công suất chính từ động cơ qua bộ biến mô men thủy lực đến hộp số hành tinh, dòng công suất phụ được truyền từ động cơ qua bộ truyền thủy tĩnh (bơm và mô tơ thủy lực) đến bánh răng mặt trời của dãy hành tinh tổng hợp. Từ kết quả khảo sát, tác giả đã tiến hành xây dựng đặc tính kéo quay vòng và đánh giá chất lượng hệ thống truyền lực của xe BMP-3. Mục tiêu chính của nghiên cứu là chỉ ra những ưu điểm vượt trội của hệ thống truyền lực thủy cơ này làm cơ sở để phục vụ cho khai thác, cải tiến HTTL xe BMP-3 sau này.

Từ khóa: BMP-3; hệ thống truyền lực thủy cơ; hộp số hành tinh; bộ truyền thủy tĩnh; động lực học.

1. Đặt vấn đề

Xe chiến đấu BMP-3 chính thức được biên chế vào quân đội Liên Xô từ năm 1987, hiện nay đang phục vụ tích cực trong quân đội rất nhiều nước trên thế giới trong đó có Nga, Ukraine, Hàn Quốc, Indonesia, UAE...Xe chiến đấu bộ binh BMP-3 có hỏa lực vô cùng mạnh mẽ. Vũ khí chính là một pháo nòng xoắn 2A70 cỡ nòng 100mm có thể bắn tên lửa chống tăng 9M117 Bastion qua nòng, một pháo tự động 2A72 cỡ nòng 30mm đồng trục pháo chính, cùng một súng máy đồng trục PKT 7.62mm chuyên chống bộ binh. Xe có trọng lượng khá nhẹ 18.7 tấn, trong khi được trang bị một động cơ UTD-29 mạnh mẽ với công suất 500 mã lực cho phép xe chạy tối đa hơn 70km/h trong địa hình bằng phẳng trên cạn, có khả năng bơi nước đạt tốc độ 10km/h nhờ cơ cấu bơi bằng bơm phụt... được trình bày cụ thể trong tài liệu [3].



Hình 1. Hình ảnh xe chiến đấu bộ binh BMP-3

^{*} Email: vinhbang.mta@gmail.com

Về bản chất trên xe chiến đấu bộ binh BMP-3 sử dụng hệ thống truyền lực thủy cơ hỗn hợp hai dòng công suất. Đây là hệ thống truyền lực thủy cơ có thêm bộ truyền thủy tĩnh (gồm bơm và mô tơ thủy lực kiểu hướng trục) trên mạch dẫn động phụ, khác với hệ thống truyền lực thủy cơ (thủy động) của các xe xích quân sự đã nghiên cứu trước đây như M113, M48, M60... Bộ truyền thuỷ lực thể tích - thủy tĩnh (BTT) này bằng cách thay đổi công suất của bơm đảm bảo cho tất cả các bán kính quay vòng của xe là vô cấp do thay đổi được liên tục vận tốc góc của bánh răng hành tinh trong dãy hành tinh tổng hợp công suất (HTTHCS) và do vậy thay đổi vận tốc ở các dải xích, đây cũng là vấn đề chính mà bài báo tập trung nghiên cứu.

Do BMP-3 là dòng xe chiến đấu bộ binh hiện đại có những tính năng kỹ chiến thuật ưu thế vượt trội và với mục tiêu xây dựng Quân đội tiến thẳng lên hiện đại trong thời gian tới Quân đội ta sẽ đưa dòng xe này vào trang bị cho các đơn vị Tăng thiết giáp, mặt khác ở Việt Nam, hiện nay chưa có các đề tài khoa học nghiên cứu đầy đủ động lực học chuyển động của xe. Vì vậy việc nghiên cứu động lực học quay vòng của xe BMP-3 là cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao phù hợp với xu thế phát triển chung. Từ kết quả nghiên cứu, có thể làm cơ sở để đánh giá khả năng kéo, khả năng cơ động của xe trong điều kiện tác chiến của địa hình Việt Nam.

2. Hệ thống truyền lực thủy cơ hỗn hợp trên xe BMP-3

Về kết cấu hệ thống truyền lực (HTTL) xe chiến đấu bộ binh (CĐBB) BMP-3 là HTTL thủy cơ 2 dòng công suất (*Hình 2*). Dòng công suất chính được truyền từ động cơ (ĐC) qua bộ biến momen (BBMM) thủy lực đến hộp số hành tinh (HSHT) 3 dãy đơn giản kiểu ngoại luân 4 cấp và đến bánh răng ngoại luân của dãy hành tinh tổng hợp công suất (HTTHCS). Dòng công suất phụ được truyền từ động cơ qua bộ truyền thủy tĩnh (BTT) đến bánh răng mặt trời của dãy HTTHCS kết hợp với dòng công suất chính từ hộp số truyền đến truyền động cạnh rồi đến hai dải xích của xe. Vận tốc bánh răng hành tinh của hai dãy HTTHCS thay đổi liên tục vô cấp khi người lái điều chỉnh quay vòng xe bằng phần tử điều khiển ở BTT do đó không phụ thuộc vào vận tốc góc bánh răng ngoại luân trong dãy HTTHCS, giá hành tinh cũng sẽ thay đổi vận tốc góc liên tục vô cấp.

Khi xe chuyển động thẳng, công suất bơm của BTT bằng 0 và bánh răng mặt trời của các dãy hành tinh tổng hợp đứng yên, phần tử điều khiển ở vị trí trung gian. Toàn bộ công suất từ động cơ được truyền qua hộp số đến các bánh ngoại luân của các dãy HTTHCS, tức là khi chuyển động thẳng, CCTLQV làm việc như một cơ cấu một dòng công suất, do vậy khoảng động học của CCTLQV bằng khoảng động học của hộp số. Đồng thời đảm bảo chuyển động thẳng ổn định khi lực cản chuyển động ở các dải xích khác nhau.

Để quay vòng xe người lái tác động vào phần tử điều khiển thay đổi công suất của bơm bộ BTT và mô tơ thủy lực M bắt đầu quay thông qua dẫn động phụ các bánh răng mặt trời dãy HTTHCS cũng quay theo. Vì số cực ăn khớp từ mô tơ thủy lực đến bánh răng mặt trời ở hai dãy HTTHCS chênh nhau một đơn vị nên các bánh răng này quay cùng vận tốc nhưng ngược chiều nhau ($\omega 2 = -\omega 1$).





Hình 2. Sơ đồ hệ thống truyền lực xe BMP-3

B - Born, *M* - Mô tơ thủy lực, P_R - Phanh đi lùi, L_T - Ly hợp đi tiến, P_1 - Phanh số 1, P_2 -Phanh số 2, L_3 - ly hợp số 3, L_4 - ly hợp số 4, *T*- phanh dừng xe, D1- Dãy hành tinh đảo chiều (tiến-lùi), D2 và D3- Dãy hành tinh của HSHT (2 bậc tự do 4 cấp)

Ở dãy HTTHCS một bên thành xe, bánh răng mặt trời và bánh răng ngoại luân quay cùng chiều nên vận tốc giá hành tinh bên này tăng lên, dải xích bên này gọi là dải xích chạy. Ngược lại ở dãy HTTHCS bên kia, bánh răng mặt trời và bánh răng ngoại luân quay ngược chiều nhau nên vận tốc giá hành tinh giảm, dải xích này gọi là dải xích dừng. Số gia thay đổi vận tốc của giá hành tinh và do đó của dải xích là như nhau $\Delta V2 = \Delta V1$. Từ mô tả nguyên lý làm việc của HTTL xe CĐBB BMP-3 trên, HTTL này thuộc CCTLQV loại 1 nhóm I [2].

3. Động lực học quay vòng của xe BMP-3

3.1 Xây dựng mô hình khảo sát quay vòng xe xích quân sự

Để đảm bảo quay vòng xe xích với bán kính cho trước, cần có những lực kéo trên các dải xích và các vận tốc cuốn xích nhất định. Các chức năng đó trên xe xích quân sự do những cơ cấu đặc biệt gọi là cơ cấu quay vòng (CCQV) đảm nhiệm. Lực cản lớn của xe xích khi quay vòng ảnh hưởng đáng kể đến vận tốc trung bình của nó, vì vậy điều đặc biệt quan trọng là đạt được tính năng quay vòng tốt của xe xích quân sự nhờ kết cấu CCQV hoàn thiện hơn và kỹ năng lái xe tốt. Trong lý thuyết quay vòng xe xích quân sự, người ta nghiên cứu động học và các lực cản ngoài đối với sự quay vòng của xe trong những điều kiện chuyển động đa dạng và tính chất của các kiểu cơ cấu quay vòng khác nhau phụ thuộc vào bán kính quay vòng cho phép:

- Đánh giá được chất lượng động lực học quay vòng của các xe xích hiện có.

- Xác định những yếu lĩnh hợp lý khi lái các XXQS với các cơ cấu quay vòng khác nhau và trong những điều kiện chuyển động khác nhau.

- Chọn đúng các tham số của cơ cấu quay vòng và bộ dẫn tiến xích đảm bảo được chất lượng động lực học quay vòng cao cho các xe xích quân sự thiết kế.

Nhìn chung quay vòng XXQS được chia ra làm 3 giai đoạn (Hình 3):

- Giai đoạn thứ nhất: khi xe bắt đầu vào cua. Ở giai đoạn này xuất hiện gia tốc góc và bán kính quay vòng của xe giảm, tức là gia tốc góc $\varphi > 0$ và quỹ đạo cong của xe tăng lên d φ /ds > 0.

- Giai đoạn thứ hai: giai đoạn quay vòng ổn định, vận tốc góc và bán kính quay vòng đều không đổi. Đặc điểm quay vòng ở giai đoạn này là gia tốc góc bằng không và bán kính quay vòng không đổi d ϕ /ds = const.

- Giai đoạn thứ ba: xe ra khỏi cua. Giai đoạn này đặc trưng bởi bán kính quay vòng tăng lên và vận tốc góc giảm, tức là xuất hiện gia tốc góc âm < 0 và giảm quỹ đạo cong của xe d ϕ /ds < 0.



Hình 3. Sơ đồ quỹ đạo quay vòng xe xích quân sự

Trong điều kiện chuyển động thực tế của XXQS cao tốc thường không phải lúc nào cũng xuất hiện cả 3 giai đoạn này. Khi XXQS quay vòng với tốc độ cao trên đoạn đường ngắn thì không có giai đoạn quay vòng ổn định và lúc này chỉ còn hai giai đoạn là xe vào và ra cua mà thôi. Nói một cách khác quay vòng XXQS có thể là ổn định và không ổn định. Quay vòng không ổn định gọi là quá trình quá độ tuân thủ theo các quy luật chuyển động cong của XXQS.

Tuy nhiên để bài toán không quá phức tạp, khi tính toán, đánh giá động lực học quay vòng XXQS và lựa chọn các thông số cho CCQV về sau ta chỉ xem xét quay vòng XXQS ổn định với các giả thiết được trình bày cụ thể trong tài liệu [2].

3.2 Các thông số tính toán động lực học quay vòng của xe BMP-3

Đặc tính kéo chuyển động quay vòng của BMP-3 với HTTL thủy cơ được tiến hành theo các bước sau: Xây dựng đặc tính ngoài và đặc tính quy dẫn của động cơ; Xây dựng đặc tính không thứ nguyên của BMT; Xây dựng đặc tính phối hợp làm việc giữa động cơ và BMT. Xây dựng đặc tính đầu ra bộ biến momen; xây dựng đặc tính kéo chuyển động thẳng và xây dựng đặc tính kéo quay vòng. Trên cơ sở đặc tính phối hợp làm việc giữa động cơ, BMT với BTT tiến hành tính toán kéo và xây dựng đặc tính kéo quay vòng của xe. Các thông số đầu vào để xây dựng chương trình khảo sát động lực học chuyển động quay vòng xe BMP-3 được thể hiện trong Bảng 1 và Bảng 2.

Tay số	Phần tử đóng	Phần tử mở	Tỉ số truyền
Số 0		Tất cả	
Số 1	L _T ; P1	Còn lại	3,310
Số 2	L _T ; P2	Còn lại	1.934
Số 3	L _T ; L3	Còn lại	1.132
Số 4	L _T ; L4	Còn lại	0.662
Số lùi	P _R , P1	Còn lại	3,89
50 101	P _R , P2	Còn lại	2,27

Bảng 1. Trạng thái làm việc của các phần tử ma sát điều khiển ở các tay số (thủy cơ)

Bảng 2. Các thông số xe BMP-3

TT	Các thông số kỹ thuật của xe	Ký hiệu	Giá trị
1	Trọng lượng chiến đấu (N)	G	187000
2	Công suất cực đại của động cơ (kW)	N _{emax}	368
3	Momen xoắn cực đại của động cơ (N.m)	M _{emax}	1461
4	Số vòng quay động cơ ở chế độ $N_{emax}\left(v/ph\right)$	n _N	2600
5	Số vòng quay động cơ ở chế độ M _{emax} (v/ph)	n _M	1600
6	Số vòng quay lớn nhất của động cơ (v/ph)	n _{max}	2880
7	Số vòng quay ổn định nhỏ nhất (v/ph)	n _{min}	800
	Tỷ số truyền của dãy hành tinh đảo chiều:		
8	- Truyền thẳng		1
	- Đảo chiều		1.174
9	Tỷ số truyền dãy hành tinh tổng hợp công suất (khi khóa BRMT)	i _{htth}	1,435
10	Tỷ số truyền của truyền động cạnh	ic	5,45
11	Hiệu suất của dãy hành tinh đảo chiều	$\eta_{_{ht1}}$	0,98
12	Hiệu suất của hộp số hành tinh	$\eta_{\scriptscriptstyle hs}$	0,98
13	Hiệu suất của truyền động cạnh	η_{c}	0,96

14	Chiều rộng giữa tâm hai dải xích (m)	В	2,83
15	Chiều dài xích tiếp xúc với đất (m)	L	4,10
16	Tỷ số truyền động vào	i_v	0,98

3.3 Tính toán xây dựng đặc tính kéo quay vòng xe BMP-3

Trong bài báo tác giả sử dụng phần mềm MATLAB simulink để mô phỏng và xây dựng chương trình khảo sát động lực học quay vòng xe BMP-3. Công suất động cơ cần thiết cho quay vòng trên trục liên kết bánh răng ngoại luân dãy HTTHCS bằng:

$$N_q = N_{d1} + N_{BTT}$$

Trong đó: N_{dl} - công suất truyền từ động cơ qua BBMM và hộp số đến trục các bánh răng ngoại luân dãy HTTHCS; N_{BTT} - công suất truyền từ động cơ qua BTT đến các bánh răng mặt trời của các dãy hành tinh tổng hợp công suất.

Xét cân bằng trên trục các bánh ngoại luân của dãy HTTHCS:



Ta có: $M_{d1} = M'_2 - M'_1$

Hay:

 $M_{d1} = \frac{P_{2}r_{cd}}{i_{c}\frac{1+k}{k}\eta_{c}\eta_{hl}\eta_{x}} - \frac{P_{1}r_{cd}\eta_{x}\eta_{c}\eta_{hl}}{i_{c}\frac{1+k}{k}}$ (1.1)

Sau khi viết các phương trình động học cho các dãy HTTHCS thứ nhất và thứ hai qua các phép biến đổi ta được Công suất quy về động cơ cần thiết cho quay vòng sẽ là:

$$N_{dq} = \frac{N_q}{\eta_{BB}\eta_{hs}} \text{ Hay: } N_{dq} = f_q \frac{Gv_0}{\eta_t}$$
(1.2)

Và ta có lực kéo riêng cần thiết cho quay vòng trong trường hợp này:

$$f_{q} = [f_{2} - f_{1}\eta_{t} + \frac{f_{2} - f_{1}\eta_{t}}{\left(\frac{2R}{B} - 1\right)\eta_{BTT}}] \cdot \frac{1}{\eta_{BB}\eta_{hs}}$$
(1.3)

Trong đó: η_{BB} , η_{hs} - hiệu suất của bộ biến mô men thủy lực trong HTTL và hiệu suất của HSHT.

Các công thức tính toán được trình bày cụ thể trong tài liệu [2].

3.4 Kết quả tính toán

Sau khi xây dựng chương trình tính toán trên phần mềm Matlab Simulink [4]. Ta có kết quả thu được thể hiện trên các Hình 4, Hình 5, Hình 6 và Hình 7. Là các kết quả được tác giả xây dựng thông qua các thông số tính toán động lực học quay vòng của xe BMP-3 trên lý thuyết.



Hình 4. Đặc tính không thứ nguyên của bộ biến mô men và đặc tính quy dẫn của động cơ



Hình 5. Đặc tính đầu ra của biến mô men thủy lực

Hình 6. Khoảng làm việc chung



Hình 7. Đặc tính kéo chuyển động thẳng và Đặc tính kéo quay vòng

3.3 Nhận xét và đánh giá

Từ kết quả nghiên cứu ta thấy rằng tuy phụ thuộc vào từng tay số truyền, nhưng đường đặc tính kéo quay vòng của xe có dạng gần với đường đặc tính kéo quay vòng lý tưởng. Từ đặc tính kéo cho thấy xe có lực kéo đơn vị lớn nhất $f_{dmax} = 0,15$ và bán kính quay vòng nhỏ nhất R = B = 2.83 m. Trong quá trình quay vòng, CCTLQV đặt trên xe BMP-3 làm việc như những cơ cấu hai dòng, với dẫn truyền công suất từ bộ truyền thuỷ lực thể tích theo truyền động phụ đến các bánh răng mặt trời của các dãy hành tinh tổng hợp. Khi chuyển động thẳng, các CCTLQV này làm việc như những cơ cấu một dòng với các bánh răng mặt trời bị hãm, nhờ BTT [2]. Điều đó đảm bảo chuyển động thẳng ổn đinh. Các CCTLQV vô cấp đảm bảo khả năng điều khiển tốt trong khoảng thay đổi vân tốc rông, vì bán kính quay vòng cần thiết theo điều kiện chuyển động được người lái xác lập tương tự như việc điều khiển ở xe bánh lốp và bán kính xác đinh không phu thuộc vào sư thay đổi các lực cản ngoài. Việc không bị tổn thất công suất trong các phần tử ma sát điều khiển của cơ cấu quay vòng đặc trưng cho chất lượng cao của loại CCTLQV này về mặt năng lượng, còn tính chất duy trì vận tốc của trọng tâm xe khi quay vòng giống như khi chuyển động thẳng trước quay vòng cho phép xe có vận tốc trung bình cao. Đồng thời công suất lớn truyền qua bộ truyền thuỷ lực thể tích ở các bán kính quay vòng nhỏ đặt ra những yêu cầu cao cho BTT sử dụng trong các CCTLQV vô cấp của các xe xích chiến đấu, cả về hiệu suất cũng như về các đặc trưng thể tích- trọng lượng

4. Kết luận

Trong bài báo này, tác giả đã sử dụng phần mềm MATLAB simulink để khảo sát động lực học chuyển động quay vòng xe BMP-3. Kết quả thu được cho thấy hệ thống truyền lực thủy cơ hỗn hợp trên xe chiến đấu bộ binh thế hiện đại BMP-3 có nhiều ưu điểm nổi bật so với hệ thống truyền lực cơ khí có cấp, có bán kính quay vòng thay đổi được liên tục, HTTL làm việc ổn định. Đồng thời với kết quả này có thể khẳng định xe chiến đấu bộ binh hiện đại BMP-3 có khả năng kéo, khả năng cơ động linh hoạt phù hợp với điều kiện hoạt động tại đại hình Việt Nam. Đây là cơ sở cho việc mua sắm trang bị trong tương lai, cũng như nghiên cứu cải tiến, hiện đại hóa, hoàn thiện xe xích chiến đấu hiện đang có trong biên chế của quân đội ta.

Tài liệu tham khảo

- Nguyễn Văn Luận, Nguyễn Văn Tần, Lê Trung Dũng (1999). Lý thuyết xe tăng, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- Lê Trung Dũng, Nguyễn Minh Tân, Cù Xuân Phong (2023). Lý thuyết xe xích quân sự, Nhà xuất bản Quân đội.
- 3. NXB Quân đội, Moskva (2008). Cấu tạo và hướng dẫn sử dụng xe BMP-3.
- 4. Nguyễn Phùng Quang (2004). *MatLab & Simulink*, Hà Nội, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật.

Study of rotation dynamics of land combat vehicles modern birds BMP-3

Abstract: This article focuses on studying the turning dynamics of the BMP-3 infantry fighting vehicle. This is a military tracked vehicle using a two-power hybrid hydromechanical transmission system. In particular, the main power stream from the engine goes through the hydraulic torque plate to the planetary gearbox, the auxiliary power stream is transmitted from the engine through the hydraulic transmission (pump and hydraulic motor) to the sun gear. of the combined planetary sequence. From the survey results, the author has built the turning traction characteristics and evaluated the quality of the powertrain system of the BMP-3 vehicle. The main goal of the research is to point out the outstanding advantages of the hydromechanical transmission system as a basis for future exploitation and improvement of the BMP-3 vehicle transmission system.

Keywords: BMP-3; hydromechanical; transmission system; planetary gearbox; hydrostatic and dynamic transmission.

Nghiên cứu lý thuyết dao động ngẫu nhiên xe tăng T54B cải tiến theo mô hình phi tuyến

Phùng Chí Cường¹, Võ Văn Trung¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt:

Dao động xe xích chiến đấu (XXCĐ) được nghiên cứu theo mô hình tổng quát là Đường - Hệ thống treo (HTT) - Thân xe, tùy vào hàm tác động của đường là tiền định hay ngẫu nhiên và đặc tính của hệ thống treo là tuyến tính hay phi tuyến mà có các mô hình khảo sát khác nhau. Trong các mô hình đó, nghiên cứu theo mô hình Đường (ngẫu nhiên) - Hệ thống treo (phi tuyến) - Thân xe là mang tính tổng quát và sát với thực tế nhất, vừa đảm bảo yếu tố đường là ngẫu nhiên vừa đảm bảo được tính phi tuyến của hệ thống treo. Có thể giải gần đúng mô hình này bằng ba phương pháp là phương pháp trung bình, phương pháp tuyến tính hóa thống kê và phương pháp số. Bài báo này trình bày nội dung nghiên cứu lý thuyết dao động ngẫu nhiên xe tăng T54B cải tiến theo mô hình phi tuyến bằng phương pháp số.

Từ khóa: Dao động ngẫu nhiên; mô hình phi tuyến; phương pháp số; xe tăng thiết giáp.

1. Mở đầu

Đa số các nghiên cứu trước thường giải mô hình dao động ngẫu nhiên - phi tuyến bằng phương pháp trung bình và phương pháp tuyến tính hóa thống kê, các phương pháp này giải gần đúng bằng phép xấp xỉ và tuyến tính hóa theo các tiêu chuẩn chuyên môn. Đồng thời các phương pháp này chỉ sử dụng cho các hệ phi tuyến yếu (dao động nhỏ quanh vị trí cân bằng), khi ứng dụng cho hệ phi tuyến mạnh gặp sai số lớn. Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin, phương pháp số đã được áp dụng nhiều trong các bài toán kỹ thuật, ta có thể giải gần đúng mô hình trên cho kết quả chính xác cao bằng phương pháp số.



Hình 1. Sơ đồ nghiên cứu hệ dao động của xe xích chiến đấu.

Phương pháp chung để giải bài toán dao động ngẫu nhiên - phi tuyến đối với một hệ dao động là khi tác động vào có tính dừng, Egodic thì chuyển bài toán dao động ngẫu nhiên - phi tuyến về bài toán dao động tiền định - phi tuyến với tác động vào là một thể hiện của quá trình ngẫu nhiên. Phương pháp như vậy được gọi là phương pháp Monte-Carlo trong dao động ngẫu nhiên hay còn gọi là phương pháp số trong dao động ngẫu nhiên. Theo phương pháp này sơ đồ nghiên cứu HTT được mô tả như một hệ tự động điều chỉnh mạch hở (Hình 1), mỗi một giá trị của tác động đầu vào h(i,t) thông qua mô hình HTT sẽ có một giá trị của đáp ứng đầu ra z(i,t), $\phi(i,t)$. Nội dung của phương pháp gồm 3 bước chính:

Bước 1: Xác định các thể hiện ngẫu nhiên h(i,t) của quá trình đầu vào.

Bước 2: Giải bài toán dao động tiền định với từng thể hiện đầu vào, xác định các thể hiện tương ứng của quá trình ngẫu nhiên đầu ra.

Bước 3: Xử lí thống kê đối với các thể hiện đầu ra để xác định các đặc trưng xác suất của nó và đánh giá kết quả.

2. Khảo sát dao động ngẫu nhiên XXCĐ theo mô hình phi tuyến

2.1. Mô hình vật lý, mô hình toán

Để khảo sát dao động của xe xích chiến đấu cần thiết lập mối quan hệ giữa các chỉ tiêu đánh giá chất lượng dao động với các tham số kết cấu, điều kiện mặt đường ở các tốc độ chuyển động khác nhau. Các quan hệ này nhận được thông qua giải hệ phương trình vi phân (PTVP) dao động của hệ. Để thiết lập hệ PTVP dao động của hệ, cần xây dựng mô hình dao động của xe tăng [3].



Hình 2. Mô hình tổng quát dao động xe xích chiến đấu.



Hình 3. Mô hình vật lý tổng quát dao động 1/2 của xe xích chiến đấu.

Trong đó:

C - trọng tâm phần treo (thân xe) của xe tăng;

n - số bánh tỳ ở một bên;

 x_C - tọa độ của trọng tâm phần treo theo phương x trong hệ tọa độ tuyệt đối hOx;

 x_j - tọa độ của tâm bánh tỳ thứ j theo phương x trong hệ tọa độ tuyệt đối hOx;

 z_t - chuyển vị tĩnh thẳng đứng của trọng tâm phần treo;

z - chuyển vị thẳng đứng của trọng tâm phần treo trong hệ tọa độ zO_1x ;

 l_1 , l_2 , ... l_j ... l_n - khoảng cách từ tâm các bánh tỳ 1, 2, ... n đến trọng tâm phần treo C;

Gtr - trọng lượng phần treo của xe tăng;

ſ

 P_j - hợp lực tác dụng từ bánh tỳ thứ j lên thân xe.

Theo điều kiện chuyển động của xe theo phương x, điều kiện cân bằng về lực theo phương thẳng đứng, điều kiện cân bằng mô men ta có hệ PTVP như sau [3]:

$$\begin{cases} x = v.t \\ \ddot{z} = \frac{1}{m_{tr}} \left[\sum_{j=1}^{2n} P_j(f_j, \dot{f}_j) - G_{tr} \\ \ddot{\phi} = \frac{1}{I_{tr}} \sum_{j=1}^{2n} P_j(f_j, \dot{f}_j) l_j \end{cases}$$
(1)

Trong đó: x- quãng đường; v- vận tốc chuyển động của xe; t - thời gian; m_{tr} - khối lượng phần treo; \ddot{z} - gia tốc thẳng đứng của phần treo; I_{tr} – mô men quán tính khối lượng phần treo trong mặt phẳng dọc đi qua trục ngang thân xe; $\ddot{\phi}$ - gia tốc góc dọc của thân xe.

 P_j - đối với HTT độc lập phụ thuộc vào dịch chuyển và tốc độ dịch chuyển của bánh tỳ:

$$P_j = P_j \left(f_j, \dot{f}_j \right) \tag{2}$$

 f_j - dịch chuyển tâm bánh tỳ thứ j so với thân xe (hành trình tương đối).

$$f_j = f_{oj} - z - \varphi l_j + h_j \tag{3}$$

 \dot{f}_i - tốc độ dịch chuyển tương đối của bánh tỳ thứ j.

$$\dot{f}_j = -\dot{z} - \dot{\varphi} l_j + \dot{h}_j \tag{4}$$

Xem chiều cao mấp mô mặt đường dưới bánh tỳ thứ nhất được biểu diễn bằng hàm h(X). Do xe chuyển động đều với vận tốc V, có quan hệ X = V.t, với t là thời gian chuyển động. Từ đây có thể suy ra biểu diễn hàm mấp mô mặt đường theo thời gian đối với bánh thứ nhất: $h_1(t) = h(t)$. Với các bánh tỳ tiếp theo hàm mấp mô mặt đường có dạng tương tự song bị chậm pha với thời gian

 τ_j được xác định như sau: $\tau_j = \frac{l_1 - l_j}{V}$. Như vậy có hàm biểu diễn chiều cao mấp mô mặt đường dưới bánh tỳ thứ j theo thời gian như sau: $h_i(t) = h_1(t-\tau_i)$.

Khi xuất hiện tách bánh, chuyển vị tương đối giữa thân xe và bánh tỳ thứ j trở nên không xác định, do vậy không thể sử dụng quan hệ (2) trong hệ PTVP (1) để khảo sát dao động. Nếu

ta thay biến f_j bằng biến λ_j là hàm biểu diễn sự thay đổi khoảng cách từ mặt đất đến thân xe, được xác định theo biểu thức sau:

$$\lambda_j = \lambda_{oj} - z - l_j \cdot \varphi + h_j(t) \tag{5}$$

$$\dot{\lambda}_{j} = -\dot{z} - l_{j} \cdot \dot{\phi} + \dot{h}_{i}(t) \tag{6}$$

Theo [3] biểu diễn lực P_j qua λ_j (thay cho qua f_j) vẫn đúng cho cả khi có và không có hiện tượng tách bánh tỳ khỏi nền đường.

Khi đó mô hình toán với biến λ sẽ là:

$$\begin{cases} x = v.t \\ \ddot{z} = \frac{1}{m_{tr}} \left[\sum_{j=1}^{2n} P_j(\lambda_j, \dot{\lambda}_j) - G_{tr} \\ \ddot{\phi} = \frac{1}{I_{tr}} \sum_{j=1}^{2n} P_j(\lambda_j, \dot{\lambda}_j) l_j \end{cases}$$

$$(7)$$

Trong trường hợp HTT phi tuyến chúng ta không thể biểu diễn lực P_j tuyến tính qua các toạ độ tổng quát z, φ và các đạo hàm bậc nhất của chúng $\dot{z}, \dot{\varphi}$. Các PTVP của hệ (7) sẽ là các phương trình phi tuyến, do vậy ta bắt buộc phải giải hệ này thông qua các phương pháp số. Và do hiện tượng tách bánh tỳ là hiện tượng xảy ra ngẫu nhiên đối với các bánh tỳ và số lượng bánh tỳ, do vậy để giải được hệ (7) cần có điều kiện là bánh tỳ luôn tiếp xúc với mấp mô mặt đường ($\lambda_j = f_j > 0$).

2.2. Giải dao động ngẫu nhiên XXCĐ theo mô hình phi tuyến

Đối với phương pháp số thuận tiện nhất là giải trên máy tính bằng các phần mềm tính toán chuyên dụng. Một trong các phần mềm đó là Matlab-Simulink. Đối với các bài toán mô phỏng các hệ động lực thì sử dụng Simulink rất tiện lợi và chính xác.

Trong hệ phương trình (7) cần phải xác định hai giá trị z và φ với thông số đầu vào đã biết là h(t), các thông số kết cấu của HTT: khoảng cách giữa các bánh tỳ l_j, khối lượng phần treo m_{tr}, Mô men quán tính đối với trục ngang đi qua trọng tâm phần treo I_{tr}, đặc tính phần tử đàn hồi, đặc tính phần tử giảm chấn, ...



Hình 4. Xác định giá trị h(t).

Giá trị $h_j(t)$ trong hệ phương trình trên là một thể hiện của quá trình ngẫu nhiên được cho dưới dạng bảng số liệu hoặc đồ thị (Hình 4), tại thời gian t^{*} xác định được một giá trị h_j^* .

Sau khi xác định được h(t) nếu bánh tỳ tiếp xúc với mấp mô (bám đường) được đặc trưng bởi chiều cao h_j thì $\lambda_j = f_j = f_{oj} - z - \phi l_j + h_j(t)$.

Tại giá trị λ_j tra đặc tính P_{dhj} xác định lực P_{dhj}.



Hình 5. Xác định lực đàn hồi P_{dhj}.

Tiếp tục tính $\dot{\lambda}_j$ bằng cách đạo hàm λ_j , ta được $\dot{\lambda}_j = \dot{f}_j = -\dot{z} - l_j \cdot \dot{\phi} + \dot{h}_j(t)$, từ giá trị $\dot{\lambda}_j$ theo đặc tính giảm chấn xác định lực giảm chấn P_{gcj} (Hình 6).



Hình 6. Xác định lực cản giảm chấn P_{gcj}.

Tổng hợp hai lực P_{dhj} , P_{gcj} ta thu được lực $P_j = P_{dhj} + P_{gcj}$.

Sau khi xác định được lực tác dụng lên thân xe P_j kết hợp với PTVP (7), lập sơ đồ simulink giải hệ tìm z và φ (hình 7).

Sau khi xác định được các thể hiện ngẫu nhiên đầu ra z(i,t) và $\varphi(i,t)$ tiến hành xử lý thống kê các đại lượng đầu ra: xác định hàm mật độ của tín hiệu đầu ra để đánh giá. Trong mô hình có thể lấy ra nhiều thông số đánh giá như: lực P_j; gia tốc, vận tốc, dịch chuyển thẳng đứng của trọng tâm thân xe; gia tốc, vận tốc, dịch chuyển góc dọc của thân xe; hoặc gia tốc, vận tốc, dịch chuyển thẳng đứng tại vị trí ghế lái xe...

Sơ đồ thuật toán mô phỏng dao động ngẫu nhiên XXCĐ thể hiện ở Hình 8.



Hình 7. Sơ đồ Simulink cấu trúc hệ dao động xe xích chiến đấu.



Hình 8. Sơ đồ thuật toán mô phỏng dao động ngẫu nhiên XXCĐ.

3. Kết quả tính toán dao động ngẫu nhiên xe T54BCT theo mô hình phi tuyến bằng phương pháp số

Hệ thống treo xe T54B cải tiến có phần tử đàn hồi là thanh xoắn đơn và phần tử giảm chấn là giảm chấn thủy lực đòn phiến gạt. Hệ thống treo xe tăng T54BCT là loại hệ thống treo độc lập (mỗi bánh tỳ liên kết với thân xe bằng 1 phần tử đàn hồi), gồm 10 trục xoắn (mỗi bên thân xe có 5 trục xoắn) và bốn giảm chấn lắp ở bánh tỳ thứ nhất và thứ năm hai bên.

Theo [5], ta xây dựng được đặc tính thực của phần tử đàn hồi và phần tử giảm chấn.



Hình 9. Đặc tinh thực của phần tử đàn hồi.



Hình 10. Đặc tính thực của giảm chấn.

Để xác định mấp mô của biên dạng đường đầu vào, tác giả sử dụng bộ số liệu có sẵn (số liệu xây dựng bằng phương pháp mô phỏng số). Thể hiện nhận được trên Hình 11.



Hình 11. Biên dạng đường mô phỏng theo số liệu có sẵn.

Với các thông số kết cấu của xe T54B cải tiến [5], ta có kết quả tính toán:

1377





Hình 12. Dịch chuyển thẳng đứng thân xe khi v = 20km/h và v = 30km/h.



Hình 13. Dịch chuyển góc dọc thân xe khi v = 20km/h và v = 30km/h..



Hình 14. Mật độ phân bố dịch chuyển thẳng đứng tại ghế lái xe khi v = 20km/h và v = 30km/h.



Hình 15. Mật độ phân bố gia tốc thẳng đứng tại ghế lái xe khi v = 20km/h và v = 30km/h.



Hình 16. Mật độ phân bố dịch chuyển góc dọc khi v = 20km/h và v = 30km/h.

4. Kết luận

Bài báo này trình bày tổng quan về nghiên cứu dao động ngẫu nhiên XXCĐ theo mô hình phi tuyến bằng phương pháp số. Đã ứng dụng phần mềm Matlab-simulink để giải mô hình toán chung, trên cơ sở đó có thể giải mô hình toán đối với từng XXCĐ khác nhau. Kết quả tính toán đối với xe tăng T54B cải tiến là cơ sở để đánh giá chất lượng HHT của xe. Tuy nhiên cần có những bộ số liệu về biên dạng đường nhiều hơn, bên cạnh đó cần xây dựng được đặc tính thực của hệ thống treo bằng thực nghiệm, khi đó ta có thể đánh giá chính xác và đầy đủ hơn.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Lê Trung Dũng (2023). Lý thuyết Xe xích quân sự, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [2]. Đỗ Anh Cường (2010). Dao động ngẫu nhiên, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [3]. Lê Kỳ Nam (2006). Lý thuyết treo phi tuyến xe tăng, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [4]. Võ Văn Trung (2011). Nghiên cứu dao động ngẫu nhiên xe xích chiến đấu có kể đến yếu tố phi tuyến, LATS, Học viện Kỹ thuật quân sự.

- [5]. Đặng Thìn Chung (2020). Nghiên cứu hoàn thiện hệ thống treo xe tăng T54B cải tiến, LATS, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [6]. А.А.Дмитриев(1993). Статистическая динамика транспортных и тяговых гусеничных машин, Москва, Машиностроиение В.А.Совочик.

STUDYING THEORY OF RANDOM OSCILLATIONS OF TANK T54B IMPROVED BY NONLINEAR MODEL

Abstract: Vibration of combat tracked vehicle (XXCD) is studied according to the general model of Road - Suspension - Body, depending on whether the impact function of the road is predetermined or random and the characteristics of the suspension system are linear. or nonlinear but with different survey models. Among those models, research on the Road (random) – Suspension (nonlinear) – Vehicle body model is the most general and closest to reality, ensuring both the road element is random and ensuring ensure the nonlinearity of the suspension system. This model can be approximately solved using three methods: averaging method, statistical linearization method and numerical method. With the strong development of information technology, numerical methods have been widely used in many technical problems. This article presents the content of research on the theory of stochastic oscillation of the improved T54B tank according to the nonlinear model using numerical methods.

Keywords: Random fluctuations; nonlinear models; numerical methods; armored tank.

Nghiên cứu tính toán hệ thống thủy lực dẫn động cơ cấu bơi cho xe thiết giáp chở quân

Nguyễn Viết Tân^{1*}, Lê Quang Đạt¹, Nguyễn Duy Đạt¹, Nguyễn Tiến Vĩ¹

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự Email: datmta1998@gmail.com

Tóm tắt

Đối với xe thiết giáp chở quân, một trong những tính năng quan trọng nhất đó là khả năng cơ động và thông qua cao ngay cả khi hoạt động trên cạn và dưới nước. Hiện nay, các xe thiết giáp chở quân 8x8 hiện đại đều sử dụng hệ thống thủy lực dẫn động cơ cấu bơi. Chính vì vậy, việc làm chủ công nghệ từ thiết kế, chế tạo cơ cấu bơi và hệ thống thủy lực dẫn động cơ cấu bơi cho xe thiết giáp để đáp ứng được các yêu cầu đặt ra ở chế độ bơi là rất cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn lớn. Bài báo tiến hành nghiên cứu lựa chọn, tính toán hệ thống thủy lực dẫn động cơ cấu bơi cho xe thiết giáp chở quân XTC-08. Xây dựng, phân tích các phương án dẫn động và bố trí chung hệ thống thuỷ lực dẫn động cơ cấu bơi. Thông qua các số liệu đầu vào, tiến hành tính toán và phân tích lựa chọn các thông số làm việc của hệ thống thuỷ lực, cũng như của phần tử thuỷ lực cho hệ thống thuỷ lực dẫn động cơ cấu bơi. Từ đó, hệ thống đáp ứng yêu cầu truyền công suất lớn từ động cơ đặt phía trước xe đến chân vịt với hiệu suất cao nhất, tích hợp hệ thống điều khiển hiện đại, tạo ra được vận tốc bơi đạt được yêu cầu đặt ra.

Từ khóa: hệ thống dẫn động thủy lực, xe thiết giáp chở quân.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, với sự bùng nổ của cuộc cách mạng khoa học công nghệ 4.0, hàng loạt các loại vũ khí công nghệ cao đã được nghiên cứu, thiết kế với ưu điểm vượt trội về tính năng kỹ chiến thuật. Các trang bị đều có độ chính xác cao và hỏa lực mạnh. Do đó, việc thiết kế, chế tạo các loại trang thiết bị có khả năng chống phản pháo, cơ động nhanh, linh hoạt, tính năng thông qua cao, khả năng bảo vệ tốt, kết hợp với hỏa lực mạnh sẽ là xu hướng chính trong tương lai. Từ tính cấp thiết đó bài báo tiến hành nghiên cứu tính toán thiết kế hệ thống dẫn động cơ cấu bơi cho xe thiết giáp chở quân chiến đấu XTC-80. Đối với xe thiết giáp chở quân, một trong những tính năng quan trọng nhất đó là khả năng cơ động và thông qua cao ngay cả khi hoạt động trên cạn và ở dưới nước. Chính vì vậy, việc thiết kế, chế tạo cơ cấu bơi cho xe thiết giáp đáp ứng được các yêu cầu đặt ra ở chế độ bơi là rất cần thiết. Hiện nay, phương tiện bơi tự hành bánh lốp nói chung và xe thiết giáp nói riêng thường sử dụng cơ cấu bơi chân vịt hoặc cơ cấu bơi bơm luồng phụt được dẫn động bằng hệ thống truyền lực cơ khí hoặc thuỷ lực.

Với thiết kế tổng thể xe thiết giáp chở quân XTC-08 theo đề tài "Nghiên cứu thiết kế hệ thống xe thiết giáp chở quân chiến đấu XTC-08", việc bố trí chở quân phải mở cửa sau, toàn bộ động cơ xe được lắp đặt ở phía trước xe. Mặt khác cơ cấu bơi thường được bố trí ở phía sau xe nên việc dẫn động bằng hệ thống truyền lực cơ khí sẽ rất phức tạp và khó bố trí, nhất là khi sử dụng từ hai cơ cấu bơi trở lên. Do đó cần sử dụng hệ thống thuỷ lực dẫn động mới đáp ứng được yêu cầu truyền lực. Đồng thời, việc sử dụng hệ thống thuỷ lực trong dẫn động di

^{*} Email: datmta1998@gmail.com

chuyển xe nói chung và di chuyển bơi nói riêng hoàn toàn phù hợp với xu hướng thiết kế xe hiện đại ngày nay.

Ở trong nước hiện nay mới chỉ có xe thiết giáp chở quân XTC-02 đã sử dụng hệ thống thuỷ lực dẫn động cơ cấu bơi. Trong khi đó ở nước ngoài, các xe thiết giáp chở quân 8x8 hiện đại như BTR-4 của Ucraina, Soromak của Ba Lan và Thuỵ Điển đều sử dụng hệ thống thuỷ lực dẫn động cơ cấu bơi. Thậm chí xe chở quân XAB66 của Mỹ sử dụng hệ thống thuỷ lực để dẫn động toàn bộ di chuyển của xe cả ở trên cạn và dưới nước. Tuy nhiên, công nghệ thiết kế, chế tạo cơ cấu bơi và hệ thống dẫn động bằng thuỷ lực đều chưa được công bố rộng rãi. Vì vậy việc làm chủ công nghệ từ thiết kế đến chế tạo cơ cấu bơi được dẫn động bằng hệ thống thuỷ lực ở trong nước là rất cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn lớn.

Trong bài báo này, nhóm tác giả tiến hành xây dựng phương án thiết kế đưa ra ưu nhược điểm của các phương án thiết kế hệ thống thủy lực dẫn động cơ cấu bơi trên xe thiết giáp BTR-80A. Tiến hành tính toán, khảo sát thông số làm việc của hệ thống thủy lực dẫn động cơ cấu bơi từ đó đưa ra lựa chọn tối ưu cho hệ thống.

2. Phân tích lựa chọn phương án thiết kế hệ thống thủy lực dẫn động cơ cấu bơi 2.1. Phương án 1: Cơ cấu bơi sử dụng hệ thống dẫn động thủy lực mạch hở

Phương án này sử dụng 1 bơm có điều chỉnh cấp dầu cho 2 mô tơ thủy lực. Mỗi chân vịt được dẫn được bởi 1 mô tơ thủy lực độc lập. Quá trình điều khiển có thể sử dụng điện hoặc cơ khí. Phương án này cho chúng ta sự dễ dàng trong thiết kế, chế tạo, lắp đặt, hiệu chỉnh. Trong quá trình làm việc dễ dàng làm mát và làm sạch dầu thủy lực. Quá trình quay vòng xe trong khi bơi không cần cơ cấu lái riêng. Tuy nhiên, phương án này làm trọng lượng xe tăng lên đáng kể, gây khó khăn trong quá trình bố trí, lắp đặt. Hệ thống dễ xảy ra hiện tượng xâm thực và cho hiệu suất không lớn.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống thủy lực mạch hở dẫn động chân vịt 2.2. Phương án 2: Cơ cấu bơi sử dụng hệ thống dẫn động thủy lực mạch kín Phương án này sử dụng 1 bơm có điều chỉnh cấp dầu cho 1 mô tơ thủy lực. Mô tơ thủy

lực dẫn động chân vịt thông qua bộ vi sai. Quá trình điều khiển có thể sử dụng điện hoặc cơ khí. Phương án sử dụng mạch kín cần sử dụng ít phần tử thủy lực, quá trình làm việc cho hiệu suất cao. Tuy nhiên, bơm mà mô tơ cần công suất lớn dẫn động 2 chân vịt do vậy yêu cầu kích thước, trọng lượng lớn khó khăn trong quá trình bố trí lắp đặt. Thêm các bộ phần cơ khí bộ vi sai, cầu xe làm tăng trọng lượng xe. Cần có thêm cơ cấu lái riêng.



Hình 2. Sơ đồ hệ thống thủy lực mạch kín dẫn động chân vịt

2.3. Phương án 3: Cơ cấu bơi sử dụng hệ thống dẫn động thủy lực hai mạch kín độc lập

Phương án 3 sử dụng 1 bơm kép có điều chỉnh cấp dầu cho 2 mô tơ thủy lực. Mỗi mô tơ thủy lực dẫn động độc lập 1 chân vịt. Quá trình điều khiển có thể sử dụng điện hoặc cơ khí. Phương án này sử dụng ít phần tử thủy lực hơn so với phương án sử dụng hệ thống dẫn động mạch kín, gọn nhẹ dễ bố trí lắp đặt. Trong quá trình làm việc cho hiệu suất cao, không cần thiết kế cơ cấu lái riêng khi quay vòng. Tuy nhiên, cần phải tiến hành tính toán, thiết kế chính xác thông số của hệ thống, cần phải xử lý việc làm mát cho hệ thống. Quá trình chế tạo, lắp đặt đòi hỏi độ chính xác cao về độ kín khít của hệ thống, độ sạch của dầu.



Hình 3. Sơ đồ hệ thống thủy lực hai mạch kín độc lập dẫn động chân vịt

Qua phân tích ưu nhược điểm ở trên cũng như xem xét mục đích, yêu cầu thông số kỹ thuật của trang bị ta thấy được phương án 3 đang cho nhiều lợi thế hơn cả. Do đó, trang bị tiến hành sử dụng hệ thống thủy lực hai mạch kín độc lập dẫn động chân vịt.



Hình 4. Các phần tử hệ thống thủy lực hai mạch kín độc lập dẫn động chân vịt

3. Tính toán, khảo sát thông số làm việc của hệ thống thủy lực dẫn động cơ cấu bơi Yêu cầu kỹ thuật và bộ thông số đầu vào của phương tiện như sau:

THÔNG SỐ ĐẦU VÀO	KÝ HIỆU	GIÁ TRỊ	ĐƠN VỊ TÍNH
Tốc độ bơi tiến lớn nhất	v	10	km/h
Tốc độ bơi lùi lớn nhất	v	3-5	km/h
Số cánh chân vịt trên mỗi cơ cấu bơi, cánh		3	
Hệ thống điều khiển		Điện – Thủy lực	
Chiều dài lớn nhất		7,58	m
Chiều rộng lớn nhất		2,95	m
Chiều dài đường mướn tải		7,38	m
Chiều rộng đường mướn tải		2,95	m
Hệ số béo		0,7	
Độ sậu chìm pước		1,05 (tải trọng xe 16 tấn)	m
		1,12 (tải trọng xe 17 tấn)	m

Diện tích vỏ nhúng nước		18,6	m ²
Hệ số thông dòng	W	0,17	
Hệ số hút	t	0,17	
Hệ số cản	ζ	0,2	

Khi phương tiện di chuyển với tốc độ v thì vận tốc đẩy trên chân vịt là:

$$v_p = v.(1 - W) \tag{1}$$

Lực cản nước lên khi xe ổn định R là:

$$R = \xi \rho \frac{v_p^2}{2} S(N)$$
[2]

Lực đẩy của 1 tổ hợp chân vịt P là:

$$P = \frac{R}{1-t}(N)$$
[3]

Tốc độ quay trục chân vịt n_v là:

$$n_{v} = \frac{v_{p}}{\lambda_{p}.D} (v \partial ng / ph ut)$$
[4]

Hiệu suất toàn phần của cơ cấu bơi:

$$\eta_o = i \ \eta_k \ \eta_p \ \eta_{ck} \tag{5}$$

Công suất cần thiết đặt vào chân vịt N_{ev} là:

$$N_{ev} = \frac{R_{v}.0,7456}{750.\eta_{o}} (kW)$$
[6]

3.1. Tính toán trong trường hợp tải trọng xe 16 tấn

Kết quả tính toán được thể hiện trong các đồ thị như sau:



Hình 5. Đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa đường kính chân vịt và tốc độ quay đặt vào trục chân vịt



Hình 6. Đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa đường kính chân vịt và công suất đặt vào trục chân vịt N_{ev}



Hình 7. Đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa đường kính chân vịt và mô men đặt vào trục chân vịt M_{ev}

3.2. Tính toán trong trường họp tải trọng xe 17 tấn

Kết quả tính toán được thể hiện trong các đồ thị như sau:



Hình 8. Đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa đường kính chân vịt và tốc độ quay đặt vào trục chân vịt

1386


Hình 9. Đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa đường kính chân vịt và công suất đặt vào trục chân vịt N_{ev}





Dựa vào kết quả tính toán và đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa đường kính chân vịt và các thông số của phương tiện ta thấy rằng đường kính chân vịt D có ảnh hưởng rất lớn đến các đặc trưng động lực học của chân vịt. Khi đường kính chân vịt lớn, chân vịt sẽ có khả năng tạo ra lực đẩy lớn hơn, đồng thời sẽ làm tăng mô men cản của chân vịt và gây quá tải động cơ.

Thông qua kết quả tính toán ta lựa chọn chân vịt có đường kính D = 0,45 m đáp ứng được các yêu cầu về thông số kỹ thuật của phương tiện, đảm bảo dễ dàng trong quá trình cải tạo lắp đặt cơ cấu bơi cho xe.

3.3. Tính toán lưu lượng cho bơm và mô tơ thủy lực

Ta tiến hành tính toán với trường hợp đường kính chân vịt D = 0,45m và tải trọng xe là 17 tấn Kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 1:

Các thông số	Đơn vị tính	Kết quả		
Vận tốc bơi của xe v	m/s	2,8 m/s (10,08km/h)	2,9 m/s (10,44km/h)	3,0 m/s 10,8km/h)

Bảng 1: Kết quả tính toán cơ cấu bơi chân vịt đặt trong vành dẫn hướng

1387

Vận tốc đẩy trên chân vịt v _p	m/s	2,32	2,41	2,49
Lực cản nước R	Ν	15862	17015	18209
Lực đẩy của 1 tổ hợp chân vịt P	Ν	9555	10250	10969
Tốc độ quay trục chân vịt n_v	vòng/giây	23,4	24,1	24,9
Tốc độ quay trục chân vịt n_v	vòng/phút	1407	1444	1494
Hiệu suất toàn phần cơ cấu bơi η_0		0,271	0,271	0,271
Công suất cần thiết đặt vào chân vịt Nev	kW	162	179	198
Mô men cần thiết đặt vào chân vịt M_{ev}	Nm	398	420	449

Lưu lượng của mô tơ thủy lực:

$$Q_m = \frac{N_{ev}.612}{10^4.p}$$
[7]

Giả thiết không có tổn thất trong đường ống khi đó: $Q_m = Q_b$

Lưu lượng riêng của bom là:

$$q_b = \frac{1000.Q_b}{n.\eta_{ck}} \tag{8}$$

Trong đó: n số vòng quay của động cơ đốt trong (vòng/phút) n = 2650

 η_{ck} hiệu suất truyền cơ khí hệ thống. Chọn $\eta_{ck} = 0.95$

Công suất của bơm là:



$$N_b = \frac{10.Q_b.p.10^3}{612}$$
[9]

Hình 11. Đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa vận tốc bơi của phương tiện và lưu lượng bơm





Kết quả tính toán công suất làm việc của bơm, lưu lượng riêng của bơm được thể hiện trong Hình 11 và Hình 12 qua đó có thể thấy khi phương tiện di chuyển với vận tốc càng lớn thì đỏi hỏi lưu lượng của bơm càng lớn và công suất làm việc của bơm càng cao. Thông qua kết quả tính toán kết hợp với công suất động cơ lựa chọn cho xe thiết giáp tác giả xác định được công suất làm việc lớn nhất của bơm thủy lực từ đó đánh giá khả năng làm việc, tính ổn định của hệ thống. Dựa vào đó để lựa chọn các phần tử thủy lực phù hợp để đảm bảo cho hệ thống thủy lực hoạt động hiệu quả, ổn định.

4. Kết luận

Dựa trên nhu cầu thực tiễn chiến đấu trên chiến trường, tính cấp thiết và quan trọng tác chiến ở tình hình mới đòi hỏi Quân đội ta phải nhanh chóng làm chủ công nghệ từ việc thiết kế, chế tạo cơ cấu bơi cho các xe thiết giáp chở quân. Làm chủ hệ thống dẫn động, điều khiển cho trang thiết bị bơi.

Thông qua phương án bố trí lắp đặt, điều chỉnh lại hệ thống truyền lực để phù hợp với yêu cầu tác chiến của quân đội ta. Nhóm tác giả đã tiến hành xây dựng, phân tích và lựa chọn phương án tối ưu cho thiết kế hệ thống thủy lực dẫn động cơ cấu bơi chân vịt cho xe thiết giáp chở quân XTC-08. Thông qua các thông số kỹ thuật của phương tiện đưa ra các phương trình tính toán lựa chọn thông số kỹ thuật của cơ cấu bơi chân vịt. Sau khi đã lựa chọn được chân vịt phù hợp, tiến hành lựa chọn các phần tự thủy lực để phù hợp với tính năng kỹ chiến thuật của phương tiện thông số của thiết bị.

Tài liệu tham khảo

- Trần Quang Hùng, Đỗ Doãn Phi, Lê Trọng Cường, Trần Hữu Lý (2013). Truyền động thủy lực trên Xe máy Công binh, Học viện kỹ thuật Quân sự.
- 2. Trần Ngọc Hải, Trần Xuân Tủy (2021). *Giáo trình hệ thống truyền động thủy lực khí nén*, Nhà xuất bản Xây dựng.
- 3. Nguyễn Viết Tân (2011). Xe máy vượt sông, NXB Quân đội nhân dân.
- 4. Đinh Sơn Hùng (1998). Các phương tiện vượt sông, Học viện Kỹ thuật Quân sư.
- 5. ПОДГОТОВКА БРОНЕТРАНСПОРТЕРОВ БТР-80 И БТР-82А К ПРЕОДОЛЕНИЮ ВОДНОЙ ПРЕГРАДЫ.

1389

Research and calculation of the hydraulic system driving the swimming mechanism armored personnel carrier

Abstract: For armored personnel carriers, one of the most important features is high maneuverability and throughput even when operating on land and in water. Currently, modern 8x8 armored personnel carriers all use a hydraulic system to drive the swimming mechanism. Therefore, mastering technology from designing and manufacturing the swimming mechanism and the hydraulic system that drives the swimming mechanism for armored vehicles to meet the requirements set out in swimming mode is very necessary and important. has great practical significance. This article conducts research on selecting and calculating the hydraulic system that drives the swimming mechanism for the XTC-08 armored personnel carrier. Develop and analyze drive options and general arrangement of the hydraulic system driving the swimming mechanism. Through the input data, calculate and analyze and select the working parameters of the hydraulic system, as well as the hydraulic elements for the hydraulic system that drives the swimming mechanism. From there, the system meets the requirements of transmitting large power from the engine located at the front of the vehicle to the propeller with the highest efficiency, integrating a modern control system, creating a swimming speed that meets the set requirements.

Keyword: hydraulic drive system, armored personnel carrier.

1389

Xây dựng mô hình toán học chuyển động quay vòng của xe xích quân sự có xét đến tương tác xích - đất

Hoàng Văn Dinh^{1*}, Nguyễn Minh Tân¹, Từ Vĩnh Sang¹

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự

Email: kcdd2014@gmail.com; Tel:0833466698

Tóm tắt:

Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết xây dựng hệ phương trình vi phân chuyển động quay vòng của xe xích quân sự, nghiên cứu tương tác xích - đất, xác định sự phụ thuộc của độ dịch chuyển ngang và dọc của các thành phần bề mặt tựa dải xích vào thông số động học của chuyển động. Từ đó xác định được các lực tác động trong mặt phẳng bề mặt tựa của xích theo các thông số vận tốc và bán kính quỹ đạo chuyển động. Mô hình toán học có được xác định được khả năng chuyển động của xe trong chế độ, trạng thái chuyển động theo quỹ đạo được đặt ra.

Từ khóa: Tương tác xích - đất; xe xích quân sự; mô hình toán học; chuyển động quay vòng.

Abstract:

The article presents the theoretical basis for constructing the system of differential equations of rotational motion of military tracked vehicles, studying the track - ground interaction, determine the dependence of the lateral and vertical displacements of the track shoe components on the kinematic parameters of the motion. From there, determine the forces acting in the plane of the track shoe surface based on the speed parameters and radius of the moving orbit. The mathematical model determines the vehicle's ability to move in a specified trajectory mode and motion state.

Keywords: Track - ground interaction; military tracked vehicles; mathematical model; circular motio.

1. Đặt vấn đề

Lý thuyết chuyển động quay vòng của xe xích quân sự theo phương pháp nghiên cứu truyền thống trước đây áp dụng cho các xe có công suất riêng thấp, vận tốc chuyển động nhỏ, khi đó giới hạn chính ảnh hưởng tới chuyển động của xe là đặc tính kéo. Theo phương pháp này xác định được các tham số động lực học lý thuyết trên bánh chủ động và xác định quỹ đạo sẽ chuyển động của xe nhưng không xét đến ảnh hưởng của điều kiện đường xá. Có thể nói đây là *phương pháp thử nghiệm* đi từ "động cơ". Khi đó mô hình chuyển động xe xích không tính tới tương tác của mắt xích với đất trong sự phụ thuộc vị trí của nó trên bề mặt tựa và vận tốc chuyển động của xe. Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản, dễ dàng tìm được kết quả theo tính toán kéo khi quay vòng.

Hiện nay, xe xích hiện đại có công suất riêng và vận tốc chuyển động lớn nên không thể áp dụng mô hình khảo sát truyền thống nữa. Khi chuyển động với vận tốc cao làm tăng khả năng sai sót của lái xe về đánh giá điều kiện đường xá, theo đó tăng khả năng sai sót trong điều khiển xe xích. Từ đó, lý thuyết chuyển động cần đưa ra câu trả lời cho câu hỏi, những đặc tính nào mà xe xích cần sở hữu để xe chuyển động trong điều kiện ngoại cảnh cho trước với vận tốc chuyển động lớn nhất. Trong trường hợp này có thể nói rằng, khảo sát chuyển động của xe đi "từ đất", hay từ

^{*} Email: kcdd2014@gmail.com

các tham số lực học và động học yêu cầu của chuyển động tính đến khả năng hiện thực hóa chế độ chuyển động của xe trong sự phụ thuộc vào điều kiện ngoại cảnh.

Chính vì thế, bài báo sẽ cung cấp cơ sở lý thuyết xây dựng hệ phương trình vi phân chuyển động quay vòng của xe xích quân sự có xét đến sự tương tác giữa xích - đất.

2. Cơ sở lý thuyết xây dựng mô hình toán học chuyển động quay vòng của xe xích quân sự

2.1. Xây dựng hệ phương trình vi phân chuyển động

Để giải quyết bài toán động lực học quay vòng của xe xích với quỹ đạo chuyển động được cho trước, hay quỹ đạo chuyển động được đưa ra phù hợp với các tọa độ tự nhiên, khi đó ta coi xe xích là một vật rắn tuyệt đối, và chấp nhận một số giả thiết: khi không có lực ngang và lực dọc thì tải trọng vuông góc phân bố đều trên các bánh tỳ, sự biến dạng của đất theo chiều dài dải xích và hai bên dải xích là như nhau, nền đất được khảo sát là đồng nhất.

Quỹ đạo chuyển động của trọng tâm thân xe sẽ được cho trước ở dạng [2,3]:

$$k = k(s) \tag{1}$$

Với: k- độ cong của quỹ đạo chuyển động của trọng tâm thân xe;

s- tọa độ chuyển động của trọng tâm thân xe, tính dọc theo quỹ đạo chuyển động.

Tọa độ chuyển động của trọng tâm thân xe là hàm theo thời gian: s = s(t)

Độ cong quỹ đạo chuyển động k được xác định bởi biểu thức:

$$k = \frac{d\varphi}{ds} = \frac{\dot{\varphi}}{\dot{s}} \tag{2}$$

Với: $d\varphi$ - thay đổi góc nghiêng tiếp tuyến với quỹ đạo chuyển động của trọng tâm xe trên quãng đường ds.

Để nghiên cứu động lực học xích xe trong quá trình chuyển động, ta đưa vào hệ trục tọa độ với gốc tọa độ trùng với trọng tâm xe, trục x trùng với trục dọc của xe (Hình 1).



a, Mô hình quỹ đạo chuyển động của xe

b, Mô hình quay vòng xe

Hình 1. Sơ đồ chuyển động của xe xích

Ở đây: Δ_{φ} - Góc quay vòng của xe xích; C - là trọng tâm thân xe; χ - độ dịch cực theo trục dọc của tâm quay tức thời; β - góc hợp bởi tiếp tuyến với quỹ đạo chuyển động và trục dọc của xe; ρ_c - bán kính quỹ đạo chuyển động của trọng tâm; ρ_{Φ} - bán kính quay vòng thực tế.

Để viết phương trình chuyển động của xe xích theo quãng đường cho trước s sử dụng phương trình Lagrange ở dạng:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} \left(\frac{\partial \Gamma}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial \Gamma}{\partial q_j} = Q_j \tag{3}$$

Với: T -động năng của hệ, q_j – tọa độ suy rộng thứ j, Q_j – lực suy rộng theo tọa độ suy rộng j Từ biểu thức (2) và hình (1) ta có:

$$\dot{\varphi} = k(s)\dot{s} + \dot{\beta} \tag{4}$$

Dễ thấy rằng:

$$\beta = \arcsin\left(\chi / \rho_c\right) \text{ hay } \chi = \rho_c \cdot \sin\beta \tag{5}$$

Từ những điều kể trên, biểu thức động năng của xe xích [4]:

$$T = \frac{1}{2} \left(m \dot{s}^2 + J_z \dot{\varphi}^2 \right) \tag{6}$$

Với: J_z - mô men quán tính so với trục thẳng đứng đi qua trọng tâm thân xe, kg.m²;

m - khối lượng của xe xích, kg.

Để xác định lực suy rộng cần có biểu thức công thành phần của tất cả các lực tác động lên xe xích khi chuyển động trong mặt phẳng, bao gồm các lực: P₁ - lực phanh trên dải xích dừng; P₂ - lực kéo trên dải xích chạy; R₁ - lực cản lăn trên dải xích dừng; R₂ - lực cản lăn trên dải xích chạy; S₁ - lực cản quay vòng trên dải xích dừng, S₂ - lực cản quay vòng trên dải xích chạy [5]. Bằng cách đặt ký hiệu: Mô men lực kéo, lực phanh là mô men quay vòng $M_H = (P_2 - P_1)\frac{B}{2}$; mô men từ các lực cản R_1, R_2 lên xích $M_R = (R_2 - R_1)\frac{B}{2}$; mô men từ lực S_1, S_2 là mô men cản quay vòng $M_C = S_1 l_1' + S_2 l_2' = M_{C1} + M_{C2}$, ta có công thành phần của tất cả

các lực suy rộng:

$$\delta A = (P_1 + P_2) \delta x_C - (R_1 + R_2) \delta x_C - S_1 \delta x_C - S_2 \delta x_C + (M_H - M_R - M_C) \delta \varphi$$
(7)

Để chuyển động điều khiển được của xe xích theo quỹ đạo cho trước cần bảo toàn được liên kết giữa các bánh tỳ với mặt đường theo hướng ngang, tức là tuân thủ đẳng thức của lực ly tâm và hình chiếu của phản lực từ mặt đất:

$$m\frac{V^{2}}{\rho_{c}} = -\left[\left(P_{1} + P_{2}\right) - \left(R_{1} + R_{2}\right)\right]sin\beta - (S_{1} + S_{2})cos\beta$$
(8)

Sau một số bước biến đổi ta có hệ phương trình động lực học của chuyển động điều khiển được xe xích sẽ có dạng như sau:

$$m\ddot{s} = \left[\left(P_{1} + P_{2} \right) - \left(R_{1} + R_{2} \right) \right] cos\beta - (S_{1} + S_{2}) sin\beta;$$

$$J_{z} \left(k\left(s \right) \ddot{s} + \frac{\partial k}{\partial s} \dot{s}^{2} + \dot{\beta} \right) = \left(M_{H} - M_{R} - M_{C} \right);$$

$$m\frac{V^{2}}{\rho_{c}} = -\left[\left(P_{1} + P_{2} \right) - \left(R_{1} + R_{2} \right) \right] sin\beta - (S_{1} + S_{2}) cos\beta.$$
(9)

2.2. Tương tác thành phần bề mặt tựa của xích xe với mặt đất

Để đánh giá tương tác này ta chọn hệ trục tọa độ Đề các, gắn với mắt xích của xe, có gốc tọa độ trùng với trọng tâm của mắt xích.



Hình 2. Hệ tọa độ Đề-các để phân tích tương tác giữa xích và đất

Khi xe xích quay vòng, mỗi thành phần của bề mặt tựa dải xích thực hiện một chuyển động phức tạp, xê dịch trên mặt đất theo hướng dọc và hướng ngang so với trục dọc của xe. Khi xem xét tương tác của xích và đất, cho rằng chuyển dịch của mắt xích trên nền đất tại thời điểm này trùng với hướng của vận tốc chuyển dịch tuyệt đối trọng tâm mắt xích. Gần như có thể nói rằng, trọng tâm trùng với tâm hình học mặt phẳng của mắt xích.

Giả sử trên bề mắt mắt xích chịu một vài áp lực pháp tuyến Q (áp lực pháp tuyến của mắt xích lên nền đất). Khi chuyển dịch của mắt xích so với nền đất phát sinh ra phản lực R. Lực này tỷ lệ thuận với tải trọng pháp tuyến [1]:

$$R = \mu Q \tag{10}$$

Hệ số tỷ lệ μ sẽ được gọi là hệ số tương tác giữa xích và đất. Xem rằng lực tương tác giữa xích và đất này có hướng ngược với hướng của vận tốc tức thời của trọng tâm so với nền đất.

Kết quả của thực nghiệm [5] chỉ ra rằng: hệ số tương tác giữa xích và đất μ có thể viết phương trình dưới dạng:

$$\mu = \frac{\mu_x \mu_y}{\sqrt{\mu_x^2 \sin^2 \alpha + \mu_y^2 \cos^2 \alpha}}$$
(11)

Với μ_x , μ_y : giá trị hệ số tương tác giữa xích và đất khi độ dịch của mắt xích có giá trị σ trong hướng dọc và hướng ngang

 α - góc giữa hướng xê dịch của mắt xích và trục dọc của xe.

Trên cơ sở các giá trị thực nghiệm [6] và [7], ta có các biểu thức đối với hệ số tương tác xích và đất như sau:

Đối với đất không liên kết:

$$\mu = \mu_{\max} \left(1 - e^{\frac{-\sigma}{\sigma_0}} \right) \tag{12}$$

Đối với đất liên kết:

$$\mu = \mu_{\max} \left[A e^{-a\sigma/\sigma_1} + \mu_{yct} / \mu_{\max} \right] \left[1 - e^{-\sigma/\sigma_1} \right]$$
(13)

Sự cản khác nhau của đất đối với xê dịch mắt xích trong hướng dọc và hướng ngang tính đến hệ số dị hướng:

$$\lambda = \mu_{y \max} / \mu_{x \max} \tag{14}$$

Như vậy các biểu thức (12) và (13) trong dạng chung đủ để đặc trưng cho tương tác của thành phần bề mặt tựa xích xe với đất. Các biểu thức này tiếp theo sẽ được sử dụng chính khi xác định các thông số lực và động học của chuyển động quay vòng của xe xích.

Giá trị độ dịch của mắt xích trong hướng dọc và hướng ngang σ_x và σ_y được xác định khi nghiên cứu động học của các thành phần bề mặt tựa của xích khi chuyển động quay vòng, và được xác định theo công thức [2]:

$$\sigma_{y^{2}(x)} = \omega / (2V_{02}) \left[(\chi - x)^{2} - \left(\chi - l_{1} - \frac{t_{r}}{2} \right)^{2} \right]$$
(15)

$$\sigma_{y1(x)} = \omega / (2V_{01}) \left[(\chi - x)^2 - \left(\chi - l_1 - \frac{t_r}{2} \right)^2 \right]$$
(16)

$$\sigma_{x2} = \left[\omega\left(\sqrt{\rho_c^2 - \chi^2} + \frac{B}{2}\right) - V_{02}\right] \left(l_1 + \frac{t_r}{2} - x\right) / V_{02}$$
(17)

$$\sigma_{x1} = \left[\omega\left(\sqrt{\rho_c^2 - \chi^2} - \frac{B}{2}\right) - V_{01}\right] \left(l_1 + \frac{t_r}{2} - x\right) / V_{01}$$
(18)

Trong đó:

 $\sigma_{y2(x)}, \sigma_{y1(x)}$ - giá trị xê dịch thành phần bề mặt tựa xích xe trên mặt đường trong hướng ngang so với trục dọc của xe.

 σ_{x2} , σ_{x1} - giá trị xê dịch thành phần bề mặt tựa xích xe trên mặt đường trong hướng dọc.

 ω - vận tốc góc của xe quay quanh tâm quay tức thời O.

 V_{01} , V_{02} - vận tốc cuộn của xích so với thân xe tương ứng trên xích dừng và xích chạy.

 χ - hình chiếu của tâm quay tức thời lên trục x.

 l_1 - khoảng cách từ tâm khối xe đến bánh tỳ đầu tiên.

 t_{r} - bước xích.

 ρ_c - bán kính quỹ đạo chuyển động của trọng tâm xe.

2.3. Xác định các thành phần lực và mô men trên cơ sở tương tác xích - đất

Từ biểu thức (10) có thể viết dưới dạng sau:

$$dR_2 = -\mu(x)q_2(x)dx \tag{19}$$

Với $q_2(x)$ - tải trọng từ trọng lượng của xe trên một đơn vị độ dài của bề mặt tựa xích xe. Dấu trừ chỉ lực tác động lên thành phần bề mặt tựa ngược hướng với vận tốc dịch chuyển của thành phần đó so với mặt đường.

Lực thành phần dọc và ngang của phản lực dR_2 có thể viết:

$$dP_2 = dR_2 \cos\alpha; dS_2 = dR_2 \sin\alpha \tag{20}$$

Hoặc

$$dP_2 = -\mu(x)q_2(x)\cos\alpha dx \tag{21}$$

$$dS_2 = -\mu(x)q_2(x)\sin\alpha dx \tag{22}$$

Với $\cos \alpha = V_{x2} / V_i$, $\sin \alpha = V_{y2} / V_i$

Vận dụng biểu thức (11) vào (21) và (22) ta có:

$$dP_{2} = -q_{2}(x) \frac{\mu_{x2}\mu_{y2}}{\sqrt{\mu_{y2}^{2}V_{x2}^{2} + \mu_{x2}^{2}V_{y2}^{2}}} V_{x2}dx$$
(23)

$$dS_{2} = -q_{2}(x) \frac{\mu_{x2}\mu_{y2}}{\sqrt{\mu_{y2}^{2}V_{x2}^{2} + \mu_{x2}^{2}V_{y2}^{2}}} V_{y2}dx$$
(24)

Giá trị V_{x2} không phụ thuộc vào vị trí của thành phần theo chiều dài bề mặt tựa và thông số động học của chuyển động quay vòng, cùng khi đó giá trị $V_{y2} = \omega(\chi - x)$ được xác định theo tài liệu [2], chính là hàm số các thông số của chuyển động quay vòng của xe. Thay vào biểu thức biểu thức (23), (24) và tích phân lên, ta có:

$$P_{2} = -\int_{i_{n}}^{i_{1}} q_{2}(x) \frac{\mu_{x2}\mu_{y2}}{\sqrt{\mu_{y2}^{2}V_{x2}^{2} + \mu_{x2}^{2}\omega^{2}(\chi - x)^{2}}} V_{x2}dx$$
(25)

$$S_{2} = -\int_{i_{n}}^{i_{1}} q_{2}(x) \frac{\mu_{x2}\mu_{y2}}{\sqrt{\mu_{y2}^{2}V_{x2}^{2} + \mu_{x2}^{2}\omega^{2}(\chi - x)^{2}}} \omega(\chi - x) dx$$
(26)

Với $\dot{l}_1 = l_1 + t_r / 2$, $\dot{l}_n = l_n - t_r / 2$

Momen cản quay vòng thành phần, xác định bởi tương tác giữa xích và mặt đường so với tâm quay tức thời có thể xác định bởi công thức: $dM_c = xdS_2$. Khi đó ta có biểu thức:

$$M_{c2} = -\int_{l_n}^{l_1} q_2(x) \frac{\mu_{x2}\mu_{y2}}{\sqrt{\mu_{y2}^2 V_{x2}^2 + \mu_{x2}^2 \omega^2 (\chi - x)^2}} \,\omega(\chi - x) \,x dx \quad (27)$$

Tương tự đối với xích dừng:

$$P_{1} = -\int_{i_{n}}^{i_{1}} q_{1}(x) \frac{\mu_{x1}\mu_{y1}}{\sqrt{\mu_{y1}^{2}V_{x1}^{2} + \mu_{x1}^{2}\omega^{2}(\chi - x)^{2}}} V_{x1}dx \quad (28)$$

$$S_{1} = -\int_{i_{n}}^{i_{1}} q_{1}(x) \frac{\mu_{x1}\mu_{y1}}{\sqrt{\mu_{y1}^{2}V_{x1}^{2} + \mu_{x1}^{2}\omega^{2}(\chi - x)^{2}}} \omega(\chi - x)dx \quad (29)$$

$$M_{c1} = -\int_{i_{n}}^{i_{1}} q_{1}(x) \frac{\mu_{x1}\mu_{y1}}{\sqrt{\mu_{y1}^{2}V_{x1}^{2} + \mu_{x1}^{2}\omega^{2}(\chi - x)^{2}}} \omega(\chi - x)xdx \quad (30)$$

Trong công thức (25)-(30) định luật phân bố tải trọng theo chiều dài bề mặt tựa xích xe không phụ thuộc vào thông số động học của tương tác giữa xích và mặt đường. Tất cả các đại lượng còn lại được xác định bởi đặc điểm tương tác giữa xích và mặt đường. Khi đó lực P₂, S₂ và momen cản quay vòng M_{C2} được xác định bởi vận tốc quay trượt V_{x2} và xê dịch theo trục dọc χ của tâm quay tức thời, còn lực P₁, S₁, và momen M_{c1} tương tự được xác định bởi vận tốc quay trượt V_{x1} và xê dịch theo trục dọc χ của tâm quay tức thời.

Ta coi rằng phản lực pháp tuyến của các bánh tỳ lên mặt đường chính là tổng của tải trọng lực pháp tuyến thành phần. Từ đó ta suy ra:

$$P_{2} = -\sum_{i=1}^{n} Q_{2i}(x) \frac{\mu_{x2} \mu_{y2}}{\sqrt{\mu_{y2}^{2} V_{x2}^{2} + \mu_{x2}^{2} \omega^{2} (\chi - x)^{2}}} V_{x2}$$
(31)

$$P_{1} = -\sum_{i=1}^{n} Q_{1i}(x) \frac{\mu_{x1} \mu_{y1}}{\sqrt{\mu_{y1}^{2} V_{x1}^{2} + \mu_{x1}^{2} \omega^{2} (\chi - l_{i})^{2}}} V_{x1}$$
(32)

$$S = S_{1} + S_{1} = -\sum_{i=1}^{n} Q_{ii}(x) \frac{\mu_{x1}\mu_{y1}}{\sqrt{\mu_{y1}^{2}V_{x1}^{2} + \mu_{x1}^{2}\omega^{2}(\chi - l_{i})^{2}}} \omega(\chi - l_{i}) - \sum_{i=1}^{n} Q_{2i}(x) \frac{\mu_{x2}\mu_{y2}}{\sqrt{\mu_{y2}^{2}V_{x2}^{2} + \mu_{x2}^{2}\omega^{2}(\chi - l_{i})^{2}}} \omega(\chi - l_{i})$$
(33)

$$M_{c} = M_{c1} + M_{c2} = -\sum_{i=1}^{n} Q_{1i}(x) \frac{\mu_{x1}\mu_{y1}}{\sqrt{\mu_{y1}^{2}V_{x1}^{2} + \mu_{x1}^{2}\omega^{2}(\chi - l_{i})^{2}}} \omega(\chi - l_{i})l_{i} - \sum_{i=1}^{n} Q_{2i}(x) \frac{\mu_{x2}\mu_{y2}}{\sqrt{\mu_{y2}^{2}V_{x2}^{2} + \mu_{x2}^{2}\omega^{2}(\chi - l_{i})^{2}}} \omega(\chi - l_{i})l_{i}$$
(34)

Với n - Số bánh tỳ một bên xe, Q_i - tải trọng pháp tuyến từ bánh tỳ thứ i lên mặt đường, i - số thứ tự bánh tỳ tính từ mũi xe, l_i - khoảng cách từ trọng tâm đến tâm bánh tỳ thứ i.

Xác định định luật phân bố tải trọng pháp tuyến lên bề mặt tựa của xích xe Q_i và biểu thức xác định lực cản chuyển động R₁, R₂ được xác định cụ thể và được đề cập trong tài liệu [2]. Như vậy tất cả các lực có trong hệ phương trình (9) đều xác định được.

3. Kết quả và thảo luân

3.1. Bô số liêu tính toán

Trong bài báo thực hiện tính toán mô hình toán học trên ở các điều kiện ngoại cảnh và chế độ, trạng thái chuyển động khác nhau của xe xích chiến đấu thế hệ mới BMP-3. Thông số về kết cấu của xe được lấy theo tài liệu [8].

Thông số	Giá trị	Đơn vị tính
Khối lượng xe (G)	18700	kG
Công suất cực đại của động cơ (N_{emax})	368	kW
Số vòng quay lớn nhất của động cơ (n_{max})	2880	v/ph
Số vòng quay ổn định nhỏ nhất của động cơ (n_{min})	800	v/ph
Chiều dài cơ sở của xe (L)	7,14	m
Chiều rộng cơ sở của xe (B)	3,23	m
Mô men quán tính (J_z)	0,35	kg.m ²
Số lượng bánh tỳ ở một bên dải xích (n)	6	
Khoảng cách từ trọng tâm xe đến giới hạn phía trước bề mặt tựa của xích (l_1)	3,72	m

Bảng 1. Các thông số xe BMP-3 và nền đường để xây dựng chương trình khảo sát

3.2. Kết quả tính toán

Từ các số liệu ban đầu chạy chương trình Matlab giải hệ phương trình (9), nhận được một số kết quả như sau.



Hình 3. Sự phụ thuộc của mô men cản quay vòng BMP-3 vào vận tốc chuyển động của trọng tâm ở các bán kính quay vòng khác nhau.



Hình 4. Sự phụ thuộc của mô men cản quay vòng tương đối BMP-3 vào vận tốc chuyển động tương đối của trọng tâm ở các bán kính quay vòng khác nhau.



Hình 5. Sự phụ thuộc của mô men cản quay vòng tương đối BMP-3 vào vận tốc chuyển động tương đối của trọng tâm ở các hệ số μ_x khác nhau.



Hình 6. Sự phụ thuộc của mô men cản quay vòng tương đối BMP-3 vào vận tốc chuyển động tương đối của trọng tâm ở các hệ số λ khác nhau.

3.3. Nhận xét

Sự phụ thuộc của momen cản khi quay vòng M_C vào vận tốc chuyển động của trọng tâm xe V_C ở các bán kính quay vòng khác nhau (khi $\mu_x = 1$, $\lambda = 0.8$, $\ddot{x} = 0$) được thể hiện trên Hình 3. Ta có thể thấy ở mỗi bán kính quay vòng khác nhau, khi vận tốc chuyển động tăng, momen cản quay vòng giảm. Khi vận tốc chuyển động của xe nhỏ hơn 0,5 lần vận tốc lớn nhất, momen cản quay vòng sẽ thay đổi không đáng kể ở mọi bán kính quỹ đạo chuyển động. Khi vận tốc chuyển động vượt qua một nửa vận tốc lớn nhất thì sự thay đổi mạnh sẽ xảy ra, giá trị mô men cản quay vòng giảm mạnh.

Xem xét các đại lượng trên ở giá trị tương đối (mô men cản quay vòng tương đối bằng M_c / M_{cmax} , vận tốc tương đối bằng V_c / V_{kp} , với $V_{kp} = \sqrt{\mu_{ymax} g \rho_c}$). Ta có kết quả như trên Hình 4. Ta có thể thấy, mối quan hệ giữa momen cản quay vòng tương đối với vận tốc tương đối thay đổi không đáng kể khi bán kính quay vòng thay đổi.

Như vậy, đối với mặt đường và kết cấu mắt xích cụ thể, momen cản quay vòng tương đối trong hàm vận tốc tương đối không phụ thuộc vào bán kính của quỹ đạo chuyển động.

Tiếp tục tiến hành khảo sát ảnh hưởng thông số mặt đường tới quy luật trên. Sự phụ thuộc của mô men cản quay vòng tương đối vào vận tốc chuyển động tương đối của trọng tâm ở các hệ số μ_x khác nhau (khi $\rho_c = B$, $\lambda = 0.8$, $\ddot{x} = 0$) được thể hiện trên Hình 5. Như vậy, đối với bán kính quay vòng và kết cấu mắt xích cụ thể, mối quan hệ giữa momen cản quay vòng tương đối với vận tốc tương đối thay đổi không đáng kể khi thông số mặt đường thay đổi.

Tiếp tục tiến hành khảo sát ảnh hưởng thông số kết cấu của mắt xích tới quy luật trên. Sự phụ thuộc của mô men cản quay vòng tương đối vào vận tốc chuyển động tương đối của trọng tâm ở các hệ số λ khác nhau (khi $\mu_x = 1$, $\rho_c = B$, $\ddot{x} = 0$) được thể hiện trên Hình 6. Như vậy, đối với bán kính quay vòng và thông số mặt đường cụ thể, mối quan hệ giữa momen cản quay vòng tương đối với vận tốc tương đối thay đổi không đáng kể khi thông số mắt xích thay đổi.

4. Kết luận

Bài báo đã xây dựng được hệ phương trình vi phân chuyển động quay vòng của xe xích quân sự có xét đến sự tương tác giữa xích - đất.

Qua khảo sát mô hình toán học áp dụng trên xe BMP-3, có thể đưa ra một số kết luận:

- Momen cản quay vòng M_c có thể xác định thông qua một hàm với vận tốc chuyển động của trọng tâm xe v_c khi biết bán kính quay vòng ρ_c , thông số mặt đường μ_x và thông số kết cấu của mắt xích λ .

- Đối với mặt đường và kết cấu mắt xích cụ thể, mối quan hệ giữa momen cản quay vòng tương đối với vận tốc tương đối thay đổi không đáng kể khi bán kính quay vòng thay đổi.

 - Ånh hưởng của thông số mặt đường và thông số kết cấu mắt xích tới quy luật trên là không đáng kể.

Điều này sẽ là cơ sở để nghiên cứu, đánh giá xem đâu là giới hạn để xe mất đi tính điều khiển.

Tài liệu tham khảo

- Lê Trung Dũng, Nguyễn Minh Tân, Cù Xuân Phong (2023). Lý thuyết xe xích quân sự, Lần 1, Hà Nội, Nhà xuất bản Quân đội.
- 2. Бекетов С. А (2017). Теория управляемого движения гусеничных машин, Москва.
- 3. Девятовский Ф.А. (1978). Оценка влияния скорости на криволинейное движение и разработка требований к механизмам поворота танка, М.: ВА БТВ.
- 4. Đỗ Sanh (2009). Cơ học kĩ thuật Tập 2 Phần động lực học, Nhà xuất bản Giáo dục.
- 5. Никитин А.О (1952), *Тяговый расчет поворота танка*. Дис. ... д-ра техн.наук. М.: ВА БТВ, Ч. 1. 82 с.
- 6. Васильев А.В. (1969). Докучаева Е.Н. и др, Влияние конструктивных параметров гусеничного трактора на его тягово-сцепные свойства. М.: Машиностроение, 192 с.
- 7. Клейн Г.К (1956). Строительная механика сыпучих тел. М.: Госстройиздат, 348 с.

8. Торопцев И.П. (2001). Баков О.Н. Боевая машина пехоты БМП-3, Пенза.

Building a mathematical model of the rotational motion of a military tracked vehicle, taking into account the track - ground interaction

Abstract: The article presents the theoretical basis for constructing the system of differential equations of rotational motion of military tracked vehicles, studying the track - ground interaction, determine the dependence of the lateral and vertical displacements of the track shoe components on the kinematic parameters of the motion. From there, determine the forces acting in the plane of the track shoe surface based on the speed parameters and radius of the moving orbit. The mathematical model determines the vehicle's ability to move in a specified trajectory mode and motion state.

Keywords: Track - ground interaction; military tracked vehicles; mathematical model; circular motion.

1400

Khảo sát ảnh hưởng của mấp mô mặt đường đến độ êm dịu chuyển động của xe

Phạm Văn Đông¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Độ êm dịu của xe ảnh hưởng trực tiếp đến điều kiện làm việc của người lái, hành khách và hàng hóa trên Xe. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ êm dịu của xe trong quá trình chuyển động như các thông số kết cầu của xe, vận tốc chuyển động và thông số mặt đường. Trong phạm vi bài báo này sẽ nghiên cứu dao động ô tô chỉ huy hai cầu với việc xây dựng hệ phương trình vi phân mô tả dao động. Động lực học dao động của ô tô theo phương thẳng đứng được xem xét dưới sự ảnh hưởng của các yếu tố mấp mô của mặt đường gồm: biên độ mấp mô, tần số mấp mô. Làm cơ sở đánh giá độ êm dịu chuyển động của ô tô thông qua chỉ tiêu về gia tốc dao động của xe theo phương thẳng đứng. Trong bài báo, phần mềm Matlab-Simulink được sử dụng để giải hệ phương trình vi phân và xử lý kết quả tính toán. Các kết quả mô phỏng được so sánh cho các loại kích thích mặt đường khác nhau.

Từ khóa: Hệ thống treo, xe chỉ huy 2 cầu, độ êm dịu, mấp mô mặt đường, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch, tần số biên độ.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, các xe chỉ huy được biên chế trong quân đội tương đối đa dạng, được sản xuất bởi các hãng và tuổi đời khác nhau. Song chúng có điểm chung và cũng là yêu cầu mang tính nguyên tắc đối với xe chỉ huy đó là: Có tính cơ động cao, hoạt động ở các điều kiện địa hình phức tạp như đồi núi, rừng, đồng bằng, ... Trong số các xe chỉ huy được biên chế và sử dụng trong quân đội hiện nay, vẫn còn số lượng rất lớn là các dòng xe của Liên Xô mà nổi bật là dòng xe chỉ huy UAZ. Các dòng xe ô tô chỉ huy UAZ chủ yếu được trang bị hệ thống treo phụ thuộc bao gồm các phần tử hồi là nhíp lá hoặc lò xo, phần tử giảm chấn và phần tử hướng.



Hình 1. Treo trước xe chỉ huy UAZ-3160



Hình 2. Treo sau xe chỉ huy UAZ-3160

Trong những năm qua, việc nghiên cứu về dao động của ô tô nói chung đã được nhiều tác giả thực hiện và đã đạt được những thành tựu nhất định. Đó là cơ sở để đề xuất các biện pháp nâng cao độ êm dịu, tiện nghi cho ô tô.

Các nghiên cứu đã khảo sát ảnh hưởng của thông số kết cấu của hệ thống treo như độ cứng nhíp, hệ số cản của giảm chấn, khối lượng phần treo tới độ êm dịu chuyển động của xe [3]. Nghiên cứu ảnh hưởng của vận tốc và loại đường có biên độ ngẫu nhiên theo tiêu chuẩn ISO-8608 tới độ êm dịu của xe có hệ thống treo khí nén xét trên tiêu chí đánh độ êm dịu là gia tốc bình phương trung bình [4].

Khi xe chuyển động trên đường, có nhiều yếu tố gây ra dao động như: nội lực trong xe, các ngoại lực xuất hiện trong quá trình sử dụng (tăng tốc, phanh, quay vòng), điều kiện ngoại cảnh (gió, bão, mấp mô mặt đường). Trong đó mấp mô của bề mặt đường được coi là nguồn kích thích chính, tác động lên bánh xe qua hệ thống treo gây ra dao động của khối lượng được treo [2]. Chuyển động của ô tô trên bề mặt đường không bằng phẳng sẽ phát sinh các dao động của các khối lượng phần treo và khối lượng phần không được treo của ô tô. Vì vậy, nghiên cứu này sẽ trình bày mô hình dao động của ô tô chỉ huy dòng UAZ khi chuyển động do ảnh hưởng của mấp mô mặt đường có biên độ dạng hàm điều hòa (biên độ mấp mô, tần số mấp mô), bởi vì chiều cao mấp mô của biên dạng đường tại vị trí tiếp xúc của bánh xe với đường sẽ tham gia vào vế phải của phương trình vi phân mô tả chuyển động dao động của hệ. Xác định vùng cộng hưởng và vùng tối ưu dao động của xe.

2. Khảo sát dao động xe xe ô tô chỉ huy

2.1. Xây dựng mô hình dao động xe ô tô chỉ huy

2.1.1. Mô hình vật lý

Ô tô chỉ huy có thể coi là một cơ hệ gồm nhiều khối lượng (thân vỏ, trục, bánh xe, động cơ, hệ thống truyền lực), có mối liên hệ phức tạp thông qua các khớp hoặc các phần tử đàn hồi và giảm chấn, các khối lượng này thường chia thành khối lượng được treo và khối lượng không được treo.

Để nghiên cứu dao động ô tô phải đặt nó trong tổng thể hệ thống "Đường- xe- người" và thiết lập mô hình vật lý mô tả dao động, sử dụng các quy luật vật lý, toán học để thiết lập hệ phương trình vi phân dao động sau đó ứng dụng máy tính để giải phương trình vi phân tìm đáp ứng của hệ dao động trong miền thời gian và miền tần số. Một số mô hình vật lý điển hình để nghiên dao động phải kể đến là mô hình 1/4, mô hình phẳng và mô hình không gian. Trong nghiên cứu này, tác giả xây dựng mô hình phẳng hệ 3 khối lượng để khảo sát dao động của xe (Hình 3) với các giả thiết được trình bày cụ thể trong tài liệu [1].



Hình 3. Mô hình dao động phẳng ô tô chỉ huy 2 cầu

Trong đó:

a, b: Khoảng cách từ vị trí trọng tâm xe đến tâm cầu trước và tâm cầu sau;

L- chiều dài cơ sở của xe; z chuyển dịch của trọng tâm xe theo phương thẳng đứng của trục O_z;

 $\phi\text{-}$ góc chuyển dịch của thân xe quay quanh trục O_y ;

 ξ_{1}, ξ_{2} - các chuyển dịch khối lượng phần không treo ;

q1, q2- kích thích động học lên bánh trước và bánh sau; M- khối lượng quy dẫn về trọng tâm phần treo;

m1, m2 - khối lượng phần không treo trước và sau;

Jy - mô men quán tính khối lượng phần treo;

K₁, K₂ - hệ số cản giảm chấn treo trước và treo sau;

C_{P1}, C_{P2} - hệ số đàn hồi của phần tử đàn hồi trước và sau;

K_{L1}, K_{L2} - hệ số cản của lốp trước và sau;

CL1, CL2 – hệ số đàn hồi lốp trước và sau.

2.1.2. Mô hình toán học

Hệ dao động có 4 bậc tự do với 4 tọa độ suy rộng z, φ , ξ_1 , ξ_2 . Sử dụng phương trình Lagrange loại II, thu được mô hình toán học tương ứng như sau:

$$\begin{cases} m_{1} \dot{\xi}_{1}^{*} + (K_{1} + K_{L1}) \dot{\xi}_{1}^{*} + (C_{p1} + C_{L1}) \dot{\xi}_{1} - K_{1} \dot{z} - C_{p1} z \\ -K_{1} . a. \dot{\phi} - C_{p1} . a. \phi = K_{L1} . \dot{q}_{1} + C_{L1} . q_{1} \\ m_{2} . \ddot{\xi}_{2}^{*} + (K_{2} + K_{L2}) . \dot{\xi}_{2}^{*} + (C_{p2} + C_{L2}) . \xi_{2}^{*} - K_{2} . \dot{z} - C_{p2} . z - K_{2} . b. \dot{\phi} \\ -C_{p2} . b. \phi = K_{L2} . \dot{q}_{2} + C_{L2} . q_{2} \\ M . \ddot{z}^{*} + (K_{1} + K_{2}) . \dot{z}^{*} + (C_{p1} + C_{p2}) . z + (K_{1} . a - K_{2} . b) \dot{\phi} \\ + (C_{p1} . a - C_{p2} . b) . \phi - K_{1} . \dot{\xi}_{1}^{*} - C_{p1} . \xi_{1}^{*} - K_{2} . \dot{\xi}_{2}^{*} - C_{p2} . \xi_{2}^{*} = 0; \\ J_{y} \ddot{\phi}^{*} + (K_{1} . a^{2} + K_{2} . b^{2}) . \dot{\phi}^{*} + (C_{p1} . a^{2} + C_{p2} . b^{2}) . \phi + (K_{1} . a - K_{2} . b) . \dot{z} \\ + (C_{p1} . a - C_{p2} . b) . z - K_{1} . a . \dot{\xi}_{1}^{*} - C_{p1} . a . \xi_{1}^{*} + K_{2} . b . \dot{\xi}_{2}^{*} + C_{p2} . b . \xi_{2}^{*} = 0; \end{cases}$$

$$z = \frac{z_2 \cdot a + z_1 \cdot b}{L}, \varphi = \frac{z_2 - z_1}{L}$$
(2)

Sử dụng công thức biến đổi tọa độ (2), hệ phương trình vi phân thu được như sau:

$$\begin{cases} M_{1}.\ddot{z}_{1} + K_{1}.\dot{z}_{1} + C_{P1}.z_{1} + M_{3}.\ddot{z}_{2} - K_{1}.\dot{\xi}_{1} - C_{P1}.\xi_{1} = 0 \\ M_{2}.\ddot{z}_{2} + K_{2}.\dot{z}_{2} + C_{P2}.z_{2} + M_{3}.\ddot{z}_{1} - K_{2}.\dot{\xi}_{2} - C_{P2}.\xi_{2} = 0 \\ m_{1}.\ddot{\xi}_{1} + K_{1}.\dot{\xi}_{1} + (C_{P1} + C_{L1}).\xi_{1} - K_{1}.\dot{z}_{1} - C_{P1}.z_{1} = C_{L1}.q_{1} \\ m_{2}.\xi_{2} + K_{2}.\dot{\xi}_{2} + (C_{P2} + C_{L2}).\xi_{2} - K_{2}.\dot{z}_{2} - C_{P2}.z_{2} = C_{L2}.q_{2} \end{cases}$$
(3)

$$M_{1} = M \cdot \frac{b^{2} + \rho_{y}^{2}}{L^{2}}, \ M_{2} = M \cdot \frac{a^{2} + \rho_{y}^{2}}{L^{2}}, \ M_{3} = M \cdot \frac{a \cdot b - \rho_{y}^{2}}{L^{2}}$$
(4)

Chọn hàm kích động từ mặt đường:

$$q_1 = q_0.\sin(\omega t); q_2 = q_0.\sin[\omega(t - L/V)]$$
 (5)

2.2. Xây dựng chương trình khảo sát

Sử dụng phần mềm Matlab (Matrix Laboratory) của hãng MathWorks Inc để tiến hành khảo sát dao động trên loại đường cụ thể, và đánh giá ảnh hưởng các thông số kết cấu tới đặc tính dao động.

Để khảo sát trên miền thời gian có nhiều phương pháp như sử dụng không gian trạng thái, hạ bậc hệ phương trình vi phân, hoặc sử dụng phương pháp số Runge-Kutta. Trong bài

báo này, sử dụng phương pháp hạ bậc, đưa hệ phương trình vi phân cấp 2 về hệ phương trình vi phân cấp 1. Đặt biến như sau :

$$y_{1} = z_{1}; \qquad y_{2} = \dot{z}_{1}; \qquad \dot{y}_{2} = \ddot{z}_{1} y_{3} = z_{2}; \qquad y_{4} = \dot{z}_{2}; \qquad \dot{y}_{4} = \ddot{z}_{2} y_{5} = \xi_{1}; \qquad y_{6} = \dot{\xi}_{1}; \qquad \dot{y}_{6} = \ddot{\xi}_{1} y_{7} = \xi_{2}; \qquad y_{8} = \xi_{2}; \qquad \dot{y}_{8} = \xi_{2}$$
(6)

$$\dot{y}_{1} = y_{2}; \ \dot{y}_{2} = \frac{1}{M_{1}} \Big(K_{1} \cdot y_{6} + C_{p1} \cdot y_{5} - K_{1} \cdot y_{2} - C_{p1} \cdot y_{1} - M_{3} \cdot \dot{y}_{4} \Big)$$

$$\dot{y}_{3} = y_{4}; \ \dot{y}_{4} = \frac{1}{M_{2}} \Big(K_{2} \cdot y_{8} + C_{p2} \cdot y_{7} - K_{2} \cdot y_{4} - C_{p2} \cdot y_{3} - M_{3} \cdot \dot{y}_{2} \Big)$$

$$\dot{y}_{5} = y_{6};$$

$$\dot{y}_{6} = \frac{1}{m_{1}} \Big[\Big(K_{L1} \cdot \dot{q}_{1} + C_{L1} \cdot q_{1} + K_{1} \cdot y_{2} + C_{p1} \cdot y_{1} - (K_{1} + K_{L1}) \cdot y_{6} - (C_{p1} + C_{L1}) \cdot y_{5} \Big]$$

$$\dot{y}_{7} = y_{8};$$

$$\dot{y}_{8} = \frac{1}{m_{2}} \Big[\Big(K_{L2} \cdot \dot{q}_{2} + C_{L2} \cdot q_{2} + K_{2} \cdot y_{4} + C_{p2} \cdot y_{3} - (K_{2} + K_{L2}) \cdot y_{8} - (C_{p2} + C_{L2}) \cdot y_{7} \Big]$$

$$(7)$$

ТТ	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Khối lượng phần treo	М	kg	2070
2	Chiều dài cơ sở	L	m	2,4
3	Khối lượng không treo phân bố lên cầu trước	m_1	kg	210
4	Khối lượng không treo phân bố lên cầu sau	m ₂	kg	200
5	Độ cứng treo trước	C_{p1}	kN/m	45
6	Độ cứng treo sau	C _{p2}	kN/m	55
7	Độ cứng lốp trước và sau	C_{L}	kN/m	350
8	Độ cản treo trước khi nén	K _{Tn}	kN.s/m	2,4
9	Độ cản treo trước khi trả	K _{Tt}	kN.s/m	7,8
10	Độ cản treo sau khi nén	K _{Sn}	kN.s/m	2,4
11	Độ cản treo sau khi trả	K _{St}	kN.s/m	7,8
12	Góc nghiêng của giảm chấn so với phương thẳng đứng	α1	Độ	20

Bảng 1: Thông số kết cấu hệ thống treo của xe chỉ huy UAZ-3160

3. Khảo sát dao động và đánh giá ảnh hưởng của mấp mô đường đến dao động của ô tô chỉ huy

3.1. Đánh giá kết quả khảo sát dao động



Hình 4. Chuyển dịch 2 cầu xe khi mấp mô mặt đường $q_0 = 20$ mm



Hình 5. Vận tốc chuyển dịch 2 cầu xe khi mấp mô mặt đường $q_0 = 20mm$



Hình 6. Gia tốc chuyển dịch 2 cầu xe khi mấp mô mặt đường $q_0 = 20mm$

Nhận xét: Nhìn chung, khi chuyển động do ảnh hưởng của mấp mô mặt đường có biên độ dạng hàm điều hòa hình sin thì chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch cũng

1405

có dạng hình sin. Tuy nhiên, có thể giá trị ban đầu khác 0 do phụ thuộc vào điều kiện đầu của giá trị xét. Đồng thời, một vài dao động đầu tiên do chưa ổn định nên

3.2. Đánh giá ảnh hưởng của mấp mô mặt đường đến độ êm dịu chuyển động của xe ô tô chỉ huy

3.2.1. Ảnh hưởng của biên độ mấp mô mặt đường

Để đánh giá sự ảnh hưởng của biên độ mấp mô mặt đường đến dao động của xe ô tô UAZ - 3160, nghiên cứu này đã tiến hành thay đổi biên độ mấp mô mặt đường và xây dựng các đồ thị chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch của 2 cầu xe trên miền thời gian. Các đồ thị với các giá trị khác nhau của mấp mô mặt đường $q_{01} = 20$ mm, $q_{02} = 30$ mm, $q_{03} = 40$ mm ở dải tốc độ v = 40km/h và bước sóng mấp mô mặt đường s = 6000mm được thể hiện trên Hình 7, Hình 8, Hình 9.



Hình 7. Chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch khi q = 20mm



Hình 8. Chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch khi q = 30mm



Hình 9. Chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch khi q=40mm

3.2.2. Ảnh hưởng của bước sóng mấp mô mặt đường

Để đánh giá sự ảnh hưởng của bước sóng mấp mô mặt đường đến dao động của xe ô tô UAZ - 3160, nghiên cứu này đã tiến hành thay đổi bước sóng mấp mô mặt đường và xây dựng các đồ thị chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch của 2 cầu xe trên miền thời gian. Các đồ thị với các giá trị khác nhau của bước sóng mấp mô mặt đường $s_1 = 4000$ mm, $s_2 = 50000$ mm, $s_3 = 6000$ mm ở dải tốc độ v = 50km/h và mấp mô mặt đường $q_0 = 30$ mm, được thể hiện trên Hình 10, Hình 11, Hình 12.



Hình 10. Chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch khi s = 4000mm



Hình 11. Chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch khi s = 5000mm



Hình 12. Chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch khi s = 6000mm

3.2.3. Ảnh hưởng của vận tốc chuyển động của xe

Để đánh giá sự ảnh hưởng của vận tốc chuyển động đến dao động của xe ô tô UAZ - 3160, nghiên cứu này đã tiến hành thay đổi vận tốc chuyển động và xây dựng các đồ thị chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch của 2 cầu xe trên miền thời gian. Các đồ thị với các giá trị khác nhau của vận tốc chuyển động v₁=40km/h,v₂=50km/h, v₃=60km/h trên mặt đường có mấp mô mặt đường q₀=30mm, bước sóng s=5000mm được thể hiện trên hình 13, hình 14, hình 15.



Hình 13. Chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch khi v = 40 km/h



Hình 14. Chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch khi v = 50 km/h



Hình 15. Chuyển dịch, vận tốc chuyển dịch, gia tốc chuyển dịch khi v = 60 km/h



Hình 16. Đặc tính tần số biên độ gia tốc của khối lượng treo xe UAZ-3160

4. Kết luận

Bài báo này đã tiến hành xây dựng mô hình phẳng tính toán dao động của xe ô tô chỉ huy UAZ-3160, qua đó cho phép xác định các thông số đặc trưng quá trình dao động của xe. Kết quả chỉ ra rằng, ...

Bài báo cũng đã tiến hành khảo sát và đánh giá ảnh hưởng của các thống số mấp mô mặt đường như: biên độ mấp mô, tần số mấp mô đến độ êm dịu chuyển động của xe. Kết quả là xây dựng được chương trình tính toán cho thấy sự ảnh hưởng phức tạp của các thông số mấp mô mặt đường đến độ êm dịu chuyển động của xe. Đây là cơ sở để đưa ra các khuyến cáo cho việc khai thác, vận hành xe chỉ huy đảm bảo thỏa mãn các chỉ tiêu về độ êm dịu chuyển động trên các loại đường khác nhau.

Tài liệu tham khảo

- 1. Vũ Đức Lập (2011). Dao động ô tô, Hà Nội, NXB Quân đội nhân dân.
- Nguyễn Phúc Hiểu, Vũ Đức Lập (2002). Lý thuyết ô tô quân sự, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân.
- Nguyễn Bắc Sơn, Cù Xuân Phong (2023). Nghiên cứu đánh giá độ êm dịu chuyển động của xe thiết giáp bánh lốp sản xuất tại Việt Nam, Hà Nội, Hội nghị khoa học các nhà nghiên cứu trẻ, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- 4. Đặng Việt Hà (2021). Nghiên cứu ảnh hưởng của vận tốc và loại đường tới độ êm dịu của ô tô khách trang bị hệ thống treo khí nén, Hội nghị KH&CN Cơ khí động lực, Đại học Hàng hải.

- 5. Nguyễn Đăng Quý (2021). *Tire-road separation time reduction by an adaptive pid controller utilizing particle swarm optimization algorithm*, SAE International Journal of Commercial Vehicles.
- 6. Nguyễn Đăng Quý, Sina Milani, Hormoz Marzbani, Reza Nakhaie Jazar (2022). Vehicle vibrations analysis of the quarter-car model considering tire-road separation, SAE International Journal of Commercial Vehicles.
- Nguyễn Đăng Quý, Võ Quốc Đại, Sina Milani, Hormoz Marzbani, Reza Nakhaie Jazar (2016). Vibration analysis of the bicycle-car model considering tire-road separation, Tạp chí quốc tế về nghiên cứu và phát triển khoa học tập 4.
- 8. Nguyễn Đăng Quý, Sina Milani, Hormoz Marzbani, Najiullah Hussaini, Hamid Khayyam, Firoz Alam, Mohammad Fard, Reza Jazar (2022). *Vehicle ride analysis considering tire-road separation*, Journal of Sound and Vibration.
- 9. Nguyễn Đăng Quý, Reza Jazar (2022). *Numerical Simulation and Experimental validation of the Tire-Road Separation in Quarter-car Model*, 16th International Conference on Automotive and Mechanical Engineering ICAME.

Research the effects of road surface tissues smoothness of motion of military vehicles

Abstract: The smoothness of the vehicle directly affects the working conditions of the driver, passengers and goods on the vehicle. There are many factors that affect the vehicle's smoothness during motion such as the vehicle's structural parameters, moving speed and road surface parameters. Within the scope of this article, we will study the vibration of two-wheel drive cars with the construction of a system of differential equations describing the vibration. The oscillation dynamics of a car in the vertical direction is considered under the influence of bumpy factors of the road surface including: bump amplitude, bump frequency. Serves as a basis for evaluating the smoothness of a car's motion through the indicator of the vehicle's oscillating acceleration in the vertical direction. In the article, Matlab-Simulink software is used to solve the system of differential equations and process the calculation results. The simulation results are compared for different types of pavement excitations.

Keywords: Suspension system, 4-wheel drive vehicle, smoothness, bumpy road surface, transition speed, transition acceleration, amplitude frequency.

Khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu của vòi phun kiểu air-blast ly tâm đến cấu trúc tia phun

Phùng Văn Được¹, Phạm Văn Thìn¹, Phạm Xuân Phương¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Các thông số kết cấu của vòi phun kiểu air-blast ly tâm có ảnh hưởng đến sự hình thành và phát triển của tia phun. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu bằng thực nghiệm nhằm khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu đến cấu trúc tia phun của vòi phun kiểu air-blast ly tâm. Các thông số kết cấu của vòi phun kiểu air-blast ly tâm được lựa chọn để khảo sát bao gồm đường kính buồng tạo xoáy chất lỏng, đường kính lỗ vòi phun và góc nghiêng của cánh tạo xoáy dòng không khí. Kết quả nghiên cứu của bài báo là cơ sở cho việc đưa ra giải pháp thay đổi kết cấu để nâng cao chất lượng quá trình phân rã tia phun, do đó tăng hiệu suất quá trình cháy và hiệu suất có ích của động cơ.

Từ khóa: Kích thước giọt chất lỏng, vòi phun kiểu air-blast ly tâm, shadowgraph, xử lý ảnh bằng Matlab.

1. Đặt vấn đề

Hầu hết các nghiên cứu về đặc tính của tia phun được thực hiện khi không có quá trình cháy hoặc là đốt cháy các giọt riêng lẻ [1]. Những kết quả này là rất hữu ích trong viêc xác đinh hiệu suất của các loại vòi phun nói chung và của vòi phun nhiên liệu nói riêng. Quá trình đốt cháy của nhiên liệu trong buồng cháy phụ thuộc vào loại nhiên liệu, kích thước và phân bố kích thước của giọt nhiên liệu, thành phần khí, nhiệt độ và áp suất xung quanh. Các thông số này có thể ảnh hưởng tới sư truyền nhiệt, khối lượng và động lượng cũng như các phản ứng hóa học xảy ra trong quá trình cháy. Việc xác định phân bố kích thước của các giọt chất lỏng tại các vị trí khác nhau của tia phun cũng như trong buồng cháy là rất cần thiết. Tuy nhiên, quá trình xác định phân bố kích thước giọt chất lỏng trong tia phun gặp những khó khăn như: (1) mật độ các giot hình thành trong quá trình phân rã tia phun là rất lớn, (2) vân tốc trươt giữa các giot với dòng khí xung quanh lớn; (3) cấu trúc các giot trong vùng cân vòi phun thay đổi ngẫu nhiên và rất nhanh theo thời gian; (4) phân bố kích thước trong một giải rộng (tỷ lệ giữa kích thước lớn nhất và nhỏ nhất của các giọt thường lớn hơn 100:1); và (5) kích thước của các giọt thay đổi theo thời gian do việc bay hơi, ngưng tụ, hoặc có thể kết hợp với các giọt khác. Đặc biệt là trên các vòi phun sử dung các dòng môi chất là đa pha như vòi phun kiểu air-blast ly tâm. Khi đó, sư tương tác giữa các dòng môi chất gây ra rất nhiều khó khăn cho quá trình xác định phân bố kích thước cũng như các thông số đặc trưng khác của cấu trúc tia phun.

Hiện nay, việc xác định kích thước giọt chất lỏng có thể thực hiện bằng các phương pháp thực nghiệm khác nhau như cơ học, điện và quang học. Trong đó, phương pháp sử dụng các hệ thống quang học được phát triển và phổ biến nhất trong thời gian gần đây [2]. Trong các phương pháp quang học thì kỹ thuật phân tích hạt pha Doppler (PDA) là kỹ thuật có độ chính xác cao nhất trong xác định các thông số đặc trưng của tia phun. Tuy nhiên, PDA là một hệ thống rất phức tạp, giá thành cao và không xác định được chính xác đối với các giọt chất lỏng không có dạng hình cầu [3]. Ngoài ra còn có một số kỹ thuật khác được sử dụng trong xác định kích thước của các giọt chất lỏng là kỹ thuật chụp và xử lý hình ảnh kỹ thuật số. Các nghiên cứu [4-6] còn cho thấy rằng độ chính xác của các kỹ thuật này có thể ngang bằng với PDA. Sự cải thiện về độ phân giải của hình ảnh, độ nhạy của hệ thống cũng như giá thành rẻ cũng là các nguyên nhân làm các kỹ thuật này ngày càng được sử dụng rộng rãi. Một trong các kỹ thuật được sử dụng phổ biến và được sử dụng trong bài báo này là kỹ thuật shadowgraph.

Từ các hình ảnh chụp được, nhóm nghiên cứu lựa chọn xây dựng chương trình phân tích, xử lý hình ảnh và xác định các thông số trên phần mềm Matlab. Matlab là một công cụ tính toán rất mạnh trong kỹ thuật, đặc biệt là các bài toán về ma trận. Đây lại là đối tượng rất thích hợp cho việc biểu diễn hình ảnh, trong đó, mỗi phần tử của ma trận biểu diễn dữ liệu màu hoặc mức xám của một điểm ảnh. Công cụ Image Processing toolbox cho phép sử dụng các phép toán của ma trận để tác động lên các dữ liệu của hình ảnh. Một số kỹ thuật xử lý hình ảnh nâng cao như cắt, thay đổi kích thước, khử nhiễu, xóa mờ và làm sắc nét hình ảnh. Ngoài ra, các hàm trong Matlab thực hiện rất tốt và nhanh với các phép toán phức tạp như tích chập, lọc và đảo ma trận. Đây là các hàm trung tâm của các phép lọc, biến đổi theo miền thời gian và tần số trong xử lý ảnh. Chức năng này đã được tối ưu hóa để giúp các công cụ trong Matlab trở nên nhanh hơn và hiệu quả hơn so với các phần mềm khác.

2. Xây dựng hệ thống thử nghiệm

Hệ thống thử nghiệm trong nghiên cứu này sử dụng kỹ thuật shadowgraph nhằm xác định kích thước của các giọt chất lỏng trong tia phun (Hình 1). Kỹ thuật shadowgraph được thực hiện bằng cách hướng một chùm tia sáng (LED hoặc laser) song song qua đối tượng đo, bóng của đối tượng được camera hướng đồng trục và ngược chiều với nguồn sáng ghi lại [7]. Kỹ thuật này cho phép quan sát được cấu trúc của các giọt chất lỏng có kích thước nhỏ đến 5 µm [7, 8]. Hệ thống thử nghiệm bao gồm các bộ phận chính là: camera tốc độ cao Photron FASTCAM Mini AX100 và ống kính chuyên dụng có nhiệm vụ chụp lại hình ảnh của cấu trúc tia phun theo các khung hình mong muốn; nguồn sáng LED Lightspeed HPLS-36DD18B và thiết bị cấp xung cho nguồn sáng có nhiệm vụ tạo ra chùm tia sáng có tần số và độ dài xung phù hợp chiếu qua tia phun; máy tính có tốc độ xử lý cao để vận hành các hệ thống cũng như thu thập và xử lý số liệu thu được. Camera và nguồn sáng được kết nối, đồng bộ tín hiệu tại tốc độ chụp 20000 fps và tần số phát xung là 20000 Hz. Ngoài ra, hệ thống thử nghiệm cũng có các thành phần khác như hệ thống cung cấp chất lỏng, hệ thống cung cấp không khí, bàn quang học và các giá đỡ điều chỉnh vòi phun, camera, nguồn sáng.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống thử nghiệm xác định kích thước giọt chất lỏng bằng kỹ thuật shadowgraph.



Hình 2. Kết cấu và kích thước cơ bản của vòi phun tương đương.

Vòi phun được sử dụng trong quá trình nghiên cứu là vòi phun tương đương với vòi phun kiểu air-blast ly tâm của động cơ hơi nước - ga lắp trên ngư lôi 53VA. Mô hình vòi phun tương đương được xây dựng dựa trên các thông số kết cấu và vận hành của vòi phun thực trên động cơ và được trình bày trong [9]. Dòng chất lỏng trước khi phun ra khỏi lỗ vòi phun được tạo xoáy trong khoang tạo xoáy. Dòng không khí được thổi đồng trục với dòng chất lỏng và tạo xoáy bởi bộ tạo xoáy khí. Tương tác giữa dòng chất khí với tốc độ cao với dòng chất lỏng phun ra từ lỗ vòi phun với tốc độ thấp giúp quá trình phân rã tia phun thành các giọt chất lỏng có kích thước nhỏ. Quá trình làm việc của vòi phun, chênh lệch áp suất trước và sau vòi phun và lưu lượng của dòng chất lỏng là 0,2 MPa và 3,32 g/s, của dòng không khí là 0,232 MPa và 28,22 g/s. Kết cấu và các kích thước cơ bản của vòi phun tương đượng được thể hiện như trên Hình 2.

Các vị trí chụp ảnh và hình ảnh đặc trưng tại các vị trí này trên vòi phun kiểu air-blast ly tâm được thể hiện như trên Hình 3.



Hình 3. Hình ảnh được chụp ở các vị trí khác nhau của vòi phun kiểu air-blast ly tâm.

Trong nghiên cứu này, chất lỏng và chất khí được sử dung là nước và không khí. Giả thiết rằng nhiệt đô của dòng chất lỏng và chất khí là không đổi và bằng 30°C. Tại nhiệt độ này và áp suất mội trường được phụn vào bằng áp suất khí quyển, đặc tính vật lý của dòng chất lỏng và khí được thể hiện như trong Bảng 1. Việc sử dụng nước trong tính toán và nghiên cứu ban đầu về quá trình hình thành và phân rã của tia phun là phù hợp với thông lê trên thế giới bởi các lý do như các đặc tính của nước được công bố rất chi tiết, phổ biến, rẻ và an toàn. Sự khác biệt về đặc tính vật lý của các dòng chất lỏng và khí được tính đến khi sử dụng các hệ số không thứ nguyên như We, Re và Oh để điều chỉnh chế độ phun. Các hệ số này được tính toán với các đặc tính vật lý được giả thiết không đổi ở bên ngoài môi trường tia phun được phun vào. Trong các nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả sẽ sử dụng nhiên liệu là Kerosene trên hệ thống thử nghiệm và chương trình đã được xây dưng này.

Bang 1. Đặc tình vật lý của dong chất long và khi [10, 11].					
	Khối lượng riêng,	Độ nhớt động lực học,	Sức căng bề mặt,		
i en moi chat	[kg/m ³]	[m ² /s]	[N/m]		
Nước	995,65	8,0 x 10 ⁻⁵	0,0712		
Không khí	1,15	1,6 x 10 ⁻⁵	-		

3. Xây dựng chương trình xử lý ảnh và xác định kích thước của các giọt chất lỏng

Thuật toán được nhóm tác giả sử dụng trong quá trình hiệu chỉnh độ sáng và cải thiện chất lượng hình ảnh là thuật toán được Otsu đưa ra trong [12]. Sau khi sử dụng hàm nhị phân, hình ảnh có tối đa 256 mức xám được chuyển đổi thành hình ảnh đen trắng, đây là đinh dang giúp cho viêc nhân dang đối tương dễ hơn. Các nhiễu xuất hiên trên hình ảnh trong quá trình ghi và truyền dữ liêu được lọc bằng các thuật toán phi tuyến. Ở giữa vùng được hình thành do giọt chất lỏng do có thành phần khúc xa ánh sáng ở gần trục nên thường tạo thành một điểm có cường độ sáng cao hơn. Hàm binarization được sử dụng để điền đầy các lỗ này. Các giot không hoàn chỉnh là các giot có một hoặc nhiều biên là rìa của khung ảnh, các ảnh này sẽ bị loại bỏ trong quá trình xử lý ảnh.

Việc hiệu chuẩn hệ thống thử nghiệm và kết quả xử lý dữ liệu được thực hiện bằng cách chup ảnh tĩnh của các kết cấu có hình dang và kích thước xác đinh. Từ các kích thước này sẽ xác định được tỷ lệ giữa kích thước của vật thực và kích thước của đối tượng trên hình ảnh. Vật mẫu được dịch chuyển dọc theo phương của camera và thấu kính với bước là 1 mm để xác định ảnh hưởng của độ mờ hoặc mất nét đến kích thước của hình ảnh thu được. Hình ảnh thu được của vật mẫu có đường kính 1200µm tại các vi trí khác nhau được thể hiên như trên Hình 4.



1414

Hình 4. Hình ảnh chụp của vật mẫu khi dịch chuyển dọc theo phương của camera và thấu kính.
a: Đúng tiêu cự; b: Lệch 1 mm; c: Lệch 2 mm; d: Lệch 3 mm; e: Lệch 4 mm; f: Lệch 5 mm.

Hình ảnh của các vùng có đường biên bao xung quanh bị mờ hoặc mất nét có thể dẫn tới việc xác định kích thước giọt là lớn hơn thực tế. Để có kết quả chính xác hơn, các giọt có đường biên mờ hoặc mất nét có sai số đo lớn hơn 5% sẽ được loại bỏ. Sau các bước xử lý trước hình ảnh này, các đối tượng còn lại được xác định trong hình ảnh được coi là các giọt chất lỏng trong thực tế. Đường kính của giọt chất lỏng (D_p) được xác định theo diện tích của nó trên hình ảnh (A_p) :

$$D_p = 2\sqrt{\frac{A_p}{\pi}} \tag{1}$$

Tại vùng cận vòi phun, các khối chất lỏng thu được có thể có hình dạng ngẫu nhiên khác với dạng khối cầu. Nếu sử dụng các tính toán trên để xác định các thông số của các khối chất lỏng này tương tự như khối cầu thì sẽ gây ra những sai số nhất định. Để hạn chế những sai số này, cần phải tách các khối chất lỏng dạng này thành các khối chất lỏng tương đương với khối cầu. Khi đó, đường biên của các đối tượng được xác định và chia hình ảnh thành các vùng được tạo thành từ các pixel. Nội dung này sẽ được thực hiện ở các nghiên cứu tiếp theo.

4. Kết quả và thảo luận

Biểu đồ phân bố kích thước của các giọt chất lỏng tại các vị trí 4, 6, 7, 8 và 9 được thể hiện như trên Hình 5. Tại các vị trí 1, 2, 3 và 5 do có mật độ giọt chất lỏng quá lớn và xuất hiện các khối chất lỏng có hình dạng kỳ dị nên trong bài báo này chưa đưa ra được kết quả xác định kích thước của các giọt chất lỏng. Kết quả cho thấy sự phân bố kích thước giọt gần giống nhau tại các vị trí khảo sát. Số lượng giọt chất lỏng thu nhận được tại các vị trí có giá trị trong khoảng từ 8000 đến 40000. Kích thước mẫu này đảm bảo độ tin cậy và chính xác cho phép đo kích thước giọt chất lỏng được hình thành trong tia phun như đã chỉ ra trong các công trình [2, 13-15]. Phạm vi kích thước của các giọt chất lỏng có phân bố lớn nằm trong khoảng từ 0 đến 50µm. Ngoài ra, thông tin về phân bố kích thước, đặc biệt đối với các giọt nhỏ (ví dụ từ 1 đến 10µm) sẽ cần được nghiên cứu thêm để có kết luân cu thể hơn. Pham vi này nằm trong giới han đô phân giải của hê thống thử nghiêm.





Đường kính trung bình của các giọt chất lỏng tại các vị trí 4, 6, 7, 8 và 9 thay đổi trong khoảng từ 29,8 đến 49,2 µm (Hình 6). Giá trị của độ sai lệch được tính với độ tin cậy 95% (*error bar* = $1,96\frac{SD}{\sqrt{m}}$, trong đó *SD* là độ lệch chuẩn và *m* là số lượng mẫu trong tập dữ liệu). Các kết quả thu được cho thấy, đường kính trung bình của giọt chất lỏng có xu hướng giảm tại các vị trí xa lỗ vòi phun hơn theo phương hướng trục. Điều này là do các giọt chất lỏng tiếp tục bị phá vỡ để tạo thành các giọt nhỏ hơn trong quá trình chuyển động ra xa lỗ vòi phun. Tuy nhiên, khi càng cách xa lỗ vòi phun thì chúng càng gần đạt tới trạng thái ổn định nên xu hướng giảm là ít hơn. Tại cùng một mặt cắt ngang, đường kính trung bình của các giọt chất lỏng có xu

hướng giảm tại các vị trí xa trục của tia phun hơn. Điều này là do ở rìa ngoài của tia phun, các giọt chất lỏng chịu sự tương tác mạnh hơn của dòng không khí và làm chúng mất ổn định hơn. Cùng với đó, sự chênh lệch áp suất giữa bên trong và bên ngoài tia phun cũng đẩy các giọt có kích thước lớn hơn vào gần với tâm tia phun.



Hình 6. Đường kính trung bình của giọt chất lỏng tại các vị trí và theo công thức dự đoán của [16].

Trên Hình 6 cũng thể hiện giá trị đường kính trung bình của các giọt chất lỏng theo công thức dự đoán được xây dựng trong [16] với vòi phun có kết cấu và điều kiện làm việc tương tự. Kết quả cho thấy việc áp dụng theo công thức dự đoán đường kính trung bình của các giọt chất lỏng được El-Shanawany và Lefebvre đưa ra cho giá trị nhỏ hơn một chút so với thực nghiệm. Các nghiên cứu trong thời gian tới của nhóm sẽ khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu và vận hành đến các thông số đặc trưng của tia phun. Từ đó đề xuất các hệ số hiệu chỉnh nhằm xây dựng một công thức cho phép dự đoán chính xác hơn về đường kính trung bình của các giọt chất lỏng trong tia phun của vòi phun kiểu air-blast ly tâm.

5. Kết luận

Bằng chương trình xử lý hình ảnh được xây dựng trong phần mềm Matlab, nhóm nghiên cứu đã xác định được kích thước và phân bố kích thước của các giọt chất lỏng được hình thành trong tia phun của vòi phun kiểu air-blast ly tâm. Kết quả cho thấy sự phân bố kích thước giọt là gần giống nhau tại các vị trí khảo sát trong tia phun và đường kính của các giọt chất lỏng chủ yếu nằm trong khoảng từ 0 đến 50 µm. Đường kính trung bình của các giọt chất lỏng tại các vị trí khảo sát thay đổi trong khoảng từ 29,8 đến 49,2 µm. Đường kính trung bình của giọt chất lỏng có xu hướng giảm tại các vị trí xa lỗ vòi phun hơn theo phương hướng trục. Tại cùng một mặt cất ngang, đường kính trung bình của các giọt chất lỏng có xu hướng giảm tại các vị trí xa trục của tia phun hơn. Kết quả này là cơ sở cho việc đánh giá chất lượng quá trình phun, từ đó đưa ra hướng phát triển tiếp theo nhằm khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu và vận hành đến cấu trúc tia phun của vòi phun kiểu air-blast ly tâm.

Tài liệu tham khảo

1. N. Fujisawa, A. Hosokawa, and S. Tomimatsu, Simultaneous measurement of droplet size and velocity field by an interferometric imaging technique in spray combustion,

Measurement Science and Technology, 14(8) (2003): p. 1341. DOI 10.1088/0957-0233/14/8/320

- 2. A.H. Lefebvre, and V.G. McDonell, Atomization and sprays, CRC press, 2017.
- J.T. Kashdan, J.S. Shrimpton, and A. Whybrew, A digital image analysis technique for quantitative characterisation of high-speed sprays, Optics and Lasers in Engineering, 45(1) (2007): p. 106-115. https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2006.03.006
- J. Blaisot, and J. Yon, Droplet size and morphology characterization for dense sprays by image processing: application to the Diesel spray, Experiments in fluids, 39(6) (2005): p. 977-994. https://doi.org/10.1007/s00348-005-0026-4
- J.T. Kashdan, J.S. Shrimpton, and A. Whybrew, Two-phase flow characterization by automated digital image analysis. Part 1: fundamental principles and calibration of the technique, Particle & Particle Systems Characterization: Measurement and Description of Particle Properties and Behavior in Powders and Other Disperse Systems, 20(6) (2003): p. 387-397. https://doi.org/10.1002/ppsc.200300897
- R. Kapulla et al., Droplet size distribution measurements using phase-Doppler anemometry and shadowgraphy: Quantitative comparison, Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik, GALA eV Deutsche Gesellschaft für Laser-Anemometrie, Rostock, (2007).
- G.S. Settles, and M.J. Hargather, A review of recent developments in schlieren and shadowgraph techniques, Measurement Science and Technology, 28(4) (2017): p. 042001. DOI 10.1088/1361-6501/aa5748
- 8. X.P. Pham, Influences of molecular profiles of biodiesels on atomization, combustion and emission characteristics, PhD Thesis, University of Sydney, 2014.
- Phùng Văn Được, Phạm Văn Thìn, Phạm Xuân Phương, Xây dựng mô hình tương đương của vòi phun nhiên liệu kiểu air-blast ly tâm sử dụng trên động cơ hơi nước-ga, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, 296 (2022).
- 10. C.E. Boyd, Physical Properties of Water, In: Water Quality, Springer, Cham, (2015).
- The Engineering ToolBox, Dry Air Thermodynamic and Physical Properties, [online] Available at: <u>https://www.engineeringtoolbox.com/dry-air-properties-d_973.html</u> [Accessed June 10, 2023].
- 12. N. Otsu, A threshold selection method from gray-level histograms, IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 9(1) (1979): p. 62-66.
- I. Bowen, and G. Davies, Particle size distribution and the estimation of Sauter mean diameter, Report ICT 28, Shell Research Ltd, London (1951). Cited in: A.H. Lefebvre, Atomization and Sprays, Hemisphere Publishing Corporation, 1989.
- 14. A.J. Yule, and J.J. Dunkley, Atomization of melts: for powder production and spray deposition, Clarendon Press, 1994.

- R.M. Wagner, and J.A. Drallmeier, An approach for determining confidence intervals for common spray statistics, Atomization and Sprays, 11(3) (2001). DOI: 10.1615/AtomizSpr.v11.i3.30
- 16. M. El-Shanawany, and A.H. Lefebvre, Airblast atomization: the effect of linear scale on mean drop size, J. Energy, Vol. 4(No. 4) (1980): p. pp. 184-189.

Investigate the influence of structural parameters of centrifugal air-blast nozzles on the spray structure

Abstract : The structural parameters of the centrifugal air-blast nozzle affect the formation and development of the spray. This article presents the results of experimental research to investigate the influence of structural parameters on the spray structure of a centrifugal air-blast nozzle. The structural parameters of the centrifugal air-blast nozzle selected for investigation include the diameter of the liquid vortex generating chamber, the nozzle hole diameter and the tilt angle of the air flow vortex generating vane. The research results of the article are the basis for providing structural change solutions to improve the quality of the spray disintegration process, thereby increasing the combustion efficiency and useful performance of the engine.

Keywords: Liquid droplet size, centrifugal air-blast nozzle, shadowgraph, image processing using Matlab.

Hoàn thiện kết cấu và đánh giá sức bền piston động cơ diesel trung tốc họ D-100

Nguyễn Văn Dương^{1*}

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự Email: duongnv@lqdtu.edu.vn; Tel: 0867534435

Tóm tắt

Hoàn thiện kết cấu piston là một bước quan trọng trong quá trình thiết kế mẫu piston mới. Trong quá trình hoàn thiện kết cấu, chúng ta sẽ chọn được phương án thiết kế tối ưu nhất với mục tiêu chính là giảm khối lượng và tăng sức bền, tuổi thọ của piston. Để làm được điều này, cần đánh giá trạng thái nhiệt và trạng thái ứng suất của piston với các phương án thiết kế khác nhau (với những thay đổi về kết cấu và thông số hình học của piston). Kết quả phân tích cho thấy, ứng suất và nhiệt độ tại các điểm khảo sát trên piston sau khi hoàn thiện kết cấu thấp hơn đáng kể so với thiết kế ban đầu và piston nguyên bản. Từ các kết quả ứng suất và nhiệt độ, nhận thấy rằng piston mới có độ bền tốt hơn. Ngoài ra, sau khi hoàn thiện kết cấu, piston giảm 4kg (từ 26kg xuống 22kg).

Từ khóa: Piston, sức bền, kết cấu, thiết kế, ứng suất, D-100.

1. Đặt vấn đề

Piston là một bộ phận đặc biệt quan trọng trong động cơ đốt trong. Nó đóng vai trò chuyển đổi năng lượng đốt cháy nhiên liệu trong xi lanh thành công cơ học/momen xoắn sang trục khuỷu. Trong quá trình làm việc, piston phải chịu áp suất lớn và nhiệt độ cao do quá trình đốt cháy nhiên liệu [1, 2]. Đặc biệt, trong động cơ diesel hạng nặng, áp suất trong buồng đốt có thể lên tới 18-20 MPa [3] và nhiệt độ piston có thể đạt tới 800°C [4]. Vì vậy, piston cần có độ bền và độ tin cậy cao. Một số lượng lớn các nghiên cứu [5-17] về việc cải thiện độ tin cậy và độ bền của piston đã được báo cáo, nhưng hàng năm vẫn có hàng loạt piston phải thay thế. Các piston bị hư hỏng có thể do nhiều nguyên nhân khác nhau, chủ yếu liên quan tới nhiệt độ cao và sự tích tụ mỏi [18]. Hư hỏng do mỏi có thể xảy ra ở cả chế độ chu kỳ cao và chu kỳ thấp và thường là kết quả của sự kết hợp giữa các yếu tố như nhiệt độ, gradient nhiệt, điều kiện tải cơ học, áp suất khí cháy và ăn mòn hóa học [18-24].

Theo tính chất cơ học của vật liệu [25, 26], nhiệt độ càng cao thì giới hạn bền của vật liệu càng giảm, đặc biệt ở trong dải nhiệt độ cao, giới hạn bền của vật liệu bị suy giảm nghiêm trọng. Nghiên cứu [27] đã chỉ ra rằng việc nâng cấp công suất động cơ khiến ứng suất tối đa tác dụng lên piston tăng 50% sẽ dẫn đến tuổi thọ của piston giảm 4000 lần. Vì vậy, piston cần được thiết kế để có ứng suất và nhiệt độ thấp khi vận hành.

Trong số các nghiên cứu [5-17] về cải thiện độ tin cậy và độ bền của piston đã được báo cáo, thì phương pháp nâng cao độ bền piston bằng cách hoàn thiện kết cấu được sử dụng khá phổ biến [11-14]. Phương pháp hoàn thiện kết cấu có thể bao gồm việc thay đổi kết cấu piston và thay đổi phương pháp làm mát piston. Ví dụ như thay đổi từ piston liền sang piston ghép, hay chuyển từ làm mát piston bằng phương pháp làm mát dầu tuần hoàn sang làm mát bằng phun dầu.

^{*} Email: duongnv@lqdtu.edu.vn

Ngoài ra, việc hoàn thiện kết cấu piston cũng có thể làm giảm khối lượng piston và có ảnh hưởng tích cực tới hao phí cơ học trong nhóm piston-xilanh. Trong nghiên cứu của mình [28], giáo sư Belohub A. V. đã chỉ ra rằng, khi khối lượng piston giảm 10% trên động cơ VAZ-21083, công suất và mô-men xoắn tăng lần lượt là 150...300W và 0,25...0,5Nm, tương ứng là 10...20% công suất ma sát giữa piston-xilanh. Như vậy, việc hoàn thiện kết cấu piston thường với 2 mục đích chính, một là giảm nhiệt độ, ứng suất piston khi vận hành; hai là giảm khối lượng piston.

Một trong những phương pháp phân tích piston được sử dụng phổ biến hiện nay là Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) [6, 11-14, 16], dùng để mô phỏng mô hình piston trong các điều kiện vận hành và thu được các giá trị ứng suất, nhiệt độ, biến dạng với độ chính xác cao. Ngoài ra, việc sử dụng phương pháp FEM để phân tích piston có thể tiết kiệm thời gian, chi phí và mang lại tính chính xác cao, điều này đặc biệt quan trọng trong giai đoạn đầu của quá trình thiết kế piston [29]. Phân tích nhiệt trạng thái ổn định và cấu trúc tĩnh trong ANSYS có thể cho thấy sự phân bố ứng suất, nhiệt độ và biến dạng sau khi áp dụng điều kiện biên. Các kết quả phân tích về trạng thái nhiệt, trạng thái ứng suất - biến dạng của piston là cơ sở chính để đánh giá sức bền và độ tin cậy của nó.

Động cơ 10D100 có vai trò rất lớn trong vận tải đường sắt ở Ucraina, đã hơn 60 năm trôi qua kể từ khi bắt đầu được sản xuất hàng loạt và cần được cải tiến một cách nghiêm túc để tăng hiệu suất và độ tin cậy của động cơ, đặc biệt là nhóm piston. Trong báo cáo trước đó của tác giả bài báo này [30], đã giới thiệu một kết cấu piston ghép thay thế cho mẫu piston nguyên bản. Khối lượng của piston mới là 26 kg, bằng 65% khối lượng của piston cũ (khối lượng piston cũ là 40kg).

Dựa trên cơ sở báo cáo [28, 30-32], nghiên cứu tiếp theo với mục tiêu: hoàn thiện kết cấu piston nhằm giảm nhiệt độ và ứng suất cơ-nhiệt trên piston khi vận hành và giảm khối lượng piston.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Dựa vào các phân tích và dẫn chứng được tác giả nêu ra trong phần 1, phương pháp hoàn thiện kết cấu piston được xác định như hình 1.

Mô hình piston được xây dựng trong phần mềm Ansys workbench (bước 3). Khi đặt vấn đề và xây dựng phương pháp nghiên cứu cần xác định rõ mục tiêu của việc hoàn thiện kết cấu piston. Các kết quả phân tích piston thu được từ mô phỏng sẽ được so sánh với mục tiêu đặt ra. Nếu kết quả hoàn thiện kết cấu thỏa mãn yêu cầu đặt ra thì kết thúc quá trình, nếu không, cần thay đổi kết cấu piston, và thực hiện lại từ bước 3. Lưu ý rằng, khi thay đổi kết cấu piston, tính chất quá trình trao đổi nhiệt giữa piston với môi trường xung quanh (khí cháy, chất làm mát, các chi tiết...) cũng thay đổi, vì vậy cần xác định lại điều kiện biên trên các bề mặt piston (bước 5).



Hình 1. Sơ đồ hoàn thiện kết cấu piston
2.2. Tính chất vật liệu

Piston của động cơ 10D100 được chế tạo từ gang chịu nhiệt với độ cứng vật liệu HB = 207-255 [33, 34]. Để tính toán, chúng tôi chọn vật liệu là gang cầu B460-2 [33, 34].và các đặc tính của vật liệu được thể hiện trong Bảng 1 [25, 26].

Т	2	C	lpha, 10 ⁻⁶	E, 10 ⁻⁶	$\sigma_B,$	σ_T	$\pmb{\sigma}_{_{\mathcal{J}\mathcal{I}}}$			
	~	C p					10 ⁴ h	10 ⁵ h		
С	w/m.K	J/kg.K	1/K	MPa						
20	54,5	390	10	1,80	600	400				
370	46,2	505	11,5	1,64	510	307	275	220		
426	45,1	510	11,8	1,60	5	297	155	115		
482	43,5	515	12,03	1,56	366	252	84	60		
537	42,4	523	12,25	1,52	270	208	45	30		
593	41,6	532	12,47	1,48	173	151	24	16		
650	40,3	568	12,45	1,42	99	90	13	8,5		

Bảng 1 – Phụ thuộc tính chất cơ học của gang cầu BY 60-2 vào nhiệt độ

Trong bảng 1: T – nhiệt độ, [°C]; λ – hệ số dẫn nhiệt, [w/m.K]; C_p – nhiệt dung riêng, [J/kg.K]; α – hệ số giãn nở vì nhiệt, [1/K]; E – mô dun đàn hồi, [Mpa] ; σ_B – giới hạn bền kéo [Mpa]; σ_T – giới hạn chảy, [Mpa]; $\sigma_{\pi\pi}$ – giới hạn bền dài,[Mpa].

2.3. Cấu tạo piston

Kết cấu piston nguyên bản và piston mới được thể hiện như trên hình 2. Động cơ 10D100 là động cơ 2 kỳ kiểu đối đỉnh, các piston đóng vai trò là các van trượt để đóng-mở của nạp/xả, vì vậy, khi thiết kế piston mới, tác giả giữ nguyên hình dạng cơ bản bên ngoài của piston cũ (Hình 2a), nhằm giữ nguyên hình dạng buồng cháy và quá trình phân phối khí của động cơ.



Hình 2. Kết cấu piston nguyên bản (a) và kết cấu piston mới (b)

2.4. Xác định điều kiện biên nhiệt trên các bề mặt piston

Nhiệm vụ đầu tiên trong quá trình đánh giá trạng thái ứng suất nhiệt của piston là xác định các điều kiện biên (BC) cho các bề mặt khác nhau của piston (Hình 3). Để xác định điều kiện biên trên các bề mặt piston, tác giả sử dụng phương pháp được đề cập đến trong [35, 36].

Theo [32], tác giả của bài báo này đã chứng minh rằng, đối với thiết kế mới (hình 2b), dầu làm mát ở nhiệt độ 100°C cho hiệu quả làm mát tốt hơn. Vì vậy, đối với thiết kế piston mới, chúng tôi chọn dầu làm mát ở 100°C. Đối với piston cũ, các thông số được lấy theo động cơ nguyên bản [33, 34].

Mô hình piston được mô phỏng ở thời điểm áp suất cực đại ($P_z = 10$ MPa) và lực ngang N = 23000 N tác dụng lên thân piston.

2.5. Hoàn thiện kết cấu piston

Như đã đề cập đến trong phần 2.3, hình dạng bên ngoài của piston cần được giữ nguyên, để bảo toàn hình dạng buồng cháy và quá trình phân phối khí của động cơ. Vì vậy, khi hoàn thiện kết cấu piston, chỉ có thể thay đổi kích thước, kết cấu bên trong của piston. Các kích thước mà tác giả thay đổi trong quá trình hoàn thiện kết cấu được thể hiện trong hình 4. Trong đó, các vị trí 1, 2, 3 được xác định là các vị trí có khả năng xuất hiện ứng suất cao trên piston. Trong quá trình hoàn thiện kết cấu piston và so sánh kết quả nhiệt độ, ứng suất giữa các phương án để tìm ra kết cấu tối ưu nhất.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Kết quả xác định điều kiện biên

Kết quả xác định điều kiện biên nhiệt trên các bề mặt piston (Hình 3) được thể hiện trong Bảng 2.



Hình 3 – Các bề mặt cần xác định điều kiện biên nhiệt trên piston



Hình 4 – Kích thước piston mới Khu vực 1 – Trung tâm buồng đốt Khu vực 2 – Góc lượn dưới đỉnh Khu vực 3 – Rãnh xéc măng khí

стт	Piston nguyên bản		Piston mới		стт	Piston 1 bå	nguyên n	Piston mới	
511	α _т , Βτ/м².Κ	Т, К	α _т , Вт/м².К	Т, К	511	α _т , Βτ/м².Κ	Т, К	α _т , Вт/м².К	Т, К
1	1955	985	1890	980	11	12000	385	12000	360
2	350	656	350	620	12	2000	385	2000	360
3	80	600	80	535	13	1000	385	1000	357
4	80	540	80	475	14	7000	385	7000	357
5	25000	435	25000	400	15	3000	385	3000	355
6	230	435	230	400	16	1480	353	1550	370
7	50	435	50	400	17	425	358	1050	370
8	17000	405	17000	370	18	650	373	630	370
9	150	405	150	370	19	250	370	250	370
10	25	405	25	370					

Bảng 2. Điều kiện biên nhiệt trên các bề mặt piston

3.2. Kết quả hoàn thiện kết cấu piston

Kết quả xác định trạng thái nhiệt độ và trạng thái ứng suất của các phương án thay đổi kết cấu piston được thể hiện trong Bảng 3.

Dhunom	δ, mm	R1, mm	R ₂ , mm	dı, mm	d2, mm	d3, mm	Khu	Khu vực 1		Khu vực 2		Khu vực 3	
g án							Т, К	σ, MPa	Т, К	σ, MPa	Т, К	σ, MPa	
1	12	15	9	15	44	85	720	242	520	198	430	326	
2	12	15	9	15	33	85	720	263	525	222	435	343	
3	12	15	9	15	48	85	720	229	525	187	420	289	
4	12	15	9	15	48	90	720	242	525	188	410	300	
5	12	8	9	15	48	80	720	195	540	283	435	250	
6	17	15	15	10	44	85	730	217	515	170	425	287	
7	7	10	15	15	44	85	710	216	530	220	425	250	
8	7	10	10	15	44	85	710	210	530	264	425	275	
9	8	8	10	15	44	85	730	220	525	235	420	270	

Bảng 3. Kết quả xác định nhiệt độ và ứng suất tại các điểm khảo sát trên piston

10	8	12	12	15	44	85	710	210	535	220	420	270
11	8	10	15	15	44	85	710	180	530	225	420	230
Piston nguyên bản							755	211	590	244	480	275

Kết quả mô phỏng cho thấy, khi tăng chiều dày đỉnh piston (δ) từ 12mm lên 17mm, ứng suất trung tâm đỉnh piston giảm từ 242 Mpa xuống 217 Mpa, tuy nhiên, nhiệt độ tại vị trí đó tăng từ 720K lên 730K, tại các vị trí 2 và 3, ứng suất đều giảm. Như vậy, việc tăng độ dày sẽ tăng độ cứng vững của phần đỉnh piston, giúp giảm ứng suất, tuy nhiên nhiệt độ phần đỉnh piston sẽ tăng lên do giảm tốc độ thoát nhiệt. Khi giảm chiều dày đỉnh piston xuống 8mm

(phương án 11), kết quả phân tích cho thấy, ứng suất tại vị trí 1 giảm xuống 180Mpa, tại vị trí 3 giảm từ 326 Mpa ở phương án 1 xuống 230 ở phương án 11, nhưng ứng suất tại vị trí 2 tăng từ 198 MPa lên 225 MPa. Như vậy, việc giảm chiều dày đỉnh piston sẽ làm giảm độ cứng vững của phần đỉnh, tuy nhiên, việc giảm chiều dày đỉnh làm tăng hiệu quả quá trình thoát nhiệt từ



Hình 5 – Ứng suất tại điểm 1 và 2 trên piston

đỉnh piston vào dầu làm mát, điều này làm giảm nhiệt độ đỉnh piston, làm giảm sự giãn nở nhiệt và giảm ứng suất trên bề mặt đỉnh piston.

Trong hình 5 : T_1^H , T_2^H , T_1^C , T_2^C - ứng suất tại các điểm 1, 2 (Hình 4) trên piston mới và piston nguyên bản, [Mpa]; σ_B , σ_T , σ_{μ} - giới hạn bền kéo tức thời, giới hạn chảy và giới hạn bền dài (với $\tau = 1000$ giờ) của gang cầu BY 60-2; σ_{μ} - giới hạn rão của gang BY 45, MPa; σ_{μ} - giới hạn rão của gang BY 20, MPa.

So sánh kết quả hoàn thiện kết cấu giữa các phương án với giới hạn bền của vật liệu, có xét tới ảnh hưởng của nhiệt độ (Hình5), nhận thấy, phương án 11 có độ bền tốt hơn các phương án khác. Vì vậy, tác giả chọn phương án 11 cho kết cấu piston mới.

Sau khi hoàn thiện kết cấu, khối lượng của piston mới (phương án 11, Bảng 3) giảm xuống còn 22 kg (không tính khối lượng thanh truyền).

Kết quả so sánh độ bền của piston mới và piston nguyên bản được thể hiện trên Hình 5.

Hình 5 và Bảng 3 cho thấy, ứng suất tại hầu hết các điểm khảo sát đều thấp hơn giới hạn bền dài tại các nhiệt độ tương ứng. Khi so sánh với giới hạn rão của vật liệu gang cầu BY 45 và BY 20, nhận thấy rằng hầu hết các điểm trên piston có giá trị ứng suất nằm dưới giới hạn rão của gang cầu BY 45 và BY 20 với các nhiệt độ tương ứng. Điểm T_1^C trên piston cũ xuất hiện ứng suất vượt quá giới hạn bền dài, tuy nhiên vẫn dưới ngưỡng giới hạn chảy. Như vậy, khi so sánh với các giới hạn bền, cả piston cũ và piston mới đều đảm bảo độ bền cần thiết.

So sánh giá trị ứng suất và nhiệt độ giữa 2 mẫu piston cũng như giữa các phương án (Hình 5, Bảng 3), nhận thấy, kết cấu piston mới (phương án 11) có giá trị ứng suất và nhiệt độ thấp hơn so với piston nguyên bản và các phương án khác. Như vậy, kết cấu piston theo phương án 11 có độ bền tốt hơn.

4. Kết luận

Sau quá trình hoàn thiện kết cấu piston, khối lượng piston tiếp tục giảm 4kg, tức là sau khi hoàn thiện kết cấu, piston mới có khối lượng 22 kg và bằng 55% so với piston nguyên bản và 85% so với thiết kế trước khi hoàn thiện kết cấu.

Kết quả phân tích trường nhiệt độ và ứng suất của các phương án cho thấy, phương án 11 là tối ưu hơn so với các phương án còn lại. Ngoài ra, piston mới theo phương án 11 có nhiệt độ thấp hơn piston nguyên bản, nhiệt độ trung bình của bề mặt đỉnh của piston mới là 775 K, so với 815 K của piston nguyên bản. Trạng thái ứng suất trên piston mới thấp hơn đáng kể tại hầu hết các điểm được kiểm tra. Ở tâm đỉnh piston, ứng suất giảm 30 MPa (180 MPa ở piston mới so với 211 MPa ở piston nguyên bản).

Khi đánh giá sức bền của piston, nhiệt độ và ứng suất tại các điểm không an toàn được xem xét. Kết quả cho thấy cả piston mới và piston nguyên bản đều đáp ứng đủ độ bền cần thiết. Tuy nhiên, piston mới có nhiệt độ và ứng suất thấp hơn nên sẽ có sức bền và độ tin cậy cao hơn.

Tài liệu tham khảo

- 1. Ichiyanagi, M., TANUWIJAYA, D. V., DANU, J. D., Yilmaz, E., Chen, H., GOTAMA, G. J., and Suzuki, T., (2020). *Effect of boost pressure and injection strategy to the in-cylinder pressure and heat release rate of direct injection diesel engine*.
- 2. Ramesha, D., Bharath, L., and Deepak, K. T., (2019). *Injection pressure effects on combustion, performance and emission of a compression ignition engine with fish oil biodiesel using titanium and alumina nanoparticle as additive*, J Journal of Engineering Science Technology, 14(3), pp. 1703-1716.
- 3. Junker, H., and Issler, W., (2002). *Pistons for high loaded direct injection diesel engines*, MAHLE technical information.
- 4. Bilohub, O. V., Nguyen, V. D., Linkov, O. Yu., Kravchenko S. A, (2016). *Development of the "lightweight" piston design for D100 diesel engines,* Internal combustion engines, 1, pp. 50-55
- Jankowski, A., and Kowalski, M., (2017). *Design of a new alloy for internal combustion engines pistons*, Proceedings of the 7th International Conference on Mechanics and Materials in Design Albufeira/Portugal. Editors JF Silva Gomes and SA Meguid. Publ. INEGI/FEUP, pp. 607-618.
- Gai, S., and Zhao, J., (2022). Simulation and Experimental Investigation on Fatigue Resistance of the Forged Steel Piston in High-Duty Engine, Journal of Materials Engineering Performance, pp. 1-13.
- Ahmed, A., Wahab, M., Raus, A., Kamarudin, K., Bakhsh, Q., and Ali, D., (2016). *Mechanical properties, material and design of the automobile piston: an ample review,* Indian Journal of Science Technology, 9(36), pp. 1-7.
- 8. Trunzo, M., Schubbe, J., Graham, S. M., and Caton, P., (2012). *Integration of Carbon Fiber Composite Materials Into Air-Cooled Reciprocating Piston Engines for UAV Applications*, Proc.

ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, American Society of Mechanical Engineers, pp. 943-956.

- 9. Vertin, K. D., Keribar, R., and Ganapathy, V., (1993). *Acceleration of Piston Durability Testing in Natural Gas Engines*, SAE Transactions, pp. 366-373.
- 10. Gots, A. N., and Amirseyidov, S. A., (2021). *Analysis of accelerated methods testing piston engine for reliability*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1086(1).
- 11. Mishra, P. C., and Kumar, S., (2019). *Modeling for Design Optimization of Piston Crown Geometry Through Structural Strength and Lubrication Performance Correlation Analysis*, Frontiers in Mechanical Engineering, 5.
- 12. Xiao, S., Yan, F., Lu, C., and Liu, Z., (2018). *Optimization design of piston structure for abnormal noise control in a single-cylinder gasoline engine*, Advances in Mechanical Engineering, 10(4).
- 13. Lee, Z. R., and Ku, P. X., (2021). *Geometry design and optimization of piston by using finite element method*, Journal of Physics: Conference Series, 2120(1).
- Zhao, J., Du, F., and Yao, W., (2014). Structure Analysis and Topology Optimization of a Bent-Bar-Frame Piston Based on the Variable Density Approach, Dynamic Systems and Control Conference, 2, p. V002T030A002.
- 15. Ahmed, A., Wahab, M. S., Raus, A. A., Kamarudin, K., Bakhsh, Q., and Ali, D., (2016). *Thermal Effect on the Automobile Piston: A Review*, Indian Journal of Science and Technology, 9(36).
- 16. Gao, J., Yao, A., and Yao, C., (2020). *The Thermal Load and Ablation Mechanism of Piston Subjected to Detonation*, Journal of Heat Transfer, 142(9).
- Loubar, K., Bellettre, J. r., me, and Tazerout, M., (2005). Unsteady Heat Transfer Enhancement Around an Engine Cylinder in Order to Detect Knock, Journal of Heat Transfer, 127(3), pp. 278-286.
- 18. Silva, F., (2006). *Fatigue on engine pistons–A compendium of case studies*, Engineering failure analysis, 13(3), pp. 480-492.
- Ammar, H., Samuel, A., and Samuel, F., (2008). Effects of surface porosity on the fatigue strength of AE425 and PM390 hypereutectic Al–Si casting alloys at medium and elevated temperatures, Materials Science Engineering, 473(1-2), pp. 58-64.
- 20. Martin, G. G., (2004). *Failure of a stationary pump engine piston*, Journal of Failure Analysis and Prevention, 4(1), pp. 37-39.
- 21. Ye, H., (2003). An overview of the development of Al-Si-alloy based material for engine applications, Journal of Materials Engineering Performance, 12, pp. 288-297.
- 22. Okamoto, H., Anno, N., and Itoh, T., (1992). *New computational and experimental stress analysis method for the design decision on optimum piston configuration of production engine*, No. 0148-7191, SAE Technical Paper.
- 23. Moffat, A. J., Mellor, B., Chen, C., Thomson, R. C., and Reed, P., (2006). *Microstructural analysis of fatigue initiation in Al-Si casting alloys*, Proc. Materials science forum, Trans Tech Publ, pp. 1083-1088.
- 24. WANG, Y., QI, X., and HU, K., (2019). *The reliability analysis for the piston, connecting rod and crankshaft assembly of diesel engine*, Proceedings of The 3 International Conference on Mechanical Engineering and Mechanics, October, 21, p. 23.

- 25. Bukhmirov V.V., R. D. V., Sonyshkova Yu.S., (2009). *Reference materials for solving problems in the course "Heat and mass transfer"*, GOU VPO "Ivanovo State Energy University named after. V.I. Lenin.", Иваново.
- 26. G., G. N., (1978). Handbook on iron casting, M.: Mechanical engineering. Leningr. department.
- 27. Najafi, M., Dastani, H., Abedini, M., and Pirani, S., (2019). *Stress analysis and fatigue life assessment of a piston in an upgraded engine*, Journal of Failure Analysis Prevention, 19, pp. 402-411.
- 28. Белогуб, А. В., and Стрибуль, А., (2005). Прогрессивные решения при проектировании и производстве поршней для автомобильных двигателей.
- 29. Duong, N. V., (2020). *Piston of a medium-speed diesel engine construction designing using the modified method of thermal-stress state analysis*, Kharkov.
- 30. Белогуб, А. В., Нгуен, В. З., Линьков, О. Ю., and Кравченко, С. А. J. Д. в. з., (2016). *Разработка конструкции «легкого» пориня для дизелей типа Д100*, (1), pp. 50-55.
- 31. Nguyen Van Duong, and Bilohub, O. V., (2019). *Determination of boundary conditions for calculation thermo stressed condition of piston*, Aerospace technic and technology, 1, pp. 39-47.
- 32. Bilohub, A., Van Duong, N., Sirenko, F., Savchuk, V., Bilousov, I., Symonenko, R., and Zajačko, I., (2020). Analysis of heat transfer coefficients for simulation of the heat exchange between oil and the internal cavity faces of the isolated piston at variable gravity conditions, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 776(1), p. 012020.
- 33. Rosenblit, G. B., (1977). Heat transfer in diesel engines, Mechanical Engineering Publ.
- 34. Avrunin, A. G., (1970). Diesel locomotives 2D100 and 10D100, Transport, Moscow, p. 321.
- 35. Duong V. Nguyen, P. X. P., (2023). *Determining thermal equivalent boundary conditions for piston surfaces*, Transport and Communications Science Journal(Special issue), pp. 452-464.
- 36. Nguyen, D. V., and Pham, P. X., (2023). *Developing a Computational Fluid Dynamics-Finite Element Method Model to Analyze Thermal-Mechanical Stresses in a Heavy-Duty Medium-Speed Diesel Engine Piston During Warm-Up*, ASME Journal of Heat and Mass Transfer, 146(2).

Structure completion and piston strength evaluation for the D-100 family medium-speed diesel engine

Abstract: Structure completion is an important step in the process of designing a new piston. During the structure completion process, an optimal design option is chosen with the main goal of reducing weight and increasing the strength and life of the piston. To do this, it is necessary to evaluate the piston thermal and stress state with different design options (with variations in the piston structure and geometric parameters). Analysis shows that the stress and temperature at the survey points on the piston after completing the design are significantly lower than both the initial design and the original piston. Examining these stress and temperature outcomes against the material's mechanical properties, factoring in temperature effects, demonstrates the enhanced durability of the new piston. In addition, after completing the structure, the piston decreased by 4kg (from 26kg to 22kg).

Keywords: Piston, strength, structure, design, stress, D-100.

Nghiên cứu mài mòn cánh công tác máy nén tầng đầu tiên động cơ tuabin khí trực thăng bằng mô phỏng số

Lê Tiến Dương¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Động cơ tuabin khí hoạt động trong môi trường đa dạng và khắc nghiệt do tính đa dụng và phổ biến của máy bay trực thăng hiện nay. Mặc dù đã có các biện pháp bảo vệ được phát triển từ lâu để giảm mài mòn cánh công tác máy nén, nhưng công nghệ hiện nay vẫn chưa khắc phục hoàn toàn được việc này. Do vậy trong quá trình hoạt động, cánh máy nén động cơ tuabin khí trực thăng vẫn bị mài mòn, đặc biệt trong các nhiệm vụ đặc thù tại các khu vực có độ bụi bẩn cao. Bài báo trình bày nghiên cứu mài mòn cánh công tác máy nén tầng đầu tiên động cơ tuabin khí trực thăng bằng phương pháp mô phỏng số. Qua đó hiểu biết hơn về cơ chế mài mòn và các khu vực mài mòn cánh máy nén tầng đầu tiên động cơ tuabin khí trực thăng cánh máy nén tầng đầu tiên động cơ tuabin khí trực thăng cánh máy nén tầng đầu tiên động cơ tuabin khí trực thăng. Kết quả của nghiên cứu là cơ sở để tiếp tục đánh giá độ bền cánh máy nén, ảnh hưởng của mài mòn tới các thông số chính của máy nén.

Từ khóa: máy nén, cánh công tác, mài mòn, vận tốc, áp suất, ứng suất.

1. Mở đầu

Động cơ TV3-117 là động cơ tua bin khí được sử dụng trên hầu hết các biến thể trực thăng Mi và Ka hiện đang biên chế trong Quân đội Nhân dân Việt Nam. Cùng với sự phát triển của nghệ thuật tác chiến, nhu cầu càng cao của Quân đội trong việc sử dụng phổ biến trực thăng cho các nhiệm vụ diễn tập, thực hành tác chiến và cứu hộ cứu nạn trong các điều kiện thời tiết và địa hình khác nhau.



Hình 1. Trực thăng hoạt động trong môi trường bụi bẩn

Trực thăng ngày càng phải hoạt động nhiều trong điều kiện khắc nghiệt hơn như ở Hình 1, đó là các khu vực nền cất hạ cánh không được chuẩn bị trước, khu vực bay treo trên đất cát, đồng ruộng và mặt biển. Với cường độ hoạt động ngày càng tăng, lượng bụi bẩn, tạp chất do động cơ hút vào trong quá trình này gây ảnh hưởng xấu tới cánh công tác máy nén, trong đó có tầng cánh đầu tiên, là nơi tiếp xúc trực tiếp và đầu tiên với lượng vật chất gây mài mòn này. Các cánh công tác máy nén bị mài mòn do tác động của các bụi bẩn này ngày càng lớn do đặc thù hoạt động của máy nén là vận tốc quay lớn [1].

Trong thực tế khai thác sử dụng, khi máy bay trực thăng đang hoạt động trong điều kiện không thuận lợi, đặc biệt khi máy bay thực hiện các thao tác cơ động và bay treo thì lượng lớn cát bụi dưới mặt đất đã bốc lên theo luồng gió do cánh quạt của chúng tạo ra. Trong những tình huống này, lượng lớn cát bụi đã bị hút vào trong động cơ của trực thăng, mặc dù máy bay có lắp các thiết bị ngăn bụi, nhưng hiệu quả của các thiết bị này không thể đạt tới 100%, do đó khi lượng cát bụi quá lớn, chúng gây quá tải và kết quả là cát bụi vẫn đi vào trong động cơ, đặc biệt

1428

là phía đầu vào của máy nén [2], kết quả của việc này là các cánh bị mài mòn như trên Hình 2.



Hình 2. Các cánh máy nén ĐCTBK TV3-117 bị mài mòn

Trong quá trình mài mòn cánh máy nén, biên dạng và các thông số hình học của các cánh thay đổi, từ đó dẫn tới thay đổi tần số dao động riêng, dẫn tới xuất hiện hiện tượng cộng hưởng gây ra nguy cơ cao của việc phá vỡ dòng và mất ổn định, hệ quả là phá vỡ tính ổn định khí động lực học của động cơ. Trong các động cơ hiện đại ngày nay, khi các cánh bị mài mòn dẫn tới bị giảm kích thước thì hệ số tăng áp của máy nén bị giảm, khi tới một giá trị nào đó thì các hệ thống tự động điều khiển của động cơ sẽ phải tiến hành tăng tần số quay để bù đắp việc tụt giảm hệ số tăng áp. Để tăng số vòng quay thì cần phải cấp thêm nhiên liệu vào buồng đốt, việc này dẫn tới tăng nhiệt độ khí trước tuabin, việc tăng nhiệt độ trước tuabin trong thời gian dài dẫn tới hiện tượng quá nhiệt cánh tuabin. Ngoài ra việc tăng số vòng quay dẫn tới hiện tượng vỡ dòng và dẫn tới hiện tượng mất ổn định ở máy nén (pompaz) [3, 4, 5].

Nghiên cứu của các tác giả Pavlenko D.V và Dvirnic Ya.V [3] đã thể hiện kết quả nghiên cứu mài mòn cánh máy nén động cơ tuabin khí trực thăng TV3-117 khi hoạt động trong điều kiện bụi bẩn, từ đó tác giả đã xây dựng được quy luật mài món cánh máy nén các tầng theo thời gian hoạt động của động cơ. Trong nghiên cứu này, tác giả đã tiến hành thực nghiệm trên các động cơ thật, sau thời gian thử nghiệm việc hoạt động của động cơ trong điều kiện cát bụi thì tiến hành đo đạc việc mài mòn các cánh và so sánh với các cánh ở tình trạng nguyên thủy ban đầu. Từ đó các tác giả tìm ra được giá trị mài mòn chiều dài dây cung biên dạng cánh tại các mặt cắt, quá đó xác định được công thức xác định mài mòn các cánh từ tầng thứ 2 tới tầng 12 tương tự tầng thứ 6 (do sau tầng này có bộ gom cát bụi, tuy nhiên tầng cánh đầu tiên có quy luật mài mòn không giống các tầng cánh còn lại. Nghiên cứu của các tác giả cho ta công thức tổng quát về kết quả mài mòn cánh máy nén các tầng, tuy nhiên do đậy là thực nghiệm trên động cơ thực nên chỉ có kết quả cuối cùng, nghiên cứu chưa cung cấp cụ thể cơ chế mài mòn cánh, khu vực nào của cánh chịu tác động của các hạt cát bụi. Do đó cần thêm các nghiên cứu để hiểu rõ hơn cơ chế mài mòn các cánh này theo thời gian và lượng bụi đi vào máy nén.

Trong nghiên cứu của tác giả Gumerov A.V và Akmaletdinov R.G trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của việc mài mòn cánh máy nén tới dòng chảy của không khí trong máy nén bằng phương pháp mô phỏng CFD trong phần mềm DVIG. Kết quả mô phỏng cho thấy, với các cánh bị mài mòn thì dòng chảy của không khí trong máy nén xấu đi đáng kể, xuất hiện các xoáy lốc phía sau các cánh mài mòn, trường áp suất và vận tốc không đồng đều sau các tầng cánh. Như vậy việc mài mòn cánh máy nén ảnh hưởng xấu tới các thông số dòng khí trong máy nén, có thể dẫn tới hiện tượng gây mất ổn định. Ngoài ra trong nghiên cứu của mình, các tác giả đã nghiên cứu mài mòn kênh có biên dạng cong dưới tác động của các hạt với kích thước khác

nhau bằng mô phỏng đa pha (2 pha), kết quả thu được là trường vận tốc của các hạt mài mòn và đường đi của các hạt này. Kết quả nghiên cứu của các tác giả chưa thể hiện được tương tác hạt mài mòn với biên dạng cánh máy nén, kết quả nghiên cứu chỉ là đường đi và khu vực va chạm của các hạt mài mòn với biên dạng kênh cong. Do đó cần có nghiên cứu về tương tác giữa các hạt mài mòn và biên dạng cánh máy nén bằng mô phỏng số.

Trong nghiên cứu của nhóm tác giả Grant G. và Tabakoff W. [6] đã đưa ra ra kết quả dự đoán ảnh hưởng của bụi bẩn thực tế tới mài mòn cánh biên dạng bằng thực nghiệm. Kết quả của thực nghiệm dự đoán đường đi của các hạt trong kênh lưu thông, lượng mài mòn các cánh với các vật liệu khác nhau. Kết quả thực nghiệm rất gần với kết quả tính toán giải tích về trường vận tốc và khu vực mài mòn cánh máy nén. Ngoài ra các tác giả của bài báo cũng có các nghiên cứu chuyên sâu về cơ chế mài mòn các kim loại bởi các hạt mài mòn, Grant G. và Tabakoff W. là tác giả của mô hình mài mòn mang tên Tabakoff và đã được sử dụng mô phỏng mài mòn trong phần mềm được thương mại hóa như Ansys [7].

Bài báo hướng tới việc mô phỏng số quá trình không khí có bụi bẩn đi vào tầng cánh công tác máy nén động cơ tuabin khí, qua đó nghiên cứu mài mòn cánh công tác tầng đầu tiên máy nén ĐCTBK trực thăng TV3-117 bởi các hạt với kích thước và vận tốc đầu vào khác nhau, qua kết quả mô phỏng số cho thấy đường đi của các hạt mài mòn trong phần lưu thông máy nén tầng bánh công tác đầu tiên và khu vực các hạt này va chạm với biên dạng cánh công tác. Từ đó xác định được các khu vực cụ thể trên cánh công tác có sự va chạm nhiều với các hạt và bị mài mòn nhiều hơn. Ngoài ra trong bài báo tiến hành so sánh kết quả mô phỏng số mài mòn cánh và hình ảnh thực tế cánh máy nén bị mài mòn để làm rõ hơn điều kiện làm việc thực tế của cánh máy nén bị mài mòn trước khi được tháo khỏi động cơ.



2. Xây dựng mô hình mô phỏng số

Hình 3. Mô hình và hình ảnh cánh công tác tầng máy nén đầu tiên động cơ TV3-117

Để thực hiện mô phỏng số mài mòn cánh công tác máy nén động cơ tuabin khí, bằng phần mềm CFX (Ansys) thực hiện mô phỏng dòng chảy trong kênh lưu thông của máy nén, cùng với dòng chảy này xuất hiện vào các hạt cát với phân bố kích thước khác nhau để xác định các khu vực có độ mài mòn cao và đường đi của hạt cát trước và sau khi va chạm với bề mặt cánh máy nén. Cánh công tác tầng đầu tiên máy nén động cơ tuabin khí TV3-117 được quét thành mô hình 3D, sau đó nhập vào làm mô hình tính toán cho mô phỏng số.

Phần lưu thông giữa các cánh máy nén được chia lưới cấu trúc dạng O-H-O với lưới lục diện (Hình 4), ưu điểm của lưới cấu trúc là giảm được số lượng phần tử, giảm được thời gian tính toán và giảm sai số trong quá trình tính toán [7]. Phần lưới sát biên dạng cánh được chia thành các lớp với kích thước lưới nhỏ hơn để đảm bảo độ kết quả của mô phỏng số.



Hình 4. Lưới phần lưu thông cánh công tác máy nén TV3-117 a) lưới tổng thể; b) lưới tại mặt cắt và tại vùng biên dạng cánh

Các điều kiện biên của mô phỏng số (Hình 5) được thiết lập tương ứng hoạt động 100% của động cơ ở gần mặt đất, với áp suất toàn phần p^{*}và nhiệt độ toàn phần T^{*} tại đầu vào của không khí tiêu chuẩn, khối lượng cát m_c, vận tốc quay của trục động cơ tương ứng với 19500 vòng/phút, lưu lượng không khí $G_k = 9,7$ kg/s tại đầu ra của tầng máy nén. Mô hình rối SST k- ω (shear stress transports). Điều kiện giải được đặt với bước thời gian tự động; điều kiện hội tụ 10⁻⁴ hoặc trung bình bình phương RMS = 1% (root mean square) hoặc sai số lưu lượng không khí 1%, tùy thuộc vào điều kiện nào tới trước. Các hạt cát được phân bố với kích thước như nhau tương ứng với khối lượng cát ở đầu vào mô hình.



Hình 5. Các điều kiện biên của bài toán mô phỏng số



3. Kết quả tính toán mô phỏng

Hình 6. Phân bố vận tốc dòng chảy quanh cánh máy nén

Theo Hình 6 ta thấy dòng khí chảy bao quanh cánh máy nén với vận tốc thay đổi không bị đột ngột và dòng chảy đảm bảo không bị vỡ dòng. Kết quả tính toán cho thấy hiệu suất đoạn nhiệt của dòng khí là 93%, sát với tính toán giải tích.



Hình 7. Đường đi của các hạt cát trước và sau khi va chạm lên bề mặt cánh trong phần lưu thông

Các hạt cát bắt đầu va chạm với bề mặt cánh ở phần mép đầu vào và phần tiếp theo của bụng cánh, xu hướng diện tích va chạm của các hạt lớn dần từ phần chân cánh lên tới đỉnh cánh. Khi vận tốc hạt cát ở đầu vào tăng dần thì diện tích va chạm tăng lên, kết quả mô phỏng thể hiện ở Hình 8.a) là vận tốc hạt 50 m/s, Hình 8.b) là 100 m/s.



Hình 8. Mài mòn cánh máy nén tại mặt bụng cánh



Hình 9. So sánh kết quả mô phỏng số và hình ảnh thực tết cánh máy nén bị mài mòn

So sánh kết quả mô phỏng với hình ảnh thực tế cánh máy nén bị mài mòn cho thấy có sự tương tự về khu vực bị mài mòn, xu hướng mài mòn và diện tích mài mòn. Ở đây điều kiện của mô phỏng là vận tốc hạt cát ở đầu vào nhỏ hơn 70 m/s, kích thước hạt dưới 150µm.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã trình bày phương pháp thực hiện tính toán mô phỏng số mài mòn cánh máy nén tầng đầu tiên ĐCTBK trực thăng TV3-117.

Kết quả mô phỏng đã xác định được khu vực bị mài mòn và xu hướng các hạt cát gây mài mòn cho cánh máy nén. Diện tích mài mòn tăng dần từ chân lên tới đỉnh cánh, diện tích mài mòn tăng khi tăng vận tốc đầu vào của hạt cát.

Kết quả mô phỏng số đồng dạng với hình ảnh thực tế cánh máy nén bị mài mòn trong quá trình hoạt động trong môi trường tại Việt Nam.

Mô phỏng này có thể sử dụng để tính toán mô phỏng số ảnh hưởng của độ bụi bẩn tới các thông số cơ bản tầng cánh công tác máy nén và độ bền cánh máy nén.

Tài liệu tham khảo

[1] Богданов А.Д., Калинин Н.П., Кривко А.И. Турбовальный двигатель ТВ3-117ВМ. Конструкция и техническая эксплуатация. Москва, изд. "Воздушный транспорт", 2000г., 392 с.

[2] Вертолетные газотурбинные двигатели / Григорьев В. А., Зрелов В. А., Игнаткин Ю. М. [и др.]; общ. ред. Григорьев В. А., Пономарев Б. А. - М. : Машиностроение, 2007. - 490 с.

[3] Закономерности изнашивания рабочих лопаток компрессора вертолетных двигателей, эксплуатирующихся в условиях запыленной атмосферы / Д. В. Павленко, Я. В. Двирник // Вестник двигателестроения. - 2016. - № 1. - С. 42-51

[4] Гумеров, А.В. Моделирование эрозионного износа лопатки компрессора / А.В. Гумеров, Р.Г. Акмаледтинов // Вестн. Самар. гос. аэрокосм. ун-та. – 2011. – №3 (27). – С. 233–239.

[5] Потапов В.А., Санько А.А., Кудин М.В. Зависимость термогазодинамических параметров работы компрессора вертолетного газотурбинного двигателя от его наработки и запыленности атмосферы // Изв. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-мат. наук. - 2021. - Т. 57, № 3. - С. 307-319.

[6] Grant G., Tabakoff W. Erosion Prediction in Turbomachinery Resulting from Environmental Solid Particles. J. Aircr. 1975;12:471–478. doi: 10.2514/3.59826.

[7] Ansys. Ansys Workbench User's Guide. Ansys Inc., 2023.

Study on the erosion rate of the first stage compressor blade of a helicopter gas turbines engine using numerical simulation method

Abstract: Helicopter gas turbine engines operate in diverse and harsh environments due to the versatility and popularity of today's helicopters. Although protective measures have long been developed to reduce the erosion rate of compressor blades, current technology has not completely overcome this. Therefore, during operation, helicopter gas turbine engine compressor blades are still subject to erosion, especially during specific tasks in areas with high dust levels. This article presents a study on the erosion of the first-stage compressor blade of a helicopter gas turbine engine using numerical simulation methods. Thereby, a better understanding of the erosion mechanism and erosion areas of the first-stage compressor blades of helicopter gas turbine engines. The results of the study are the basis for continuing to evaluate compressor blade durability and the impact of erosion on the main parameters of the compressor.

Keywords: compressor, rotor blade, impeller, velocity, pressure, stress, erosion

1435

Nghiên cứu động lực học xe nâng người dạng gập thân

Lê Văn Dưỡng^{1*}, Nguyễn Minh Kha¹

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự Email: minhkha97@lqdtu.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo xây dựng mô hình và phân tích động lực học xe nâng gập thân khi thực hiện đồng thời các thao tác trong quá trình nâng tải. Mô hình động lực học xây dựng có tính đến độ đàn hồi và giảm chấn của các xy lanh thủy lực nâng các đốt. Phương trình Lagrange loại II được sử dụng để xây dựng hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của cơ hệ. Trên cơ sở đó, bài báo tiến hành khảo sát các thông số động lực học khi xe nâng thực hiện đồng thời các thao tác để nâng vật. Kết quả của bài báo là cơ sở cho bài toán điều khiển xe nâng để nâng cao hiệu suất, độ tin cậy trong quá trình vận hành.

Từ khóa: mô hình xe nâng, động lực học xe nâng; xe nâng người dạng gập thân.

1. Đặt vấn đề

Các loại máy nâng nói dung và xe nâng nói riêng là thiết bị vận chuyển được sử dụng phổ biến trong các lĩnh vực cần có thiết bị nhỏ gọn để vận chuyển các vật. Xây dựng mô hình và nghiên cứu động lực học (ĐLH) của xe nâng dạng gập thân và có ý nghĩa quan trọng trong việc thiết kế cũng như vận hành làm cơ sở cho bài toán điều khiển để nâng cao năng suất, độ tin cậy trong quá trình khai thác. Nghiên cứu động lực học của các loại máy nâng nói chung và xe nâng gập thân nói riêng là một vấn đề phức tạp và đã có nhiều công bố khoa học. Trong [1-3] đã nghiên cứu ĐLH của máy nâng, tuy nhiên mô hình nghiên cứu không phải là xe nâng dạng gập thân. Đã có một số công trình nghiên cứu về xe nâng dạng gập thân. Trong [4-7], mới chỉ nghiên cứu động học của xe nâng để đánh giá độ ổn định của xe mà chưa xét đến các thông số động lực học. Trong [8] tác giả đã xây dựng mô hình ĐLH tuy nhiên chưa xét đến dao động của xe nâng người dạng gập thân khi thực hiện đồng thời thao tác nâng các đốt có xét đến dao động của xe cơ sở.

2. Mô hình động lực học cần trục thủy lực ống lồng gập thân

Các giả thiết khi xây dựng mô hình: Các đốt nâng được coi là cứng tuyệt đối, đồng nhất và có tiết diện không đổi trên toàn bộ chiều dài của nó, toàn bộ khối lượng được quy dẫn về trọng tâm của nó; Trọng tâm thanh liên kết giữa đốt thứ ba với khoang nâng trọng tâm được quy dẫn về người đứng và khoang nâng. Bỏ qua biến dạng của nền đất trong quá trình vận hành; Bỏ qua ảnh hưởng của tải trọng gió.

Mô tả mô hình: Khâu 1 là xe cơ sở thực hiện: dao động với biên độ y và lắc với góc α ; Khâu 2 là đốt nâng thứ nhất được liên kết bằng khớp bản lề tại O₂ với trụ của xe nâng (trụ được cố định với xe cơ sở) và quay quanh khớp O₂ với góc nâng φ ; Khâu 3 là đốt nâng thứ hai được liên kết với đốt nâng thứ nhất bằng khớp bản lề tại O₃ và quay quanh khớp O₃ với góc nâng ψ ; Khâu 4 là vật nâng (khoang nâng và người nâng) được liên kết với đốt nâng thứ hai bằng khớp bản lề tại O₄ và quay quanh khớp O₄ với góc nâng θ . Chọn hệ trục tọa độ cố định O₀x₀y₀: tâm

^{*} Email: minhkha97@lqdtu.edu.vn

 O_0 đặt tại trọng tâm xe cơ sở, trục O_0x_0 song song với mặt nền máy đứng, O_0y_0 vuông góc với mặt nền máy đứng. Các hệ trục tọa độ địa phương được chọn như trên mô hình.

Các thông số mô hình:

 m_1, m_2, m_3, m_4 là khối lượng xe cơ sở, đốt nâng thứ nhất, thứ hai, thứ ba và vật nâng; J_1 , J_2, J_3, J_4 tương ứng là mô men quán tính của xe cơ sở, đốt nâng thứ nhất, thứ hai, thứ ba và vật nâng; k_{ct} tương ứng là độ cứng quy dẫn của chân tựa; b_{ct} hệ số giảm chấn quy dẫn của chân tựa, xy lanh nâng đốt thứ nhất, xy lanh nâng đốt thứ hai và xy lanh nâng đốt thứ ba $\angle GO_2A = \gamma$; $\angle O_2BA = \lambda$; $\angle O_2O_3C = \varepsilon$; $\angle O_4O_3D = \eta$; $\angle O_3O_4E = \chi$; $\angle O_4O_5F = \rho$; $O_2A=a$; $O_2B=b$; $O_3C=c$; $O_3D=d$; $O_4E = e, O_4F=f, z, O_2G = a_1$; $GI = d_1$; $O_2O_3 = a_2$; $O_3O_4 = a_3$ là các thông số kết cấu của xe nâng. Tọa độ trọng tâm của vật nâng (K) trong hệ tọa độ $O_4x_4y_4$ là (a_4, d_4) . Tọa độ suy rộng: $q = [q_i]^T = [y \ \alpha \ \varphi \ \psi \ \theta]^T (i = 1-5)$



Hình 1. Mô hình động lực học xe nâng người dạng gập thân Phương trình Lagrange loại II mô tả động lực học của cơ hệ có dạng:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q},\dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{D}(\mathbf{q},\dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \mathbf{Q}$$
(1)

trong đó: $\mathbf{M}(\mathbf{q}) = [m_{ij}]$ là ma trận khối lượng; $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = [c_{ij}]$ là ma trận quán tính ly tâm Coriolis; $\mathbf{D}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = [d_i]$ là ma trận cản; $\mathbf{g}(\mathbf{q}) = [g_i]$ là vecto lực suy rộng có thế.

* Xác định ma trận khối lượng:

- Vị trí gốc của hệ quy chiếu trong hệ tọa độ khớp là:

$$\mathbf{r}_{O_1}^{(0)} = \begin{bmatrix} 0 & -q_1 & 0 \end{bmatrix}^T, \mathbf{r}_{O_2}^{(1)} = \begin{bmatrix} a_1 & -d_1 & 0 \end{bmatrix}^T, \mathbf{r}_{O_3}^{(2)} = \begin{bmatrix} a_2 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T, \mathbf{r}_{O_4}^{(3)} = \begin{bmatrix} a_3 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T$$
(2)

- Các ma trận quay liên tiếp giữa các khâu được biểu diễn như sau:

$${}^{0}\mathbf{R}_{1} = \begin{bmatrix} \cos q_{2} & -\sin q_{2} & 0\\ \sin q_{2} & \cos q_{2} & 0\\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^{1}\mathbf{R}_{2} = \begin{bmatrix} \cos q_{3} & -\sin q_{3} & 0\\ \sin q_{3} & \cos q_{3} & 0\\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^{2}\mathbf{R}_{3} = \begin{bmatrix} \cos q_{4} & -\sin q_{4} & 0\\ \sin q_{4} & \cos q_{4} & 0\\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^{3}\mathbf{R}_{4} = \begin{bmatrix} \cos q_{5} & -\sin q_{5} & 0\\ \sin q_{5} & \cos q_{5} & 0\\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$
(3)

- Các ma trận trạng thái liên tiếp giữa các khâu trong cơ hệ:

$${}^{0}\mathbf{H}_{1} = \begin{bmatrix} {}^{0}\mathbf{R}_{1} & \mathbf{r}_{0_{1}}^{(0)} \\ {}_{0}^{T} & {}_{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q_{2} & -\sin q_{2} & 0 & 0 \\ \sin q & \cos q_{2} & 0 & -q_{1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$${}^{1}\mathbf{H}_{2} = \begin{bmatrix} {}^{1}\mathbf{R}_{2} & \mathbf{r}_{0_{2}}^{(1)} \\ {}_{0}^{T} & {}_{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q_{3} & -\sin q_{3} & 0 & a_{1} \\ \sin q_{3} & \cos q_{3} & 0 & d_{1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$${}^{2}\mathbf{H}_{3} = \begin{bmatrix} {}^{2}\mathbf{R}_{3} & \mathbf{r}_{0_{3}}^{(2)} \\ {}_{0}^{T} & {}_{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q_{4} & -\sin q_{4} & 0 & a_{2} \\ \sin q_{4} & \cos q_{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$${}^{3}\mathbf{H}_{4} = \begin{bmatrix} {}^{3}\mathbf{R}_{4} & \mathbf{r}_{0_{4}}^{(2)} \\ {}_{0}^{T} & {}_{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q_{4} & -\sin q_{4} & 0 & a_{3} \\ \sin q_{4} & \cos q_{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$(4)$$

- Ma trận trạng thái của các khâu trong hệ quy chiếu cố định :

$${}^{0}\mathbf{H}_{2} = {}^{0}\mathbf{H}_{1}{}^{1}\mathbf{H}_{2} = \begin{bmatrix} \cos\xi & -\sin\xi & 0 & -\cos q_{2}.a_{1} - \sin q_{2}.d_{1} \\ \sin\xi & \cos\xi & 0 & -\sin q_{2}.a_{1} + \cos q_{2}.d_{1} - q_{1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$
(5)

$${}^{0}\mathbf{H}_{3} = {}^{0}\mathbf{H}_{2}{}^{2}\mathbf{H}_{3} = \begin{bmatrix} \cos\beta & -\sin\beta & 0 & -\cos\xi.a_{1} - \cosq_{2}.a_{1} - \sinq_{2}.d_{1} \\ \sin\beta & \cos\beta & 0 & -\sin\xi.a_{2} - \sinq_{2}.a_{1} + \cosq_{2}.d_{1} - q_{1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$${}^{0}\mathbf{H}_{4} = {}^{0}\mathbf{H}_{3}{}^{3}\mathbf{H}_{4} = \begin{bmatrix} \cos\omega & -\sin\omega & 0 & \cos\beta.a_{3} + \cos\xi a_{2} - \cosq_{2}.a_{1} - \sinq_{2}.d_{2} \\ \sin\omega & \cos\omega & 0 & -\sin\beta.a_{3} - \sin\xi.a_{2} - \sinq_{2}.a_{1} - \cosq_{2}.d_{1} - q_{1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Với: $\xi = q_2 + q_3; \beta = q_2 + q_3 + q_4; \omega = q_2 + q_3 + q_{4+}q_5$

- Ma trận toán tử sóng của các vận tốc góc trong hệ tọa độ khớp:

$$\tilde{\omega}_{1}^{(1)} = {}^{0}\mathbf{R}_{1}^{T} {}^{0}\dot{\mathbf{R}}_{1}; \\ \tilde{\omega}_{2}^{(2)} = {}^{0}\mathbf{R}_{2}^{T} {}^{0}\dot{\mathbf{R}}_{2}; \\ \tilde{\omega}_{3}^{(3)} = {}^{0}\mathbf{R}_{3}^{T} {}^{0}\dot{\mathbf{R}}_{3}; \\ \tilde{\omega}_{4}^{(4)} = {}^{0}\mathbf{R}_{4}^{T} {}^{0}\dot{\mathbf{R}}_{4}$$
(6)

- Vận tốc góc các khâu ($\dot{\xi} = \dot{q}_2 + \dot{q}_3; \dot{\beta} = \dot{q}_2 + \dot{q}_3 + \dot{q}_4; \dot{\omega} = \dot{q}_2 + \dot{q}_3 + \dot{q}_4 + \dot{q}_5$):

$$\omega_{1}^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dot{q}_{2} \end{bmatrix}^{T}; \\ \omega_{2}^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dot{\xi} \end{bmatrix}^{T}; \\ \omega_{3}^{(3)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dot{\beta} \end{bmatrix}^{T}; \\ \omega_{4}^{(4)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dot{\omega} \end{bmatrix}^{T}$$
(7)

Tọa độ thuần nhất của khối tâm các khâu trong hệ tọa độ khớp:

$$\hat{\mathbf{u}}_{C_{1}}^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 - q_{1} & 0 & 0 \end{bmatrix}^{T}; \\ \hat{\mathbf{u}}_{C_{2}}^{(2)} = \begin{bmatrix} \frac{a_{2}}{2} & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{T}; \\ \hat{\mathbf{u}}_{C_{3}}^{(3)} = \begin{bmatrix} \frac{a_{3}}{2} & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{T}; \\ \hat{\mathbf{u}}_{C_{4}}^{(4)} = \begin{bmatrix} a_{4} & d_{4} & 0 & 1 \end{bmatrix}^{T}$$
(8)

Ma trận khối lượng suy rộng của cơ hệ được xác định :

$$\mathbf{M}(\mathbf{q}) = \sum_{i=1}^{5} m_i J_{T_i}^T J_{T_i} + \sum_{i=1}^{5} m_i I_i J_{R_i}^{(i)}$$
(9)

 $J_T; J_R$ là ma trận Jacobi tịnh tiến và quay.

* Ma trận quán tính ly tâm và Coriolis được xác định theo công thức:

$$\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \mathbf{M}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} (\mathbf{I}_{n} \otimes \dot{\mathbf{q}}) \right) + \left(\frac{\partial \mathbf{M}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} (\dot{\mathbf{q}} \otimes \mathbf{I}_{n}) \right) - \left(\frac{\partial \mathbf{M}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} (\dot{\mathbf{q}} \otimes \mathbf{I}_{n}) \right)^{T} \right]$$
(10)

* Vécto lực có thế được xác định bởi:

$$\mathbf{g}(\mathbf{q}) = -\left(\frac{\partial\Pi}{\partial q}\right)^T = \left(\sum_{i=1}^5 m_i J_{T_i}^T\right) \overline{\mathbf{g}} - \left(\frac{\partial\Pi_2}{\partial q}\right)^T$$
(11)

Với Π_2 là thế năng đàn hồi của chân tựa (Π_{ct}) và xy lanh nâng các đốt (Π_{di}):

$$\Pi_{2} = \Pi_{ct} + \Pi_{di} = \frac{k_{ct} \left(q_{1} + z.q_{2}\right)^{2}}{2} + \frac{k_{ct} \left(q_{1} - z.q_{2}\right)^{2}}{2} + \frac{\sum k_{di} \Delta_{di}^{2}}{2}$$
(12)

trong đó: Δ_{di} (*i*=1-3) là độ biến dạng của dầu thủy lực trong xy lanh nâng đốt.

Xét
$$\triangle AO_2B$$
: $\Delta_{dl} = l_{AB}(\varphi) - l_{AB}(\varphi_0) = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab\sin\delta} - \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab\sin\delta_0}$;

Xét ΔCO₃D:
$$\Delta_{d2} = l_{CD}(\psi) - l_{CD}(\psi_0) = \sqrt{c^2 + d^2 + 2cd\cos\mu} - \sqrt{a^2 + b^2 + 2cd\cos\mu_0}$$
;
Xét ΔEO₄F: $\Delta_{d3} = l_{EF}(\theta) - l_{EF}(\theta_0) = \sqrt{e^2 + f^2 + 2ef\cos\zeta} - \sqrt{e^2 + f^2 + 2ef\cos\zeta_0}$.

với: $\delta = \gamma + \lambda - \varphi$, $\delta_0 = \gamma + \lambda - \varphi_0$, $\mu = \psi + \varepsilon + \eta$, $\mu_0 = \psi_0 + \varepsilon + \eta$; $\zeta = \theta + \chi + \rho$; $\zeta_0 = \theta_0 + \chi + \rho$, φ_0 , ψ_0 và θ_0 là góc nâng đốt thứ nhất, đốt thứ hai và vật nâng tại thời điểm ban đầu.

* Ma trận hệ số cản được xác định như sau:

$$\mathbf{D}\dot{\mathbf{q}} = \left(\frac{\partial\Phi}{\partial\dot{\mathbf{q}}}\right)^T \tag{13}$$

Với ϕ là hàm hao tán cơ hệ hệ bao gồm hàm hao tán của các xy lanh thủy lực và được xác định như sau:

$$\Phi = \frac{1}{2} b_{ct} \left(\dot{q}_1 + z \cdot \dot{q}_2 \right)^2 + \frac{1}{2} b_{ct} \left(\dot{q}_1 - z \cdot \dot{q}_2 \right)^2 \tag{14}$$

Lực suy rộng: của cơ hệ ứng với các tọa độ suy rộng: $q = [q_i]^T = [y \ \alpha \ \varphi \ \psi \ \theta]^T$

$$Q = [Q_i]^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & M_{d1} & M_{d2} & M_{d3} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & F_{d1}h_1 & F_{d2}h_2 & F_{d3}h_3 \end{bmatrix}^T$$
(15)

trong đó: F_{d1} , F_{d2} , F_{d3} là các lực của xy lanh nâng đốt thứ nhất, xy lanh nâng đốt thứ hai và xy lanh nâng vật nâng tương ứng; h_1 , h_2 , h_3 là cánh tay đòn của các lực F_{d1} , F_{d2} , F_{d3} tương ứng.

Theo [2], lực xy lanh được xác định theo công thức tổng quát sau:

$$F_{xl} = F_{xl_{-}t} + \left(F_{xl_{-}max} - F_{xl_{-}t}\right) \left(1 - \frac{t^2}{t_s}\right)$$
(16)

trong đó: *t*, *t*_s là thời gian vận hành và thời gian khởi động của xy lanh; F_{xl_t} là lực xy lanh tĩnh, F_{xl_max} là lực lớn nhất của xy lanh khi khởi động và được xác định theo công thức [2]:

Đối với xy lanh nâng đốt thứ nhất: $F_{d1_t} = 1,5(m_{d1} + m_{d2} + m_{d3} + m_{vn})g; F_{d1_{max}} = 1,4F_{d1_t};$ Đối với xy lanh nâng đốt thứ hai: $F_{d2_t} = 1,5(m_{d2} + m_{d3} + m_{vn})g; F_{d2_{max}} = 1,4F_{d2_t};$

Đối với xy lanh nâng vật: $F_{d3_t} = 1,5(m_{d3} + m_{vn})g; F_{d3_{max}} = 1,4F_{d3_t};$

Cánh tay đòn của các lực xy lanh h_1 , h_2 , h_3 được xác định tương ứng:

$$h_1 = b\sin(\theta_1); h_2 = d\sin(\theta_2); h_3 = f\sin(\theta_3);$$

$$\mathcal{G}_{1} = \arccos\left(\frac{b^{2} + l_{AB}^{2}(\varphi) - a^{2}}{2bl_{AB}(\varphi)}\right); \mathcal{G}_{2} = \arccos\left(\frac{d^{2} + l_{CD}^{2}(\psi) - c^{2}}{2dl_{CD}(\psi)}\right); \mathcal{G}_{3} = \arccos\left(\frac{f^{2} + l_{EF}^{2}(\theta) - e^{2}}{2fl_{EF}(\theta)}\right)$$

Từ (10), (11), (12) và (14) bằng cách sử dụng Maple các phần tử của các ma trận trong (1) được xác định như sau (Với $m_3 + 2m_4 = m_t$; $m_2 + 2m_3 + 2m_4 = m_p$; $m_2 + m_3 + m_4 = m_r$; $m_2 + 4m_3 = m_q$):

$$\begin{split} m_{11} &= m_1 + m_2 + m_3 + m_4; \\ m_{12} &= m_{21} = -m_4 a_4 \cos \omega + m_4 d_4 \sin \omega - \frac{1}{2} \Big[a_3 m_t \cos \beta + a_2 m_p \cos \xi + m_r \left(a_1 \cos q_2 + d_1 \sin q_2 \right) \Big]; \\ m_{13} &= m_{31} = -m_4 a_4 \cos \omega + m_4 d_4 \sin \omega - \frac{1}{2} \Big(a_3 m_t \cos \beta + a_2 m_p \cos \xi \Big); \\ m_{14} &= m_{41} = -m_4 a_4 \cos \omega + m_4 d_4 \sin \omega - \frac{1}{2} a_3 m_t \cos \beta; \end{split}$$

 $m_{15} = m_{51} = -m_4 a_4 \cos \xi + m_4 d_4 \sin \xi;$

$$\begin{split} m_{22} &= J_1 + J_2 + J_3 + J_4 - 2m_4 \left(a_i a_4 - a_1 d_4 \right) \cos\beta + 2m_4 \left(a_i d_4 + d_i a_4 \right) \sin\beta - a_i a_3 m_i \cos\xi + \frac{m_q a_2^2}{4} \\ &+ d_i a_3 m_i \sin\xi + 2a_2 m_4 \left[a_4 \cos\left(\omega - \xi\right) - d_4 \sin\left(\omega - \xi\right) \right] - a_i a_2 m_r \cos q_3 + d_i a_2 m_r \sin q_3 + \frac{m_3 a_3^2}{4} \\ &+ a_2 a_3 m_i \cos q_4 + 2a_3 m_4 \left(a_4 \cos q_5 - d_4 \sin q_5 \right) + m_4 \left(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + d_1^2 + d_4^2 \right) + \frac{(m_2 + m_3) \left(a_1^2 + d_1^2 \right)}{4} \\ m_{23} &= m_{32} = -m_4 \left(a_i a_4 - d_i d_4 \right) \cos\beta + 2m_4 \left(a_i d_4 + d_i a_4 \right) \sin\beta - a_i a_3 m_i \cos\xi + \frac{1}{4} \left(m_2 + m_3 \right) \left(a_1^2 + d_1^2 \right) \\ + d_i a_3 m_i \sin\xi + 2a_2 a_4 m_4 \cos\left(\omega - \xi\right) - 2a_2 d_4 m_4 \sin\left(\omega - \xi\right) - a_i a_2 m_r \cos q_3 + d_i a_2 m_r \sin q_3 + \frac{1}{4} m_q a_2^2 \\ &+ a_2 a_3 m_i \cos q_4 + 2a_4 a_3 m_4 \cos q_5 - 2d_4 a_3 m_4 \sin q_5 + m_4 \left(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + d_1^2 + d_4^2 \right) + \frac{1}{4} m_3 a_3^2; \\ m_{24} &= m_{42} = -m_4 \left(a_i a_4 - d_i d_4 \right) \cos\beta + m_4 \left(a_i d_4 + d_i a_4 \right) \sin\beta - \frac{1}{2} a_i a_3 m_r \cos\xi + d_i a_3 m_r \sin\xi \\ &+ a_2 a_4 m_4 \cos\left(\omega - \xi\right) - a_2 d_4 m_4 \sin\left(\omega - \xi\right) - \frac{1}{2} a_2 a_3 m_r \cos q_4 + 2a_4 a_3 m_4 \cos q_5 - 2d_4 a_3 m_4 \sin q_5 + \\ &+ m_4 \left(a_3^2 + a_4^2 + d_4^2 \right) + \frac{1}{4} m_3 a_3^2 + J_3 + J_4; \\ m_{25} &= m_{52} = -m_4 \left(a_i a_4 - d_i d_4 \right) \cos\beta + 2m_4 \left(a_i d_4 + d_i a_4 \right) \sin\beta + a_2 a_4 m_r \cos\left(\omega - \xi\right) \\ &+ d_4 a_2 m_4 \sin\left(\omega - \xi\right) - 2d_4 a_2 m_4 \sin\left(\omega - \xi\right) + a_2 a_3 m_r \cos q_4 + 2a_2 m_4 \left(a_3 \cos q_5 - 2d_4 a_3 m_4 \sin q_5 \right) \\ &+ m_4 \left(a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + d_4^2 \right) + \frac{1}{4} \left(m_q + m_3 \right) a_3^2 + J_2 + J_3 + J_4 \\ m_{34} &= m_{43} = J_3 + J_4 + a_2 a_4 m_4 \cos\left(\omega - \xi\right) - 2d_4 a_2 m_4 \sin\left(\omega - \xi\right) + \frac{a_2 a_3 m_i \cos q_4 + 2a_3 m_i \cos q_4 + \frac{a_2 a_3 m_i \cos q_4}{2} \\ &+ a_2 a_2 m_4 \left(a_3 \cos q_5 - d_4 \sin q_5 \right) + m_4 \left(a_3^2 + a_4^2 + d_4^2 \right) \\ \\ m_{35} &= m_{53} = a_{53} = a_2 a_4 \left[m_4 \cos\left(\omega - \xi\right) - 2d_4 a_3 m_4 \sin\left(\omega - \xi\right) \right] \\ + a_3 m_4 \left(a_2 \cos q_5 + d_4 \sin q_5 \right) + m_4 \left(a_3^2 + a_4^2 + d_4^2 \right) \\ \\ m_{35} &= m_{53} = a_{53} = a_2 a_4 \left[m_4 \cos\left(\omega - \xi\right) - 2d_4 a_3 (\cos - \xi) \right] \\ + a_3 m_4 \left(a_2 \cos q_5 + d_4 \sin q_5 \right) + m_4 \left(a_4^2 + d_4^2 \right) + J_4 \\ \\$$

$$\begin{split} m_{44} &= a_2 m_4 \Big[a_4 \cos \left(\omega - \zeta \right) - 2 d_4 \sin \left(\omega - \zeta \right) \Big] + m_4 \left(a_3^2 + a_4^2 + d_4^2 \right) + J_3 + J_4 ; \\ m_{55} &= m_5 = a_3 m_6 \Big[a_4 \cos a_5 - d_4 \sin a_5 \Big] + m_4 \Big(a_4^2 + d_4^2 \Big) + J_4 ; \\ m_{55} &= m_4 \Big(a_4^2 + d_4^2 \Big) + J_4 ; \\ c_{11} &= c_{51} = c_{55} = 0; \\ c_{12} &= -m_4 \Big(a_4 \cos \omega + d_4 \sin \omega \Big) - \frac{a_3 m_1 \cos \beta}{2} + \frac{a_2 m_p \cos \zeta \zeta}{2} ; \\ c_{13} &= -m_2 a_2 \cos \omega + m_2 d_4 \sin \omega - \frac{a_3 m_1 \cos \beta}{2} + \frac{a_3 m_p \cos \zeta \zeta}{2} ; \\ c_{15} &= m_4 (m_4 d_4 \sin \omega - a_4 \cos \omega) \\ c_{22} &= J_1 + J_2 + J_3 + J_4 - 2 m_4 \Big(a_4 a_4 - d_4 a_4 \Big) \cos \beta + 2 m_4 \Big(a_4 (a_4 - d_4 a_4) \cos \beta - a_4 a_3 m_5 \cos \left(a_5 + q_4 \right) \\ + d_4 a_4 m_5 \sin \left(q_3 + q_4 \right) + 2 a_3 m_4 \Big[a_4 \cos \left(\omega - \zeta \right) - d_4 \sin \left(\omega - \zeta \right) \Big] - a_4 a_3 m_c \cos q_1 + d_4 a_3 m_s \sin q_1 \\ + a_2 a_3 m_c \cos q_1 + 2 a_4 a_3 m_4 \cos q_3 - 2 d_4 a_3 m_4 \sin q_5 + m_4 \Big(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + d_4^2 \Big) + \Big(m_2 + m_3 \Big) d_1^2 \\ + \frac{1}{4} m_q a_2^2 + \frac{1}{4} \Big(m_2 + m_3 \Big) a_1^2 + \frac{1}{4} m_3 a_3^3; \\ c_{23} &= J_2 + J_3 + J_4 - m_4 \Big(a_4 - d_4 \Big) \cos \beta + m_4 \Big(a_4 d_4 - d_4 a_4 \Big) \cos \beta - \frac{a_4 a_3 m_c \cos q_3}{2} + a_4 a_3 m_c \cos q_1 \\ + 2 a_4 m_4 \Big(a_3 \cos q_5 - d_4 \sin q_5 \Big) + m_4 \Big(a_3^2 + a_4^2 + d_4^2 \Big) + \frac{1}{4} m_q a_2^2 + \frac{1}{4} m_s a_3^2 \\ c_{24} &= J_3 + J_4 - m_4 \Big(a_4 a_4 - d_4 \Big) \cos \beta + m_4 \Big(a_4 d_4 - d_4 a_4 \Big) \cos \beta - \frac{a_4 a_3 m_c \cos q_3}{2} + a_2 a_3 m_c \cos q_4 \\ + 2 a_4 m_4 \Big(a_3 \cos q_5 - d_4 \sin q_5 \Big) + m_4 \Big(a_3^2 + a_4^2 + d_4^2 \Big) + \frac{1}{4} m_g a_2^2 + \frac{1}{4} m_s a_3^2 \\ c_{24} &= J_3 + J_4 - m_4 \Big(a_4 a_4 - d_4 \Big) \cos \beta + m_4 \Big(a_4 d_4 - d_4 a_4 \Big) \cos \beta - \frac{a_4 a_3 m_c \cos q_4}{2} + a_2 a_3 m_c \cos q_4 \\ + 2 a_4 m_6 \Big(a_3 \cos q_5 - d_4 \sin q_5 \Big) + m_4 \Big(a_3^2 + a_4^2 + d_4^2 \Big) + \frac{1}{4} m_3 a_3^2 \\ c_{23} &= J_2 + J_3 + J_4 - m_4 \Big(a_4 a_4 - d_4 d_4 \Big) \cos \beta - \frac{a_4 a_3 m_c \cos q_4}{2} + a_2 a_3 m_c \cos q_4 \\ + \frac{d_4 a_3 m_s \sin (q_3 + q_4)}{2} + 2 a_2 m_4 \Big[a_4 \cos (\omega - \zeta) - d_4 \sin (\omega - \zeta) \Big] - \frac{a_4 a_3 m_c \cos q_4}{2} + \frac{a_2 a_3 m_c \cos q_4}{2} \\ + \frac{d_4 a_3 m_c \sin q_4}{2} + \frac{1}{4} m_4 a_4^2 + \frac{1}{4} a_4^2 + \frac{1}{4} a_4^2 + \frac{1}{4} a_4^2 a_4^2 \\ +$$

$$+2m_4a_3\left(a_4\cos q_5 - a_3m_4\sin q_5\right) + +m_4\left(a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + d_4^2\right) + \frac{1}{4}m_qa_2^2 + \frac{1}{4}m_3a_3^2$$

$$\begin{aligned} c_{34} &= J_3 + J_4 - a_2 m_4 \left[a_4 \cos(\omega - \xi) - d_4 \sin(\omega - \xi) \right] + a_2 a_3 m_4 \cos q_4 \\ &+ 2m_4 a_3 \left(a_4 \cos q_5 - a_3 m_4 \sin q_5 \right) + m_4 \left(a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + a_4^2 \right) + \frac{1}{4} m_q a_2^2 + \frac{1}{4} m_3 a_3^2 \right]^2 \\ c_{35} &= a_2 m_4 \left[a_4 \cos(\omega - \xi) - d_4 \sin(\omega - \xi) \right] + m_4 a_3 \left(a_4 \cos q_5 - a_3 m_4 \sin q_5 \right) \\ &+ m_4 \left(a_4^2 + d_4^2 \right) + \frac{1}{4} m_8 a_2^2 + J_4 \\ c_{44} &= J_4 + m_4 a_4 \left(a_4 \cos q_5 - a_3 m_4 \sin q_5 \right) + m_4 \left(a_2^2 + a_1^2 + d_4^2 \right) + \frac{1}{4} m_3 a_3^2 \right]^2 \\ c_{44} &= J_3 + J_4 + 2m_4 a_5 \left(a_4 \cos q_5 - a_3 m_4 \sin q_5 \right) + m_4 \left(a_2^2 + a_1^2 + d_4^2 \right) + \frac{1}{4} m_3 a_3^2 \right]^2 \\ c_{45} &= J_3 + J_4 + a_2 m_4 \left[a_4 \cos(\omega - \xi) - d_4 \sin(\omega - \xi) \right] + \frac{a_4 a_3 m_5 \cos q_4}{2} + 2m_4 a_3 \left(a_4 \cos q_5 - a_3 m_4 \sin q_5 \right) \\ &+ m_4 \left(a_2^2 + a_3^2 + d_4^2 \right) + \frac{1}{4} m_3 a_3^2 \\ c_{42} &= -m_6 \left(a_4 a_4 - d_4 a_4 \right) \cos \omega + m_4 \left(a_4 - d_4 a_4 \right) \sin \omega - \frac{a_4 a_3 m_5 \cos(q_5 + q_4)}{2} + \frac{d_4 a_3 m_5 \sin(q_5 + q_4)}{2} \right) \\ &+ a_4 m_4 \left(a_5 \cos q_5 - d_4 \sin q_5 \right) + m_4 \left(a_3^2 + a_4^2 + d_4^2 \right) + \frac{1}{4} m_3 a_1^2 + J_3 + J_4 \\ c_{52} &= J_4 - m_6 \left(a_4 a_1 - d_4 a_4 \right) \cos \omega + m_6 \left(a_4 a_1 - d_4 a_4 \right) \sin \omega + a_2 m_4 \left[a_4 \cos(\omega - \xi) - d_4 \sin(\omega - \xi) \right] \\ &+ m_4 a_3 \left(a_4 \cos q_5 - a_3 m_4 \sin q_5 \right) + m_4 \left(a_2^2 + d_4^2 \right) \\ c_{53} &= J_4 + a_3 m_4 \left[a_4 \cos(\omega - \xi) - d_4 \sin(\omega - \xi) \right] + m_4 a_3 \left(a_4 \cos q_5 - a_3 m_4 \sin q_5 \right) + m_4 \left(a_2^2 + d_4^2 \right) \\ c_{54} &= J_4 + m_4 a_3 \left(a_4 \cos q_5 - a_3 m_4 \sin q_5 \right) + m_4 \left(a_2^2 + d_4^2 \right) \\ c_{54} &= J_4 + m_4 a_3 \left(a_4 \cos q_5 - a_3 m_4 \sin q_5 \right) + m_4 \left(a_2^2 + d_4^2 \right) \\ g_1 &= - \left(m_4 + m_2 + m_3 + m_4 \right) g + 2k_\alpha q_1 ; \\ g_2 &= - \left[m_4 a_4 \cos \omega - m_4 a_4 \sin \omega + \frac{m_4 \cos \beta \beta}{2} + a_2 m_5 \cos (\omega - \xi) + m_5 \left(a_4 \cos q_2 + a_4 \sin q_2 \right) \right] g + 2k_\alpha z^2 q_2 \\ g_3 &= \left(m_4 a_4 \cos \omega - m_4 d_4 \sin \omega + \frac{m_4 \cos \beta \beta}{2} + a_2 m_5 \cos \xi \right) g ; \\ g_4 &= \left(m_4 a_4 \cos \omega - m_4 d_4 \sin \omega + \frac{a_3 m_5 \cos \beta \beta}{2} \right) g ; \\ g_5 &= m_4 g \left(a_4 \cos \omega - m_4 d_4 \sin \omega + \frac{a_3 m_5 \cos \beta \beta}{2} \right) g ; \\ g_5 &= m_4 g \left(a_4 \cos \omega - m_4 d_4 \sin \omega + \frac{a_3 m_5 \cos \beta \beta}{2} \right) g ; \\ g_5 &= m_4 g \left(a_4 \cos \omega -$$

 $m_{1} = 180 \text{ (kg)}; J_{1} = 12,5.10^{3} \text{ (kg.m}^{2}); m_{2} = 150 \text{ (kg)}; J_{2} = 10.10^{3} \text{ (kg.m}^{2}); m_{3} = 125 \text{ (kg)}; J_{3} = 8,75.10^{3} \text{ (kg.m}^{2}); m_{4} = 120 \text{ (kg)}; J_{4} = 9,75.10^{3} \text{ (kg.m}^{2}); a_{1} = 0,8 \text{ (m)}; d_{1} = 1,0 \text{ (m)}; a_{2} = 1,6 \text{ (m)}; a_{3} = 1,4 \text{ (m)}; a_{4} = 1,2 \text{ (m)}; d_{4} = 0,85 \text{ (m)}; z = 1,15 \text{ (m)}; b_{ct} 200 \text{ (Ns/m)}; a = 0,45 \text{ (m)}; b = 0,5 \text{ (m)}; c = 0,5 \text{ (m)}; d = 0,65 \text{ (m)}; e = 0,15 \text{ (m)}; f = 0,15 \text{ (m)}; t_{s} = 3(\text{s}); g = 9,81(\text{m/s}^{2}); \lambda = 9^{0}; \gamma = 12^{0}; \varepsilon = 8^{0}; \eta = 13^{0}; \chi = 12^{0}; \rho = 11^{0}; k_{ct} = 25000 \text{ (N/m)};$ Diều kiện đầu $\begin{bmatrix} y \ \alpha \ \varphi \ \psi \ \theta \end{bmatrix}^{T} = \begin{bmatrix} 0 \ 0 \ \frac{\pi}{12} \ \frac{5\pi}{6} \ \frac{\pi}{3} \end{bmatrix}$

Giải hệ phương trình (1) bằng phần mềm Matlab ta thu được các kết quả thể hiện trên Hình 2 - 6. Nhận xét kết quả:

Trong khoảng 3s đầu tiên (giai đoạn khởi động), các giá trị góc nâng đốt cần thứ nhất, thứ hai và thứ ba dịch chuyển chậm; sự dịch chuyển trọng tâm và góc lóc xe cơ sở ban đầu chưa theo quy luật nhất định. Sau 3s (giai đoạn bình ổn), các giá trị góc nâng tăng tuyến tính; sự dịch chuyển trọng tâm và góc lóc xe cơ sở theo quy luật hình sin cụ thể:

 Chuyển vị trọng tâm của xe cơ sở: Xe cơ sở dao động với biên độ theo chiều tăng dần sau khoảng 15 (s) biên độ dao động khoảng 9 cm;

Góc lắc của xe cơ sở: Sau khoảng 15 (s) xe cơ sở dao động dạng hình sin theo chiều tăng dần với biên độ khoảng 10⁰;

- Góc nâng đốt thứ nhất: Trong khoảng 15 (s) đốt thứ nhất nâng được khoảng 45⁰.
- Góc nâng đốt thứ hai: Trong khoảng 15 (s) đốt thứ hai nâng được khoảng 30° .
- Góc nâng khoang nâng: Trong khoảng 15 (s) khoang nâng được khoảng 20⁰.



Hình 2. Chuyển vị trọng tâm của xe cơ sở



Hình 4. Chuyển vị góc nâng đốt thứ nhất



Hình 3. Chuyển vị góc lắc xe cơ sở



Hình 5. Chuyển vị góc nâng đốt thứ hai



Hình 6. Chuyển vị góc nâng đốt thứ ba

4. Kết luận

Bài báo đã xây dựng mô hình động lực học và hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động của xe nâng người dạng gập thân trong quá trình nâng vật khi thực hiện đồng thời các thao tác. Trên cơ sở đó, bài báo tiến hành khảo sát các thông số động lực học như góc lắc xe cơ sở, chuyển vị trọng tâm xe cơ sở, góc chuyển vị của các đốt nâng. Mô hình động lực học được xây dựng cũng như kết quả thu được trong bài báo có thể làm cơ sở để nâng cao hiệu quả trong quá trình vận hành cũng như xây dựng thuật toán và thiết kế bộ điều khiển cho xe nâng người dạng gập thân.

Tài liệu tham khảo (References)

- Lương Trường Giang (2019). Nghiên cứu phương pháp tính toán cần hộp ống lồng trên cần trục, Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường, Số đặt biệt (10/2019), tr.213-219.
- 2. Le Van Duong, Le Anh Tuan (2022). *Modeling and observer-based robust controllers for telescopic truc kcranes*, Mechanism and Machine Theory,

https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2022.104869.

- Lê Văn Dưỡng, Nguyễn Minh Kha (2023). Phân tích động lực học của xe nâng trong quá trình di chuyển kết hợp với nâng tải, Tạp chí nghiên cứu khoa học và công nghệ Quân sự, <u>DOI:</u> <u>https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.92.2023.160-166</u>
- 4. Xu-hong GAO, Xiang-yang XU, Shu-han WANG1, Chun-ji WANG (2016). *Simulation Analysis and Experiment for the Articulating Booms of the Mobile Elevating Work Platforms*, International Conference on Advanced Manufacture Technology and Industrial Application (AMTIA 2016)
- Robert Davis, Emily Adams (2017). Dynamic Modeling and Simulation of Aerial Work Platforms on Uneven Terrain, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 9(10) 1-9, DOI: 10.1177/1687814017720876
- 6. Robert Davis, Emily Adams (2015). *Dynamic Analysis of Aerial Work Platform Working Device Based on Virtual Prototype*, International Conference on Power Electronics and Energy Engineering (PEEE 2015).
- Xuhong Gao, Xiangyang Xu and Di Sun (2015). Design of the Oscillating Mechanism of the Selfpropelled Aerial Work Platforms, International Conference on Advanced Manufacturing and Industrial Application (ICAMIA 2015).
- 8. Eileen C. Hernandez (2012). *Dynamic characterization and analysis of aerial lifts*, Georgia Institute of Technology.

1444

Abstract: The article presents the development and analysis of the dynamics of a folding-arm forklift during simultaneous operations in the loading process. The dynamic model takes into account the elasticity and damping of the hydraulic cylinders used for lifting the loads. The second-order Lagrange equations are employed to construct the system of differential equations that describe the motion of the mechanical system. Based on this model, the article investigates the dynamic parameters when the forklift performs multiple operations for lifting objects. The results of the study serve as a foundation for the control problem of the forklift, aiming to enhance its performance and reliability during operation

Keywords: forklift model, dynamic forklift, articulating boom lift.

Xây dựng mô hình mô phỏng điều khiển tốc độ tự động của xe trong quá trình tăng tốc, phanh và duy trì tốc độ

Lưu Công Hiển^{1*}, Nguyễn Văn Trà¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt:

Bài báo này tập trung nghiên cứu xây dựng mô hình mô phỏng điều khiển tốc độ xe ô tô 2 cầu chuyển động thẳng. Đây là mô hình hệ thống điều khiển tốc độ tự động có khối điều khiển PID. Đồng thời kết quả cũng chỉ ra những ưu điểm vượt trội của hệ thống điều khiển tốc độ tự động so với hệ thống điều khiển tốc độ thông thường.

Từ khóa: Hệ thống điều khiển tốc độ tự động, xe TOYOTA FORTUNER PMG.

1. Đặt vấn đề

Trên thực tế, khi ô tô tham gia lưu thông trên đường sẽ có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến tính ổn định và an toàn chuyển động cụ thể như: kích thước xe, kết cấu của hệ thống treo, ...và những tác động từ người lái như phanh, ga, quay vô lăng lái,... Đặc biệt, có những trường hợp ô tô mất ổn định động lực học trong quá trình chuyển động như khi tăng tốc hay quay vòng, rồi đến các yếu tố tác động bất ngờ bên ngoài khác, như vậy sẽ ảnh hưởng rất lớn đến an toàn chuyển động. Với sự phát triển không ngừng của khoa học kỹ thuật và công nghệ, nhiều thành tựu đã được áp dụng vào ngành công nghiệp chế tạo ô tô mục đích nâng cao khả năng phục vụ, nâng cao độ tin cậy của ô tô. Hơn nữa, việc tự động hóa ô tô còn giảm nhẹ cường độ lao động của người lái, đảm bảo an toàn tốt nhất cho người, hàng hóa và phương tiện, tăng vận tốc trung bình, tăng khối lượng hàng hóa vận chuyển, tăng tính tiện nghi và tính kinh tế nhiên liệu, giảm giá thành sản xuất,...

Trong suốt quá trình lái xe, người lái phải tập trung cao độ trong việc điều khiển ô tô và xử lý các tình huống. Chính vì lẽ đó, người lái thường cảm thấy mệt mỏi và căng thẳng dẫn đến chán nản, mất tập trung trên những chuyến đi đường dài. Yêu cầu đặt ra là phải có một hệ thống điều khiển tốc độ giúp cho người lái xe thoải mái, điều khiển xe an toàn hơn .Ngoài ra, trong một số trường hợp hệ thống cũng như tăng tính ổn định tốc độ trong giới hạn cho phép, tránh vượt quá tốc độ trên đường cũng như tăng tính ổn định , tiết kiệm nhiên liệu trên ô tô. Trong bài báo này, tác giả tập trung xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển tốc độ tự động xe TOYOTA FORTUNER PMG.

2. Động lực học chuyển động thẳng của xe

Để xây dựng mô hình toán học chuyển động của xe trước hết ta phải mô hình hoá xe, thực chất đó là quá trình thiết lập mô hình vật lý của xe. Các mô hình vật lý đơn giản chỉ kể đến các tương tác cơ học giữa xe với môi trường thường sử dụng trong khảo sát động lực học là mô hình không gian, mô hình phẳng.

Việc xây dựng mô hình không gian khảo sát động lực học đòi hỏi rất nhiều thời gian và công sức nghiên cứu vì nếu xem xe như một vật rắn chuyển động thì khi đó nó có sáu bậc tự do

^{*} Email: luuconghien.ktqs.93@gmail.com

gồm ba chuyển động dọc theo ba trục tọa độ Ox, Oy, Oz và ba chuyển động quay quanh các trục đó. Trong phạm vi của bài báo chỉ xây dựng mô hình toán học cho việc nghiên cứu mô hình phẳng có ba bậc tự do. Các giả thiết xây dựng mô hình vật lý khi khảo sát chuyển động thẳng xe ô tô thể hiện trong tài liệu [2]. Mô hình vật lý khảo sát theo chuyển động thẳng xe ô tô được biểu diễn Hình 1.



Hình 1. Mô hình khảo sát chuyển động thẳng xe 2 cầu

Trong đó: G - Trọng lượng xe; N - Phản lực pháp tuyến nền; Pk - Lực kéo; Rm - Lực cản móc kéo; P_{ω} - Lực cản không khí; F_J - Lực quán tính; P_f - Lực cản chuyển động thẳng; Gcos α - Trọng lượng bám; α - Góc dốc

Dùng phương pháp tách cấu trúc với mô hình động lực học ô tô, ta có ba vật: khối lượng được treo m; khối lượng không được treo trước m_{A1}, treo sau m_{A2}.



Hình 2. Mô hình ô tô phẳng tách cấu trúc

* Phương trình chuyển động tịnh tiến của các vật:

$$m\ddot{x} = -F_{x1} - F_{x2} - F_{wx} - F_{G}\sin\alpha$$
(1)

$$m_{A1}\ddot{x}_{A1} = F_{x1} + F_{x1} - F_{G1}\sin\alpha$$
⁽²⁾

$$m_{A2}\ddot{x}_{A1} = F_{x2} + F_{x2} - F_{G2}\sin\alpha$$
(3)

Cộng ba phương trình, với giả thiết khối lượng có cùng vận tốc dài, ta có phương trình chuyển động tịnh tiến phương x, $m_0 = m + m_{A1} + m_{A2}$:

$$(m + m_{A1} + m_{A2})x = F_{x1} + F_{x2} + F_{G0}\sin\alpha - F_{wx}$$
(4)

$$m_0 \ddot{x} = F_{X1} + F_{X2} + F_{G0} \sin \alpha - F_{wx}$$
(5)

* Phương trình chuyển động quay của bánh xe:

$$J_{A1}\ddot{\varphi}_{A1} = M_1 - F_{x1}r_{d1} - F_{z1}e_{x1}$$
(6)

$$J_{A2}\ddot{\varphi}_{A2} = M_2 - F_{x2}r_{d2} - F_{z2}e_{x2}$$
(7)

Khi thay hệ số cản lăn f_1 và f_2 , ta có hệ tương đương:

$$J_{A1}\ddot{\varphi}_{A1} = M_{A1} - M_{B1} - (F_{x1} + F_{z1}f_1)r_{d1}$$
(8)

$$J_{A2}\ddot{\varphi}_{A2} = M_{A2} - M_{B2} - (F_{x2} + F_{z2}f_2)r_{2d1}$$
⁽⁹⁾

Với giả thiết thân xe và bánh xe có cùng vận tốc dài, thay hệ số cản lăn f=e/r, ta có hệ phương trình vi phân cấp 2 gồm 3 phương trình:

$$\begin{cases} (m + m_{A1} + m_{A2})\ddot{x} = F_{x1} + F_{x2} - F_{wx} - (m + m_{A1} + m_{A2})g\sin\alpha \\ J_{A1}\ddot{\phi}_{A1} = M_{A1} - M_{B1} - (F_{x1} + F_{z1}f_{1})r_{d1} \\ J_{A2}\ddot{\phi}_{A2} = M_{A2} - M_{B2} - (F_{x2} + F_{z2}f_{2})r_{2d1} \end{cases}$$
(10)

3. Xây dựng mô hình mô phỏng điều khiển tốc độ

Xây dựng bộ điều khiển tốc độ PID: Nhiệm vụ của bộ điều khiển là phát hiện sai lệch e, tạo hàm điều khiển u sao cho hệ thống ổn định đầu ra y và đảm bảo chất lượng động, tĩnh theo yêu cầu, theo giá trị đặt r [1]. Bộ điều khiển có phản hồi dùng PID có cấu trúc như hình 3; trong đó C(s) là bộ điều khiển PID, P(s) là hàm truyền của đối tượng.

PID được viết tắt bởi cụm từ **Proportional Integral Derivative**, có nghĩa là 1 cơ chế phản hồi các vòng điều khiển, chúng được ứng dụng rộng rãi trong hệ thống điều khiển công nghiệp hiện đại.

Bộ điều khiển này sử dụng nhiều trong những hệ thống điều khiển vòng kín có tín hiệu phản hồi. Nhiệm vụ của PID giúp tính toán giá trị sai số là hiệu số giữa giá trị đo thông số biến đổi với giá trị đặt mong muốn.

Bộ thiết bị làm giảm tối đa sai số bằng cách điều chỉnh giá trị điều khiển đầu vào. Để đạt được hiệu quả mong muốn bởi thông số của PID cần phải thực hiện điều chỉnh theo tính chất hệ thống. Việc điều khiển sẽ giống nhau, còn thông số được phụ thuộc vào chính đặc thù của hệ thống đó.

Một hệ thống điều khiển gồm có rất nhiều thiết bị như:

- Cơ cấu chấp hành (thiết bị gia nhiệt)
- Thiết bị điều khiển được cài đặt như HMI màn hình hay PLC.
- Thiết bị hồi tiếp gồm các cảm biến áp suất, nhiệt độ,...

Khi đã chọn được giá trị set point mà ta thường hay gọi là SV giá trị cài đặt thì bộ điều khiển sẽ gửi đi những thông tin điều khiển đến từng thiết bị chấp hành, cơ cấu.

Tại quá trình này sẽ có hàng loạt các thuật toán yêu cầu đóng mở liên tục với thời gian chậm hoặc nhanh và phụ thuộc vào hệ thống đang làm việc.



Hình 3. Mô hình hệ thống điều khiển tốc độ cho xe sử dụng bộ điều khiển thuật toán PID



Hình 4. Mô phỏng khối phân hệ điều khiển PID

Cấu trúc và hoạt động của phân hệ điều khiển như sau:

+ Biểu đồ thứ nhất: thể hiện trạng thái số. Mỗi khối con thực hiện gán

giá trị số khi được kích hoạt bằng lệnh (UP hoặc DOWN) từ biểu đồ thứ hai.

+ Biểu đồ thứ hai: thể hiện các điều kiện chọn số. Biểu đồ này thực hiện so sánh vận tốc xe với giá trị các ngưỡng tăng số nhận được từ phân hệ tính toán và một số điều kiện khác do người sử dụng đặt ra theo kết cấu hoặc yêu cầu định trước. Khi đủ điều kiện thì phát lệnh cho biểu đồ thứ nhất và thực hiện gán giá trị tín hiệu sang số bằng 0 hoặc 1.

Có một số phương pháp thực tế để điều chỉnh mức tăng Kp, Ki, Kd:

- Phương pháp Ziegler-Nicolas: Phương pháp Ziegler-Nicolas là một phương pháp lặp, trực tuyến để chọn *Kp*, *Ki*, *Kd*. Phương pháp này bắt đầu với việc đặt *Ki* và *Kd* bằng 0, sau đó tăng *Kp* cho đến khi *Kp* làm cho hệ thống ổn định. Sau đó, mức tăng có thể được tính dựa trên *Kp*, theo loại điều khiển hệ thống.

Phương pháp này thường mang lại lợi ích ban đầu tốt mà không yêu cầu kiến thức chuyên môn và mô hình hoặc mô phỏng của hệ thống. Nhưng nó cần hệ thống ổn định và có thể được điều khiển không ổn định bằng cách tăng *Kp*. Bên cạnh đó, việc xác thực các lợi ích thu được trên một hệ thống thực đôi khi có thể tốn kém.

- Phương pháp quỹ tích gốc: Phương pháp quỹ tích gốc là một phương pháp hiệu quả để điều chỉnh mức tăng từ đặc tính khảo sát trong miền tần số. Bằng cách điều chỉnh vị trí của các cực và điểm không của hệ thống điều khiển, hiệu suất của hệ thống có thể được cải thiện về tỷ lệ phần trăm vượt quá, thời gian tăng, thời gian ổn định, biên độ khuếch đại (GM) và biên độ pha (PM).

Bằng cách sử dụng công cụ SimDriveLine kết hợp Simulink, chúng ta đã xây dựng được các khối mô phỏng các trạng thái hoạt động của các cụm phần tử trên xe như: động cơ, hệ thống truyền lực, thân xe và lốp xe theo mục đích khảo sát. Sau khi có được mô hình của các cụm, kết nối các khối lại với nhau, ta được mô hình mô phỏng động lực học xe hoàn thiện khi nghiên cứu hệ thống điều khiển tốc độ.

Mô hình xe được xây dựng trên cơ sở phương trình động lực học giữa lực kéo và các lực cản [phương trình (10)].



Hình 5. Mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển tốc độ

1451

Các thông số đầu vào khảo sát mô phỏng được cho trong Bảng 1. Bảng 1. Các thông số xe TOYOTA FORTUNER PMG

ТТ	Tên thông số	Đơn vị	Giá trị	Ghi chú
1	Chiều dài toàn bộ	mm	4695	
2	Chiều rộng	mm	1840	
3	Chiều cao	mm	1850	
4	Chiều dài cơ sở	mm	2750	
5	Khối lượng xe không tải	kg	2140	
6	Khối lượng xe toàn tải	kg	2735	
7	Khoảng cách từ trọng tâm xe đến tâm cầu trước	mm	1300	
8	Khoảng cách từ trọng tâm xe đến tâm cầu sau	mm	1450	
	Động cơ			
9	- Loại động cơ: 1KD-FTV (3.0L), 4 xi lanh thẳng hàng, 16 valve, DOHC.			
	- Công suất cực đại	Kw/rpm	120/3400	
	- Mô men xoắn cực đại	Nm/rpm	343/3200	
	Hộp số			
	- Loại hộp số: Số tự động A340F (4WD).			
	- Tỷ số truyền:			
10	Số 1		2.804	
	Số 2		1.531	
	Số 3		1.000	
	Số 4		0.705	
	Số lùi		2.393	

Trong bài báo, tác giả sử dụng phần mềm MATLAB để xây dựng chương trình khảo sát động lực học chuyển động thẳng xe TOYOTA FORTUNER PMG. Kết quả thu được thể hiện trên các hình .



Hình 6. Đồ thị số vòng quay động cơ, chân ga và so sánh vận tốc trong trường hợp Ki = 30; Kp = 25; Kd = 30

Từ khối tín hiệu đầu vào, tiến hành đặt vận tốc tương ứng với các lần tăng tốc như sau:

Vận tốc đặt mong muốn là 67 km/h, để đạt được vận tốc này ECU sẽ xuất tín hiệu điều khiển làm nhiều lần, nhằm mục đích tránh tăng tốc đột ngột dẫn đến thời gian chuyển số không đáp ứng được. Trong trường hợp này, ECU điều khiển Cruise Control sẽ đưa ra các tín hiệu điều khiển tương ứng với 3 lần nâng vận tốc, xuất phát từ thời điểm t = 4s, số lần nâng vận tốc sẽ được nâng lên. Như vậy, vận tốc thực tế nhỏ hơn so với vận tốc đặt, vượt quá sai số cho phép. Lúc này, số vòng quay của động cơ cũng tăng lên, tương ứng với bướm ga được mở ở các thời điểm t = 4s; t = 6s; t = 8s. Vận tốc thực tế của ô tô bám sát đường vận tốc đặt. Từ thời điểm t = 8,2s vận tốc thực tế của ô tô tiệm cận với vận tốc đặt mong muốn là 67 km/h.

4. Kết luận

Trong bài báo này, tác giả đã sử dụng phần mềm MATLAB để xây dựng chương trình mô phỏng hệ thống điều khiển tốc độ xe TOYOTA FORTUNER PMG. Kết quả thu được cho thấy hệ thống truyền điều khiển tốc độ trên xe có nhiều ưu điểm hơn so với điều khiển tốc độ thông thường qua người lái. Đồng thời với kết quả này có thể khẳng định hệ thống điều khiển tốc độ xe có khả năng kéo, khả năng cơ động phù hợp với điều kiện hoạt động tại Việt Nam. Đây là cơ sở cho việc nghiên cứu cải tiến, hoàn thiện hệ thống điều khiển xe tự động sau này.

1453

Tài liệu tham khảo

- Nguyễn Phúc Hiểu, Vũ Đức Lập (2002). Lý thuyết ô tô quân sự, Hà Nội, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân.
- 2. Vũ Đức Lập (2019). *Động lực học chuyển động thẳng ô tô*, Hà Nội, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân.
- 3. Võ Văn Hường, Nguyễn Tiến Dũng, Dương Ngọc Khánh, Đàm Hoàng Phúc (2014). Động lực học ô tô, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.
- 4. Bùi Quốc Khánh (2015). Điều khiển quá trình, Hà Nội, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- 5. Đỗ Văn Dũng (2007). *Hệ thống điện thân xe và điều khiển tự động trên ô tô*, Nhà xuất bản Đại học Sư phạm kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh.

Build a simulation model of vehicle speed control system

Abstract: This paper focuses on building a simulation model of the vehicle speed control system of a four-wheel drive car moving in a straight line. This is an automatic system using PID control subsystem. In particular, analyze the operating principle of PID and compare the set speed and actual speed.

Keywords: Vehicle speed control system, TOYOTA FORTUNER PMG vehicle.

Xây dựng mô hình người lái cho hệ thống hỗ trợ giữ làn đường của ô tô tự hành

Trần Văn Hòa^{1*}, Vũ Mạnh Dũng¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Các công nghệ ô tô tự hành đang được thúc đẩy nghiên cứu, phát triển và ứng dụng trên xe hiện đại. Với nhiều công nghệ hỗ trợ người lái, những chiếc xe hiện đại có khả năng tự hành, tức khả năng tự định hướng, di chuyển với sự can thiệp hạn chế, hoặc không cần sự điều khiển từ người lái đang được nghiên cứu và phát triển. Nội dung bài báo này tập trung đi nghiên cứu xây dựng mô hình người lái để áp dụng cho hệ thống hỗ trợ giữ làn đường trên ô tô tự hành gồm có hai chức năng: xác định quỹ đạo chuyển động và cung cấp tín hiệu điều khiển xe chuyển động theo quỹ đạo được xác định. Kết quả của bài báo là cơ sở để phát triển hệ thống hỗ trợ giữ làn đường trên các ô tô hiện đại đồng thời có thể phát triển thành các hệ thống phức tạp hơn.

Từ khóa: Hỗ trợ giữ làn đường, mô hình người lái, dẫn đường, điều khiển chuyển động, trường thế năng, điều khiển dự đoán.

1. Đặt vấn đề

Theo thống kê của WHO hàng năm có khoảng 1,19 triệu người chết vì tai nạn giao thông [1], trong số đó tai nạn giao thông đường bộ là một trong các dạng tai nạn gây hậu quả nặng nề nhất. Nguyên nhân có thể do các yếu tố khách quan như: cơ sở hạ tầng giao thông chưa hoàn chỉnh; chất lượng kỹ thuật của các phương tiện tham gia giao thông chưa tốt và không đồng đều. Bên cạnh đó yếu tố chủ quan xuất phát từ người lái xe cũng đóng góp 1 phần lớn, như lái xe sử dụng rượu và các chất kích thích thần kinh khác; lái xe mất tập trung, ...

Hiện nay có nhiều các công ty, tổ chức, các phòng nghiên cứu đã đưa ra các giải pháp công nghệ để giảm thiểu các vụ tai nạn, đảm bảo an toàn cho ô tô khi di chuyển trên đường. Ví dụ như hệ thống dây đai túi khí (SRS), hệ thống chống bó cứng phanh (ABS), hệ thống ổn định thân xe (ESP), hệ thống hỗ trợ lực phanh khẩn cấp (BA)... Tuy nhiên, nhờ sự phát triển của cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 với trí tuệ nhân tạo, con người đang hướng đến một bước tiến vĩ đại hơn của công nghệ, đó là ô tô tự lái hoàn toàn thay thế cho con người nhằm loại bỏ các nhược điểm về nhân trắc học và giảm mệt mỏi cho con người. Nhiều hãng ô tô, công nghệ đang tích cực chạy đua cho công nghệ mới này, tuy nhiên đây là một bước rất phức tạp, gồm nhiều phương diện khác nhau đòi hỏi cần có những nghiên cứu, thiết kế và thử nghiệm lâu dài. Để thực hiện điều đó, việc nghiên cứu mô hình người lái có khả năng xác định quỹ đạo chuyển động và điều khiển xe một cách tự động là vấn đề quan trọng cần được quan tâm, nghiên cứu.

^{*} Email: tvhtvh123456@gmail.com



Hình 1. Vị trí của mô hình người lái trong cấu trúc hệ thống

2. Phương pháp nghiên cứu

Hệ thống hỗ trợ giữ làn đường, có tên tiếng anh là Lane Keeping Assist (LKA) là hệ thống giúp xe chủ động đi theo làn đường đang đi giúp đảm bảo an toàn cho xe ô tô khi tham gia giao thông và giảm thiểu đáng kể những tai nạn do lái xe lơ đãng di chuyển chệch làn đường. Hệ thống sẽ tự động điều khiển tay lái để giữ cho xe đi đúng làn đường và cũng đi theo làn đường khi xe vòng quanh. Có 2 phương thức hoạt động của LKA thường thấy:

+ Một là, camera sẽ giám sát vạch phân cách làn đường ở hai bên và nhận diện các vạch kẻ đường từ đó ước tính hình dạng đường và vị trí của xe trong làn đường, vạch sẵn đường đi tham chiếu cho xe. Dựa trên thông tin này, cùng với vận tốc xe và góc vô lăng, bộ điều khiển sẽ tính toán mô men lái cần thiết và điều khiển tay lái để xe chạy theo đường đi tham chiếu đã được xác định.

+ Hai là, cũng từ các vạch kẻ đường được nhận diện qua camera, khi xe chạy chệch ra khỏi vạch kẻ đường, hệ thống tiến hành can thiệp vào tay lái để giữ xe chạy đúng làn đường đang đi.

Bài báo này nghiên cứu LKA hoạt động theo phương thức thứ nhất, là phương thức có độ chính xác cao, đảm bảo sự thuận tiện và thoải mái cho người lái. Mô hình người lái cho hệ thống gồm 2 phần chính là phần xác định quỹ đạo chuyển động và phần điều khiển.

2.1. Phương pháp xác định quỹ đạo chuyển động

Hiện tại, có rất nhiều phương pháp dẫn đường cho ô tô tự hành [2]. Chúng có thể được phân loại thành các nhóm chính là: cấu hình không gian (phương pháp biểu đồ Voronoi, phương pháp điểm lấy mẫu, ...), công cụ tìm đường (thuật toán A*, Dijkstra và Rapidly Random Tree (RRT)), nội suy đường cong (clothoid, bezier, hoặc splines, ...), đề án trí tuệ nhân tạo (logic mờ, mạng thần kinh nhân tạo, trí thông minh bầy đàn hoặc thuật toán di truyền). Mỗi phương pháp, thuật toán đều có nhưng ưu nhược điểm nhất định về thời gian và chi phí tính toán, khả năng ứng dụng trong điều kiện thực tế.

Nghiên cứu này đề xuất xác định quỹ đạo chuyển động theo phương pháp trường thế năng [3-5]. Phương pháp này khá đơn giản và hiệu quả trong việc xác định đường đi của xe trong một thời gian tính toán vừa phải. Đồng thời, phương pháp này cũng có khả năng ứng phó tốt với môi trường động, nhờ khả năng cập nhật liên tục các trường thế năng dựa trên thông tin mới nhất từ cảm biến, rất hiệu quả với môi trường lái xe thực tế.
Phương pháp trường thế năng coi ô tô như là một chất điểm (có khối lượng tập trung tại trọng tâm) chuyển động trong một trường lực nhân tạo được tạo ra bởi các lực hút và lực đẩy của các đối tượng xung quanh. Vì các lực này chỉ phụ thuộc vào khoảng cách giữa ô tô và đối tượng nên lực này là lực thế và trường lực được gọi là trường thế năng. Trong bài toán giữ làn đường, các đối tượng được xem xét bao gồm 2 vạch kẻ đường và đích đến. Điểm đích dự kiến luôn tạo ra lực hấp dẫn nhằm hướng ô tô chuyển động từ vị trí hiện tại đến đích. Điểm đích dự kiến thường được xác định ở phía trước ô tô theo hướng chuyển động. Khoảng cách giữa ô tô và điểm đích càng xa thì lực thế càng lớn. Các vạch kẻ đường tạo ra lực đẩy không cho ô tô tiến lại gần chúng, Các trường thế hút và đẩy sẽ tạo ra lực tổng hợp tác dụng lên ô tô nhằm giúp ô tô đi bên trong làn đường và tiến về đích.



Trong hệ tọa độ toàn cầu, trục hoành trùng với vạch kẻ đường bên trái xe, trục tung hướng về phía vạch kẻ đường bên phải. Tọa độ trọng tâm ô tô là C = (x, y). Vạch kẻ đường bên trái và bên phải theo chiều xe chạy có tung độ tương ứng là y_{vt} và y_{vp}.

Hàm thế của đích đến được tính:

$$U_d(C) = -A_d(r) \tag{1}$$

Với A_d là thông số thể hiện độ lớn của trường thế, r là khoảng cách tính từ xe đến điểm đích.

Hàm thế của của các vạch kẻ đường là:

$$U_{v}(C) = A_{vt}e^{-(\frac{(x-x_{vt})^{2}}{\sigma_{vt}^{2}} + \frac{(y-y_{vt})^{2}}{\sigma_{vt}^{2}})} + A_{vp}e^{-(\frac{(x-x_{vp})^{2}}{\sigma_{vp}^{2}} + \frac{(y-y_{vp})^{2}}{\sigma_{vp}^{2}})}$$
(2)

Trong đó A_{vt} và A_{vp} là thông số thể hiện độ lớn trường thế của vạch kẻ đường bên trái và bên phải tương ứng. σ_{vt} , σ_{vp} là thông số thể hiện sự biến thiên của trường thế của vạch kẻ đường tương ứng.

Trường thế năng tác dụng lên ô tô U(C) sẽ là tổng hợp của các trường thế được liệt kê ở trên. Hướng chuyển động hợp lý của ô tô là hướng mà tại đó sự suy giảm của hàm thế là nhanh nhất. Tức là hướng của vecto gradient của trường thế U(C):

$$-\nabla U(C) = -\left[\frac{\partial U(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial U(x, y)}{\partial y}\right]^T$$
(3)

Vấn đề xác định các thông số của các hàm thế trong công thức (1-3) được giải quyết qua bài toán tối ưu hóa, cụ thể là tìm giá trị nhỏ nhất của hàm J:

$$J = -\sum_{l}^{L} \sum_{k}^{K} \frac{(\dot{x}_{k}^{l}, \dot{y}_{k}^{l}).(-\nabla U(x_{k}^{l}, y_{k}^{l}))}{\left|(\dot{x}_{k}^{l}, \dot{y}_{k}^{l})\right| - \nabla U(x_{k}^{l}, y_{k}^{l})}$$
(4)

Trong đó: $k \in \{1, 2, 3, ..., K\}$ là số thứ tự của dữ liệu trong một lần thí nghiệm. Kí hiệu $l \in \{1, 2, 3, ..., L\}$ là số thứ tự của các lần thí nghiệm trong một bài thí nghiệm.

Với tín hiệu đầu vào là vị trí của xe trên đường, trường thế của môi trường lái xung quanh xe được xác định. Đây sẽ là cơ sở để dự báo vị trí hợp lý của xe trong tương lai. Vị trí được chọn là vị trí có năng lượng trường thế là nhỏ nhất tại thời điểm đó. Việc xác định vị trí dự kiến trên trường thế được thực hiện bằng thuật toán tối ưu lặp suy giảm độ dốc.

2.2. Phương pháp điều khiển xe

Điều khiển ổn định và trơn tru là những vấn đề được quan trọng đối với điều khiển phương tiện tự hành không chỉ để đánh giá các phương tiện tự trị có đáng tin cậy không mà còn cải thiện sự thoải mái khi lái xe của hành khách. Một khía cạnh khác cần phải được xem xét là độ chính xác. Việc điều khiển phương tiện không chính xác có thể khiến lộ trình đã hoạch định trở nên vô nghĩa ngay cả khi tham chiếu cục bộ được tạo ra là hoàn hảo để thực hiện việc lái xe an toàn và thoải mái.

Có nhiều phương pháp về điều khiển phương tiện dành cho xe tự hành nói chung đã được áp dụng trong nhiều năm qua. Chẳng hạn như dựa trên điều khiển phản hồi cổ điển ta có các phương pháp: theo đuổi thuần túy (Pure Pursuit), phản hồi vị trí bánh sau (Rear Wheel Feedback Control), điều khiển nhìn về phía trước (Look-Ahead Control) ... Mặc dù những cách tiếp cận này là những cách tiếp cận điều khiển đơn giản, thiết thực và nổi tiếng, nhưng chúng thường yêu cầu điều chỉnh thông số thích ứng tốt để đạt được khả năng lái ổn định trong các điều kiện đường xá và tốc độ khác nhau.

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp điều khiển là điều khiển dự đoán mô hình (MPC) được ứng dụng khá rộng rãi gần đây. Bản chất của MPC là phương pháp sử dụng mô hình của đối tượng và tối ưu hóa hàm mục tiêu để đưa ra một tín hiệu điều khiển tối ưu, hay nói cách khác MPC sẽ sử dụng mô hình động lực học để dự báo đầu ra của đối tượng tại các thời điểm tương lai (còn gọi là miền dự báo tín hiệu ra) và tính toán chuỗi tín hiệu điều khiển trên cơ sở cực tiểu hàm mục tiêu, đồng thời sử dụng chiến lược tầm xa tức là ở mỗi thời điểm chỉ có tín hiệu điều khiển đầu tiên trong chuỗi được đưa vào sử dụng, giới hạn dự báo đều dịch chuyển về tương lai sau mỗi lần tính.

Điều khiển dự báo theo mô hình có những ưu điểm so với các phương pháp điều khiển khác là các khái niệm đều trực quan và việc thực thi bộ điều khiển tương đối dễ dàng, áp dụng được cho đa dạng các đối tượng có đặc tính động học từ đơn giản đến phức tạp, có khả năng tự bù trễ, đạt được hiệu quả cao nếu quỹ đạo được biết trước. Bên cạnh đó MPC cũng có nhược điểm là yêu cầu mô hình có độ chính xác cao nhưng việc này rất khó khăn (thường ta

sử dụng các mô hình xấp xỉ tuyến tính và điều này làm suy giảm khả năng điều khiển), đồng thời khối lượng tính toán cần thiết là khá lớn.



Hình 3. Cấu trúc cơ bản của mô hình điều khiển dự báo (MPC)

MPC có 2 khối chức năng cơ bản đó là khối mô hình động lực học với chức năng xác định vị trí của xe từ đầu vào là tín hiệu điều khiển (góc đánh lái) và khối tối ưu hóa với chức năng xác định tín hiệu điều khiển sao cho sai lệch giữa vị trí xe và vị trí dự kiến là nhỏ nhất.

Đối với bài báo giữ làn đường ta chỉ tập trung vào việc kiểm soát phương ngang của xe mà không tập trung vào hiệu suất của tốc độ cũng như kiểm soát gia tốc. Vì vậy, nhằm giảm nhẹ khối lượng tính toán, ta sử dụng mô hình ô tô với 2 bậc tự do [6]. Ta xét ô tô là một khối cứng có khối lượng tập trung tại trọng tâm, chuyển động đều trên đường bằng phẳng và bánh xe trước là bánh dẫn hướng, bỏ qua dao động của ô tô, các góc là đủ nhỏ để các giá trị tính toán là tuyến tính.



Hình 4. Mô hình được sử dụng trong nghiên cứu

Mô hình ô tô được tính toán trong hệ tọa độ Frenet-Serret (Frenet-Serret coordinate) [7] là hệ tọa độ trực quan cho phép biểu thị các giá trị sai lệch về vị trí và hướng chuyển động của ô tô giúp ta có cái nhìn đánh giá sinh động hơn về tính chính xác của bài toán điều khiển. Kết quả tính toán được biểu thị dưới dạng vector không gian trạng thái như sau [6]:

$$\frac{d}{dt}\left\{X\right\} = \frac{d}{dt} \begin{cases} y_F \\ \dot{y}_F \\ \dot{\theta}_F \\ \dot{\theta}_F \end{cases} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{a_{11}}{V} & a_{11} & \frac{a_{12}}{V} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{a_{21}}{V} & a_{21} & \frac{a_{22}}{V} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_F \\ \dot{y}_F \\ \dot{\theta}_F \\ \dot{\theta}_F \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ a_{12} - V^2 \\ 0 \\ a_{22} \end{bmatrix} \rho_{ref} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_1 \\ 0 \\ b_2 \end{bmatrix} \delta \quad (5)$$

Ở đây:

$$a_{11} = \frac{2(Ca_f + C_{ar})}{m}; a_{12} = -\frac{2(aC_{af} - bC_{ar})}{m}$$
(6)

$$a_{21} = \frac{2(aC_{af} - bC_{ar})}{I_z}; a_{22} = -\frac{2(a^2C_{af} + b^2C_{ar})}{I_z}$$
(7)

$$b_1 = \frac{2C_{af}}{m}; b_2 = \frac{2bC_{af}}{I_z}$$
 (8)

 y_F là sai lệch vị trí của xe so với quỹ đạo tham chiếu; θ_F là sai lệch về hướng của xe; V là vận tốc chuyển động; δ là góc lái bánh trước; m là khối lượng của xe; a và b lần lượt là khoảng cách từ trọng tâm đến trục trước và sau xe; C_{af} và C_{ar} lần lượt là độ cứng quay vòng của bánh trước và bánh sau; I_z là mô men quán tính của xe đối với trục thẳng đứng; p_{ref} là độ cong của quỹ đạo tham chiếu.

Khối tối ưu tại từng thời điểm tính toán thực hiện thuật toán tối ưu hóa nhằm giảm sai lệch vị trí dự báo của xe thu được từ mô hình động lực học và quỹ đạo chuyển động đã được xác định.

Giải thuật tối ưu được trình bày như sau:

Biết trước: X₀, X_{ref}, S_f, Q, N

Tìm các giá trị: X_k , $k \in \{1, ..., N\}$

$$u_k = [\delta_k], k \in \{0, ..., N-1\}$$

Để hàm sau đây đạt giá trị nhỏ nhất:

$$J = \Phi(X_N) + \sum_{k=0}^{N-1} L(X_k, u_k) \Delta t$$
(9)

Trong đó: $\Phi(X_N) = \frac{1}{2} X_N^T S_f X_N$ (10)

$$L(X_{k}, u_{k}) = \frac{1}{2} X_{k}^{T} Q X_{k} + u_{k}^{T} R u_{k}$$
(11)

S_f, Q, R là các ma trận trọng số.

Với:
$$X_{k+1} = X_k + \Delta t \cdot \frac{d}{dt} X_k$$
 (12)

 $\delta_{\min} < \delta_k < \delta_{\max}$

1459

Tại từng thời điểm tính toán ta sẽ thu được kết quả là tập u_k sao cho giá trị hàm J là nhỏ nhất. Giá trị đầu tiên của tập này sẽ được dùng làm góc đánh lái ở thời điểm k+1. Các giá trị khác bỏ qua. Quá trình này sẽ được lặp lại ở từng thời điểm tính toán nhằm cập nhật trạng thái thực tế của xe, giúp quá trình điều khiển đạt được độ chính xác cao.

3. Kết quả và thảo luận

Nghiên cứu tiến hành xây dựng mô hình người lái cho xe ô tô du lịch với thông số được nêu ở Bảng 1. Xét bài toán ô tô chuyển động trên đoạn đường như Hình 5, đoạn đường này gồm 2 phần hình dạng thông dụng là thẳng và uốn cong. Chiều rộng một làn xe là 4 m.

	Thông số	Giá trị	Đơn vị		Thông số	Giá trị	Đơn vị	
	а	1,04	m		r	48	m	
	b	1,56	m		Δt	0.01	S	
	L	1,6	m		N	100		
	m	1110	kg		S _f	diag [10, 1, 10, 1]		
	Iz	1343	kgm ²		Q	diag [1,0. 1, 1, 0.1]		
	$C_{\alpha f}$	56023	N/rad		R	diag [0.1, 1]		
	$C_{\alpha r}$	37942	N/rad		$\delta_{min}, \delta_{max}$	0.52	rad	
	V	40	km/h					
G	R [r oal X	m] ([m] (m]	[m]	×	100 80 60 40 20	Kịch bản đường đi Đích Xuất phát		
S	tart 🗙 —— R [r	• ↓ • n]			0-20 0	20 40 60 80 X	100 120	

Bảng 1. Các thông số của bài toán.

Hình 5. Sơ đồ tình huống mô phỏng

Phần tính toán mô phỏng được thực hiện trên ngôn ngữ lập trình Python.

Số liêu sử dung để tính toán các thông số của trường thế năng lấy thông qua thử nghiệm nhiều lần trong quá trình mô phỏng. Trường thế năng của vach kẻ đường được thể hiện trên Hình 6. Ở đây các truc x, y thể hiên toa đô của điểm được xét. Các vach kẻ đường là đường thẳng nằm ngang có hoành đô là 0 và 4. Giá tri dương của trường thế thể hiên xu hướng đẩy của vạch kẻ đường. Càng tiến về gần vach kẻ đường thì trường thế đẩy càng mạnh, giúp xe giữ được vị trí trong làn đường đang chạy, trách chêch sang làn đường khác. Ở phía giữa tâm làn đường cũng tồn tai trường thế và giá tri này là nhỏ biểu thi khi xe đã đi đúng trong làn đường, trường thế ít tác đông đến chuyển động của xe. Để đảm bảo tính trực quan, các giá tri nhỏ này không thể hiện ở đây trong hình.

Trường thế năng của đích được thể hiện trên Hình 7. Ở đây các trục x, y thể hiện tọa độ của điểm được xét. Điểm đích nằm ở vị trí có tọa độ (0;98). Giá trị âm của trường thế thể hiện xu hướng hút của đích. Càng đi

Trường thế của vạch kẻ đường 5 4 2.5 3 2.0 2 1.5 > 1 1.0 0 0.5 0.0 -1 ż 4 6 8 10 x







xa vạch đích, lực hút càng mạnh phù hợp với tính chất của hàm thế. Trong quá trình tính toán mô phỏng, điểm đích sẽ được thay đổi liên tục khi xe tiến lên phía trước (thể hiện sự nhận diện của xe về đoạn đường phía trước) đảm bảo đích nằm trên tâm làn đường và khoảng cách từ xe đến đích là 10m.

Quỹ đạo dự kiến của xe trong trường thế được thể hiện bằng đường màu đỏ trong Hình 8. Từ hình nhận thấy, trong khoảng gần 40m đầu tiên, khi xe chuyển động trên đoạn đường thẳng, điểm đích vẫn còn nằm trong tâm làn đường thì xe cũng chuyển động thẳng theo tâm làn đường. Từ 40m trở đi, khi xe bắt đầu nhận diện đoạn đường cua, lúc này xe chuyển động chếch về phía vạch kẻ đường bên trái thể hiện quá trình ôm cua. Sau đoạn đường cua, khi nhận diện lại đoạn đường thẳng, xe lại chuyển động dần về phía tâm làn đường và sau đó là chuyển động thẳng theo tâm làn đường và về đến đích. Trong cả quá trình chuyển động tọa độ của xe luôn nằm trong làn đường quy định. Kết quả này phù hợp với yêu cầu của bài toán cũng như thực tế khi tham gia giao thông. Xe đã di chuyển trong quỹ đạo hợp lý nhất dưới tác dụng của các lực thế từ đích và các vạch kẻ đường. Ngoài ra, khi xe tiến gần đến càng gần

1461

vạch kẻ đường, ảnh hưởng của lực thế sẽ càng rõ ràng và đủ để giữ xe không vượt ra khỏi làn đường đang chạy.



Hình 8. Quỹ đạo dự kiến của xe

Kết quả mô phỏng quá trình điều khiển được trình bày trong Hình 9 và 10.



Hình 9. Góc đánh lái tính toán

Hình 9 thể hiện góc đánh lái được tính toán. Góc đánh lái bằng 0 ở giai đoạn đầu của quá trình chuyển động phù hợp với chuyển động trên đoạn đường thẳng ban đầu. Từ giây thứ 4 trở đi góc lái bắt đầu thay đổi, tăng nhanh đến ngưỡng lớn nhất và ổn định đến giây thứ 18. Điều này là phù hợp với việc quỹ đạo tham chiếu chuyển từ thẳng sang cong. Góc lái tăng nhanh để bắt kịp nhanh chóng với sự thay đổi của đường và ổn định giá trị để xe thực hiện chuyển động quay vòng. Từ giây thứ 18 trở đi, góc lái nhanh chóng giảm về 0 và giữ nguyên giá trị, điều này cũng là phù hợp với sự thay đổi của quỹ đạo tham chiếu từ đường cong sang thẳng và giảm nhanh để bắt kịp sự thay đổi của đường.



Hình 10. Sai lệch vị trí xe so với quỹ đạo tham chiếu trong quá trình chuyển động

Hình 10 thể hiện sai lệch vị trí của xe so với quỹ đạo tham chiếu. Ban đầu xe chuyển động trên đoạn đường thẳng xe đi đúng như quỹ đạo tham chiếu, sai lệch bằng 0. Từ giây thứ 4 trở đi khi góc đánh lái bắt đầu thay đổi, xuất hiện sự sai lệch vị trí của xe so với đường. Sai lệch tăng nhanh và đạt ngưỡng khi góc lái vào giai đoạn ổn định. Từ giây thứ 18 trở đi khi quỹ đạo tham chiếu thay đổi thành đường thẳng. Góc lái được giữ nguyên và sai lệch này giảm dần về 0. Trong suốt quá trình chuyển động, sai lệch vị trí ở mức rất thấp cho thấy độ chính xác của quá trình điều khiển là rất cao. Ở đây ta không hướng việc điều khiển sao cho sai lệch vị trí bằng 0 trong quá trình chuyển động mà giữ nó ở mức độ chấp nhận được để đảm bảo quá trình lái là trơn tru và thoải mái, tránh tình trạng đánh lái liên tục, xe chuyển động theo kiểu uốn lượn hình sin.

Như đã trình bày từ trước, do khối lượng tính toán là rất lớn nên thời gian tính toán của quá trình điều khiển là lớn. Tuy nhiên đây là công việc tính toán cho cả quá trình chuyển động của xe trong 22s. Thực tế tại mỗi khoảng thời điểm 0.01s của xe trên đường đi ta chỉ tính toán đến 1s tương lai để lấy tín hiệu điều khiển góc đánh lái, vậy nên thời gian tính toán tại từng thời điểm sẽ giảm đi rất nhiều lần. Do đó thời gian tính toán trong thực tế là sẽ rất nhanh và ta sẽ khó có thể phát hiện độ trễ điều khiển.

Một lợi thế của MPC là ta dễ dàng kiểm soát thời gian điều khiển bằng các thay đổi khoảng thời gian Δt và số bước dự đoán N. Việc tăng thời gian điều khiển thường gây ra sự mất ổn định của hành vi, mô hình động lực học là tuyến tính vậy nên nó sẽ trở nên không ổn định khi thời gian điều khiển dài hơn, ngoài ra, phạm vi dự đoán quá dài rõ ràng là vô nghĩa vì dự đoán mô hình không bao giờ có thể dự đoán hoàn hảo hành vi của xe trong thực tế. Ngược lại, nếu khoảng thời gian dự đoán quá ngắn, độ chính xác của điều khiển sẽ bị suy giảm. Bên cạnh đó, ta cũng cần lựa chọn các ma trận trọng số S_f, Q, R phù hợp để cân bằng giữa độ chính xác điều khiển và sự thoải mái khi lái xe.

4. Kết luận

Bài báo này đã tiến hành xây dựng mô hình người lái cho hệ thống hỗ trợ giữ làn đường trên xe tự hành gồm 2 công việc chính là xác định quỹ đạo chuyển động và điều khiển. Việc xác định quỹ đạo chuyển động được thực hiện bằng phương pháp trường thế năng. Góc quay của bánh xe dẫn hướng được điều khiển bằng phương pháp điều khiển dự đoán theo mô hình với mô

hình động lực học được sử dụng là mô hình 1 vết với 2 bậc tự do. Kết quả mô phỏng cho thấy các phương pháp được đưa ra là hợp lý khi cho kết quả với độ chính xác điều khiển rất cao.

Bài báo cho thấy mô hình người lái được xây dựng có triển vọng cao trong việc ứng dụng vào hệ thống hỗ trợ giữ làn đường thực tế. Nghiên cứu có thể tiếp tục được phát triển theo chiều hướng giải quyết các tình huống giao thông phức tạp hơn với sự tham gia của các phương tiện khác.

Tài liệu tham khảo

1. Dr Tedros Adhanom Ghebreyesus, Dr Tedros Adhanom Ghebreyesus (2023). *Global status* report on road safety 2023, World Health Organization pp xviii.

2. David González, Joshué Pérez, Vicente Milanés, Fawzi Nashashibi (2015). A Review of Motion Planning Techniques for Automated Vehicles, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems journal.

3. J. Ren, K. McIsaac, R. Patel (2006). *Modified newton's method applied to potential field-based navigation for mobile robots*, IEEE Transactions on Robotics Automation vol 22, pp 384–391.

4. S. S. Ge, Y.J. Cui (2000). *New Potential Functions for Mobile Robot Path Planning*, IEEE Transactions on Robotics Automation vol 16, pp 615–620.

5. D. H. Kim, S. Shin (2006). Local path planning using a new artificial potential function configuration and its analytical design guidelines, Advanced Robotics vol 20, pp115-135.

6. Rajesh Rajamani (2011). Vehicle dynamics and control, Springer Science & Business Media, pp 20-37.

7. Y.-l. Liao, M.-j. Zhang, and L. Wan (2015). Serret-frenet frame based on path following control for underactuated unmanned surface vehicles with dynamic uncertainties, Journal of Central South University vol 22, pp 214–223.

Building a driver model for the lane keeping assist system of self-driving cars

Abstract: Self-driving car technologies are being researched, developed, and applied to modern cars. With many driver assistance technologies, modern cars can self-drive, meaning they can self-orient and move with limited intervention or without the need for driver control. The content of this article focuses on researching and building a driver model to apply to the lane-keeping support system on self-driving cars, which includes two functions: determining the motion trajectory and providing motion control signals according to the determined trajectory. The result of the article is the basis for developing the lane-keeping support system on modern cars and can be developed into more complex systems.

Keywords: Lane Keeping Assist, driver model, path clanning, motion control, potential field, Model Predictive Control.

Nghiên cứu lựa chọn các thông số của bộ điều khiển dự báo MPC nhằm nâng cao độ chính xác làm việc của Hệ thống điều khiển hành trình thích ứng Adaptive Cruise Control (ACC) trên ô tô

Nguyễn Mạnh Hùng^{1*}, Trần Thành Lam¹, Vũ Ngọc Tuấn¹, Lê Văn Trung¹, Lại Việt Anh¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự Email: hung.nguyenmanh@lqdtu.edu.vn; Tel: 0356259320

Tóm tắt

Hệ thống điều khiển hành trình Cruise Control là một hệ thống điều khiển tự động tốc độ của phương tiện, duy trì xe chạy ở một tốc độ nhất định cũng như khoảng cách đến xe phía trước theo các chế độ đặt của người lái. Ngoài ra, hệ thống còn giúp cho lái xe tránh việc vi phạm tốc độ tối đa được giới hạn, cũng như giúp tiết kiệm nhiên liệu. Bài báo dựa trên cơ sở mô hình toán động lực học chuyển động thẳng và ứng dụng phần mềm Matlab-Simulink khảo sát sự thay đổi các tham số của bộ điều khiển dự báo Model Predictive Control (MPC) nhằm nâng cao hiệu quả làm việc của hệ thống Adaptive Cruise Control (ACC) trong các điều kiện hoạt động khác nhau.

Từ khóa: Vận tốc chuyển động; khoảng cách an toàn; ràng buộc, phạm vi điều khiển.

1. Đặt vấn đề

Tỷ lệ sở hữu ô tô trên đầu người tăng nhanh, điều này dẫn đến mật độ lưu thông các phương tiện trên đường ngày càng lớn. Bên cạnh đó, chất lượng cơ sở hạ tầng của hệ thống giao thông đường bộ được cải thiện, cho phép ô tô được thiết kế với công suất lớn và di chuyển với tốc độ cao. Vì vậy, khi ô tô chuyển động trên đường, tính ổn định và an toàn chuyển động đóng vai trò rất quan trọng, quyết định đến chất lượng và giá thành của phương tiện [1].

Trên thực tế, khi ô tô tham gia lưu thông trên đường sẽ có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến tính ổn định và an toàn chuyển động cụ thể như: kích thước xe, kết cấu của hệ thống điều khiển, vận hành, ...và những tác động từ người lái như phanh, ga, đánh lái,... Đặc biệt, có những trường hợp ô tô mất ổn định động học trong quá trình chuyển động như khi tăng, giảm tốc độ hay quay vòng, hoặc các yếu tố tác động bất ngờ từ bên ngoài, những điều này đều có ảnh hưởng rất lớn đến an toàn chuyển động [2]. Với sự phát triển không ngừng của khoa học kỹ thuật và công nghệ, nhiều thành tựu đã được áp dụng vào ngành công nghiệp chế tạo ô tô nhằm mục đích nâng cao khả năng phục vụ, nâng cao độ tin cậy của ô tô. Hơn nữa, còn giảm nhẹ cường độ lao động của người lái, đảm bảo an toàn tốt nhất cho người, hàng hoá và phương tiện, tăng vận tốc trung bình, tăng khối lượng hàng hoá vận chuyển, tăng tính tiện nghi và tính kinh tế nhiên liệu, giảm giá thành sản xuất,...

Trong suốt quá trình lái xe, người lái phải tập trung cao độ trong việc điều khiển ô tô và xử lý các tình huống trên đường. Chính vì lẽ đó, người lái thường cảm thấy mệt mỏi và căng thẳng dẫn đến mất tập trung trên những chuyến đi đường dài, đặc biệt trên đường cao tốc. Yêu cầu đặt ra là phải có một hệ thống nào đó ra đời giúp cho người lái xe thoải mái hơn, điều khiển xe an toàn hơn. Hệ thống điều khiển hành trình Cruise Control là một trong những hệ thống có trang bị tiện lợi và sang trọng trên ô tô, nhằm hỗ trợ và đáp ứng yêu cầu cho người lái. Ngoài ra, trong

^{*} Email: hung.nguyenmanh@lqdtu.edu.vn

một số trường hợp hệ thống còn giúp lái xe tránh việc vi phạm tốc độ tối đa được giới hạn, cũng như giúp tiết kiệm nhiên liệu.

Hệ thống điều khiển hành trình Cruise Control System (CCS) là hệ thống tự động điều khiển góc mở bướm ga để duy trì vận tốc chuyển động của ô tô theo một tốc độ đặt trước bởi người lái. Do đó, người lái không cần phải nhấn lên bàn đạp ga cũng như bàn đạp phanh. Xe cũng có thể chạy ở một tốc độ đặt trước khi lên dốc hoặc xuống dốc nhờ có hệ thống này. Hệ thống CCS đặc biệt có ích khi xe chạy trên đường cao tốc hoặc trên đường quốc lộ rộng không có thời gian nghỉ dài. Vì vậy, người lái có thể thư giãn và lái xe một cách rất thoải mái. Một số loại xe còn được trang bị hệ thống điều khiển hành trình thích ứng ACC (Adaptive Cruise Control) có khả năng tự động điều chỉnh tốc độ để duy trì khoảng cách an toàn với phương tiện phía trước [3].



Hình 1. Hệ thống điều khiển hành trình thích ứng ACC tự động duy trì tốc độ và giữ khoảng cách an toàn giữa các xe [4]

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Mô hình trạng thái động lực học phương dọc của ô tô

Hệ thống có phần năng lượng duy nhất là động năng của xe. Do đó, vận tốc v là biến trạng thái duy nhất. Ta có phương trình theo Định luật 2 Newton cho trường hợp ô tô chuyển động như một vật rắn được biến đổi thành:

$$\frac{dy}{dt} = v_f - v$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m} \Big[F_k(u) - F_g(\alpha) - F_a(v, \omega) - F_r(v) \Big]$$
(1)

Trong phương trình 1 ta có:

+ Nếu xét trường hợp bám theo xe phía trước ta có v_f là vận tốc xe phía trước, y là khoảng cách giữa hai xe. Trong trường hợp xét đơn lẻ, điều khiển tốc độ cho một xe, ta có $\frac{dy}{dt} = v$ với y là quãng đường ô tô chuyển động với vận tốc v trong khoảng thời gian *t*.

 $+F_k(u)$ - Lực kéo từ động cơ, xuất phát từ công suất động cơ:

$$F_k(u) = T_e U_{(t)}$$

$$F_g(\alpha) = mg \sin \alpha_{(t)}$$

Trong đó m là khối lượng của xe và g là gia tốc trọng trường. + $F_g(\alpha)$ - Lực cản không khí:

$$F_{a(v,w)} = \frac{1}{2} \rho A C_d \left[v_{(t)} + \omega_{(t)} \right]^2$$

Trong đó ρ là mật độ không khí, A là diện tích cản chính diện của xe và C_d là hệ số cản khí động học.

 $+F_{r(v)}$ - Lực cản lăn:

$$F_{r(v)} = (\mu_0 + \mu v_{(t)}^2) \text{ mg} = f_{cl} \text{ mg}$$

Trong đó, μ_0 và μ là hệ số cản lăn.

Thay thế các giá trị lực cản vào phương trình 1, phương trình mô tả hệ thống có thể được rút ra như sau:

$$Y = -V(t) + V_{f}(t)$$

$$\dot{V} = \frac{T_{e}}{m}U(t) - g\sin\alpha_{(t)} - \frac{\rho A C_{d}}{2m} \left[V_{(t)} + W_{(t)}\right]^{2} - \left[\mu_{0} + \mu V_{(t)}^{2}\right]g$$
(2)

Phương trình 2 minh họa cách các biến ảnh hưởng đến khả năng tăng tốc của phương tiện trong hành trình thích ứng. Để đơn giản hóa bài toán, một vài giả thiết được đưa ra để tuyến tính hóa mô hình. Xét hệ thống hoạt động gần điểm tuyến tính hóa mà tại đó độ dốc đường và tốc độ gió bằng không:

 $\alpha = 0$; W = 0Mô hình hệ thống sau đó có thể được tuyến tính hóa thành dạng sau:

$$\dot{Y} = -V_{(t)} + V_{f(t)}$$

$$\dot{V} = a_{vv}V_{(t)} + a_{vu}U_{(t)} + a_{v\alpha}\theta_{(t)} + a_{vw}W_{(t)}$$
(3)

Trong đó:

$$a_{vv} = \frac{\partial \left(-\frac{\rho A C_d}{2m} \left[V_{(t)} + W_{(t)}\right]^2 - \left[\mu_0 + \mu V_{(t)}^2\right]g\right)}{\partial V} = -\left(\frac{\rho A C_d}{m} + 2\mu g\right)\overline{v}$$
$$a_{v\mu} = \frac{\partial \left(\frac{T_e}{m} U_{(t)}\right)}{\partial U} = \frac{T_e}{m}$$
$$a_{v\theta} = \frac{\partial \left(-g \sin \alpha_{(t)}\right)}{\partial \alpha} = -g \cos \overline{\alpha} = -g$$
$$a_{vw} = \frac{\partial \left(-\frac{\rho A C_d}{2m} \left[V_{(t)} + W_{(t)}\right]^2\right)}{\partial W} = -\frac{\rho A C_d}{m} (\overline{v} + \overline{w}) = -\frac{\rho A C_d}{m} \overline{v}$$

 $\begin{bmatrix} \dot{Y} \\ \dot{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & -\left(\frac{\rho A C_d}{m} + 2\mu g\right) \overline{v} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ V \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ T_e \\ m \end{bmatrix} U + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -g & -\frac{\rho A C_d}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_f \\ \alpha \\ W \end{bmatrix}$ (4)

Trong đó Y và V là các trạng thái, U là biến điều khiển và V_f , α và W là các nhiễu bên ngoài.

Ngoài ra, để gần với trạng thái làm việc thực tế hơn, việc tuyến tính hóa hệ thống có thể được thực hiện trong các điều kiện độ dốc đường khác nhau. Điều này sẽ làm tăng đáng kể độ phức tạp của hệ thống nhưng có thể đạt được hiệu suất ổn định hơn trong thực tế. Một giải pháp khả thi khác là sử dụng bộ điều khiển MPC vì bộ điều khiển MPC có thể xử lý các hệ thống phi tuyến tính.

2.2. Cơ sở lý thuyết mô hình điều khiển dự báo MPC

Hiện nay điều khiển dự báo là chiến lược điều khiển được sử dụng phổ biến nhất trong việc điều khiển quá trình. Bộ điều khiển dự báo dùng một mô hình để đoán trước đáp ứng tương lai của đối tượng điều khiển tại các thời điểm rời rạc trong một phạm vi dự báo (Prediction horizon) nhất định. Dựa vào đáp ứng dự báo này, một thuật toán tối ưu hoá được sử dụng để tính toán chuỗi tín hiệu điều khiển tương lai trong phạm vi điều khiển (Control horizon) sao cho sai lệch giữa đáp ứng dự báo bởi mô hình và tín hiệu chuẩn cho trước là tối thiểu. Phương pháp điều khiển dự báo là phương pháp tổng quát thiết kế bộ điều khiển trong miền thời gian có thể áp dụng cho hệ tuyến tính cũng như hệ phi tuyến.

Các bước cơ bản khi xây dựng mô hình điều khiến dự báo MPC là:

- Sử dụng một mô hình để dự báo giá trị đầu ra của quá trình ở các thời điểm trong tương lai;

- Tính toán lần lượt các tín hiệu điều khiển bằng cách tối thiểu hoá phiếm hàm mục tiêu.

- Mỗi lần (tại thời điểm hiện tại *t*) các tín hiệu điều khiển được dự báo thì chỉ có tín hiệu đầu tiên được đưa đến tác động vào quá trình. Có rất nhiều các thuật toán MPC (Ví dụ như LRPC: Long Range Predictive Control,...), sự khác nhau giữa chúng là sử dụng các mô hình khác nhau để biểu diễn quá trình, nhiễu và hàm mục tiêu (Cost Function) được tối ưu hoá.

Thuật toán MPC (MPC strategy): Thuật toán MPC được thực hiện bởi những bước sau và được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Cấu trúc và nguyên lý làm việc của mô hình điều khiển dự báo

+ Bước 1: Các tín hiệu đầu ra tương lai nằm trong khoảng được xác định N, được gọi là khoảng dự báo tại mỗi thời điểm t nhờ sử dụng mô hình của quá trình. Các giá trị đầu ra dự báo y(t+k/t), với k = 1...N phụ thuộc vào những giá trị trước thời điểm t cho tới thời điểm t (các tín hiệu vào, ra trong quá khứ và hiện tại) và tín hiệu điều khiển trong tương lai: u(t+k/t), k = 1...N-1.

1468

+ Bước 2: Các tín hiệu điều khiển tương lai được tính toán bởi việc tối ưu hoá một tiêu chuẩn làm cho hệ thống giống như một hệ kín với quỹ đạo đặt trước là w(t+k). Tiêu chuẩn này thường là một hàm bậc hai của sai lệch giữa đầu ra dự báo và quỹ đạo đặt (giá trị đặt). Hiệu quả của quá trình điều khiển phụ thuộc vào hàm mục tiêu.

+ Bước 3: Tín hiệu điều khiển u(t/t) được đưa đến quá trình trong khi tín hiệu điều khiển tiếp theo u(t+1/t) cũng được tính nhưng không sử dụng, bởi vì tại thời điểm lấy mẫu tiếp theo y(t+1) đã xác định và cũng được tính toán như bước 1 với những giá trị mới. Như vậy u(t+1/t+1) được tính và khác hẳn với u(t+1/t) bởi vì mô hình có cập nhật những thông tin mới về đối tượng [5].

Để giữ cho ô tô di chuyển theo một vận tốc đặt và khoảng cách so với ô tô tham chiếu cho trước, trong trường hợp điều khiển hành trình thích ứng ACC, bộ điều khiển MPC cần xác định sai số khoảng cách và vận tốc thực tế gần nhất với tham chiếu, thông qua tối ưu hóa phiếm hàm mục tiêu.

3. Kết quả và thảo luận

Quá trình khảo sát lựa chọn thông số của bộ điều khiển dự báo MPC nhằm nâng cao độ chính xác làm việc của hệ thống điều khiển hành trình Adaptive Cruise Control (ACC) trên ô tô. Bài báo sử dụng bộ giá trị cụ thể như sau (Bảng 1).

Các thông số kỹ thuật của ô tô khảo sát	Ký hiệu	Giá trị	Giá trị Các thông số kỹ Giá trị thuật của ô tô khảo sát		Giá trị
Khối lượng toàn bộ của ô tô [kg]	т	2735	Hệ số cản lăn [-]	f_{cl}	0,015
Diện tích cản chính diện [m/s ²]	A	2,8	Mật độ không khí [kg/m ³]	ρ	1,3
Hệ số cản không khí [-]	C_d	0,42	Công suất cực đại của động cơ [kw/rpm]	Nemax	120/3400
Chiều rộng toàn bộ [mm]	B_{tb}	1840	Tỷ số truyền của hộp số (Hộp số tự động A304F (4WD)) [-]	iı	i_1 : 2,804; i_2 : 1,531; i_3 : 1; i_4 : 0,705; i_l : 2,393

Bảng 1. Giá trị của các thông số dùng để khảo sát lựa chọn thông số của bộ điều khiển dự báo MPC (tham khảo thông số xe Fortuner-PMG) [5]

a) Trường hợp 1: Với vận tốc ban đầu $V_0 = 60$ km/h, vận tốc đặt $V_{dăt} = 80$ km/h

Bài báo lựa chọn các giá trị của bộ điều khiển MPC như sau: phạm vi dự báo lần lượt $p_1 = 10$; $p_2 = 20$; $p_3 = 30$; $p_4 = 40$; thời gian lấy mẫu $\Delta t = 1$ s, hệ số hành vi điều khiển (controller behavior) c = 0,5 (more robust). Ứng dụng phần mềm Matlab-Simulink ta có kết quả khảo sát như sau:



Từ đồ thị hình 3 ta thấy có các trường hợp cụ thể như sau: Với vận tốc đặt là 80 km/h khi điều chỉnh phạm vi dự báo p_i; với $p_1 = 10$, ta nhận thấy vận tốc đặt và vận tốc thực tế có sự sai lệch tại thời điểm t = 10 s là 0,595 km/h, tương ứng với giá trị vận tốc thực tế tăng 0,74 % so với vận tốc đặt; trường hợp $p_4 = 40$, ta thấy vận tốc thực tế bám sát hơn vận tốc đặt, tuy nhiên khoảng cách giữa hai xe lại có sự sai lệch là lớn nhất giá trị này tương ứng 1,9m. Sai lệch về khoảng cách nhỏ nhất tương ứng với $p_2 = 20$. Như vậy, nếu giữ nguyên giá trị Δt và c, với p_i đạt giá trị lân cận 20 thì sai số giữa vận tốc đặt và vận tốc thực tế là phù hợp với yêu cầu đặt ra của quá trình điều khiển. Nếu giá trị p_i quá lớn, sẽ dẫn đến tại một số thời điểm thì khoảng cách thực tế sẽ lớn nhiều hơn so với khoảng cách an toàn.

b) Trường hợp 2: Với vận tốc ban đầu $V_0 = 60$ km/h, $V_{dăt} = 80$ km/h

Bài báo lựa chọn các giá trị của bộ điều khiển MPC như sau: phạm vi dự báo p = 20 thời gian lấy mẫu $\Delta t_1 = 0.5$ s; $\Delta t_2 = 1$ s; $\Delta t_3 = 1.5$ s; $\Delta t_4 = 2$ s, hệ số hành vi điều khiển (controller behavior) c = 0.5 (more robust). Kết quả khảo sát như sau:



Hình 4. Đồ thị so sánh giữa vận tốc đặt và vận tốc thực tế, khoảng cách an toàn và khoảng cách thực tế

Từ đồ thị hình 4 ta thấy có các trường hợp cụ thể như sau: Với vận tốc đặt là 80 km/h khi điều chỉnh thời gian lấy mẫu Δt ; với $\Delta t_4 = 2$, ta nhận thấy vận tốc đặt và vận tốc thực tế có sự sai lệch tại thời điểm t = 10 s là 0,76 km/h, tương ứng với giá trị vận tốc thực tế tăng 0,95 % so với vận tốc đặt; trường hợp $\Delta t_1 = 0.5$, ta thấy vận tốc thực tế bám sát hơn vận tốc đặt, tuy nhiên khoảng cách giữa hai xe lại có sự sai lệch tương đối lớn. Sai lệch về khoảng cách nhỏ nhất tương ứng với $\Delta t_2 = 1$ với giá trị 0,332m. Như vậy, nếu giữ nguyên giá trị *p* và *c*, với Δt đạt giá trị lân cận 1 thì sai số giữa vận tốc đặt và vận tốc thực tế là phù hợp với yêu cầu đặt ra của quá trình điều khiển.

c) Trường hợp 3: Với vận tốc ban đầu $V_0 = 40$ km/h, $V_{d\tilde{a}t} = 60$ km/h

Bài báo lựa chọn các giá trị của bộ điều khiển MPC như sau: Phạm vi dự báo $p_1 = 10$; $p_2 = 20$; $p_1 = 20$ thời gian lấy mẫu $\Delta t = 1$ s, hệ số hành vi điều khiển (controller behavior) $c_1 = 0,2$; $c_2 = 0,3$; $c_3 = 0,4$; $c_4 = 0,5$. Kết quả khảo sát như sau:



Hình 5. Đồ thị so sánh giữa vận tốc đặt và vận tốc thực tế, khoảng cách an toàn và khoảng cách thực tế

Từ đồ thị Hình 5 ta thấy có các trường hợp cụ thể như sau: Với vận tốc đặt là 80 km/h khi điều chỉnh hệ số c_i ; với $c_1 = 0,2$, ta nhận thấy vận tốc đặt và vận tốc thực tế có sự sai lệch tại thời điểm t = 10 s là 3,79 km/h, tương ứng với giá trị vận tốc thực tế giảm 4,7 % so với vận tốc đặt; trường hợp $c_4 = 0,5$, ta thấy vận tốc thực tế bám sát hơn vận tốc đặt, khoảng cách giữa hai xe cũng sự sai lệch là nhỏ nhất giá trị này tương ứng 0,332 m. Như vậy, nếu giữ nguyên giá trị Δt và p_i , với c đạt giá trị lân cận 0,5 thì sai số giữa vận tốc đặt và vận tốc thực tế cũng như khoảng cách là phù hợp với yêu cầu đặt ra của quá trình điều khiển.

4. Kết luận

Với các chế độ khảo sát đã đưa ra, ta nhận thấy các kết quả mô phỏng cơ bản phù hợp lý thuyết với thực tế; Cho phép ta khảo sát, hiệu chỉnh bộ điều khiển thuật toán MPC với các thông số thay đổi liên tục theo thời gian, đáp ứng yêu cầu đặt ra của quá trình điều khiển là: Ôn định duy trì một tốc độ xe không đổi khi có nhiễu lực cản bên ngoài, cho chất lượng động học tốt, duy trì khoảng cách an toàn với xe đi trước. Với bộ thông số điều khiển phạm vi dự báo p = 20 thời gian lấy mẫu $\Delta t = 1$ s, hệ số hành vi điều khiển (controller behavior) c = 0,5, hệ thống làm việc ổn định với sai số giữa vận tốc, khoảng cách đặt và giá trị thực tế là nhỏ nhất.

Tài liệu tham khảo

1. Lưu Kim Thành, Trần Anh Dũng, Đào Quang Khanh (2016). Mô phỏng hệ kiểm soát hành trình trên cơ sở động học phương dọc cho xe ô tô bằng công cụ Matlab Simulink, Tạp chí Khoa học-Công nghệ Hàng hải số 45, Trang 26.

2. Lưu Kim Thành, Trần Anh Dũng, Đào Quang Khanh (2016). Nghiên cứu hệ điều khiển hành trình có thích nghi - Adaptive Cruise Control (ACC) cho xe ô tô bằng công cụ Matlab Simulink, Hội nghị quốc tế khoa học hàng hải, Trang 342.

3. Sivaji, Sailaja (2013). Adaptive Cruise Control Systems for Vehicle Modeling Using Stop and

GoManoeuvres, Dept of Electronics & Communication Engineering University College of Engineering Kakinada, JNTUK.

4. Yinglong He, Michail Makridis, Georgios Fontaras, Konstantinos Mattas, Hongming Xu & Biagio Ciuffo (2020). *The energy impact of adaptive cruise control in real-world highway multiple-car-following scenarios*, European Transport Research Review, volume 12, Article number: 17, https://doi.org/10.1186/s12544-020-00406-w

5. Lie Guo, Pingshu Ge, Dachuan Sun and Yanfu Qiao (2020). Adaptive Cruise Control Based on Model Predictive Control with Constraints Softening, applied science. https://doi:10.3390/app10051635

6. http://toyotatraining.com/FTP/PMG/Fortuner_PMG.pdf.

Research for selection of parameters of model predictive control to improve the working Accuracy of Cruise Control system in vehicle

Abstract: Cruise control system is a system that automatically controls the speed of the vehicle, maintaining the vehicle at a certain speed as well as the distance to the vehicle in front according to the modes set by the driver. In addition, the system also helps the driver avoid violating the maximum speed limit, as well as helping to save fuel. The article is based on the mathematical model of linear motion dynamics and the application of Matlab-Simulink software to investigate the change of the parameters of the Model Predictive Control to improve the working efficiency of the Adaptive Cruise Control system in the field different operating conditions.

Keywords: Velocity; safe distance; constraints, control horizon.

Khảo sát động lực học chuyển động thẳng xe thiết giáp bánh lốp chở quân sản xuất tại Việt Nam

Bùi Quốc Huy^{1*}, Tô Viết Thành¹, Dương Thành Công¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt:

Hiện nay, Quân đội ta đang nghiên cứu, chế thử xe thiết giáp bánh lốp chở quân nhằm góp phần hiện đại hóa vũ khí, trang bị. Việc khảo sát động lực học chuyển động thẳng của xe thiết giáp bánh lốp chở quân là cần thiết để đánh giá khả năng cơ động của xe có đáp ứng được những yêu cầu đặt ra. Bài báo trình bày cơ sở khoa học của việc tính toán, khảo sát động lực học chuyển động thẳng của xe thiết giáp bánh lốp chở quân sản xuất tại Việt Nam, cụ thể: xây dựng đặc tính kéo, xây dựng đồ thị tăng tốc, xây dựng đồ thị quãng đường tăng tốc và đưa ra nhận xét, đánh giá về động lực học của xe.

Từ khóa: thiết giáp lốp, động cơ, kết cấu, động lực học.

1. Mở đầu

Trang thiết bị sử dụng trong chiến tranh hiện đại và phương thức tác chiến có nhiều thay đổi, tuy nhiên đối với quân đội nước ta, xe thiết giáp bánh lốp vẫn là loại trang bị chủ lực, không thể thay thế trong trang bị của lục quân. Với chủ trương phát triển, hiện đại hóa và từng bước làm chủ các loại xe thiết giáp, Tổng cục CNQP đã nghiên cứu chế thử xe thiết giáp bánh lốp chở quân có công thức bánh xe 4x4 dựa trên khung gầm xe cơ sở URAL-43206.



Hình 1. Xe thiết giáp bánh lốp chở quân sản xuất tại Việt Nam

Đây là loại xe thiết giáp bánh lốp, có khả năng bơi nước dùng để cơ động lực lượng trong tác chiến, trấn áp khủng bố và có thể thực hiện nhiệm vụ cứu hộ, cứu nạn khi cần thiết. Xe được trang bị hỏa lực, có thể tiêu diệt các mục tiêu và lực lượng bộ binh có thể sử dụng vũ khí cá nhân bắn từ trong xe qua các lỗ châu mai, cửa trên khoang xe.

Chất lượng động lực học của xe thiết giáp bánh lốp là tập hợp các thông số đặc trưng cho khả năng chuyên chở người, vũ khí và khí tài (*gọi chung là khả năng chuyên chở*) với vận tốc chuyển động trung bình lớn nhất ở điều kiện đường xá cho trước. Chất lượng động lực học càng

tốt thì năng suất chuyên chở càng cao, thời gian chuyên chở càng giảm. Chất lượng động lực học của xe thiết giáp bánh lốp phụ thuộc chủ yếu vào chất lượng kéo và chất lượng phanh.

- Chất lượng kéo:

Chất lượng kéo được đánh giá qua vận tốc của ô tô có thể đạt được ở điều kiện đường đã cho; lực cản lớn nhất mà xe có thể khắc phục được và khả năng tăng tốc của xe:

- + Tốc độ lớn nhất của xe thiết giáp bánh lốp (V_{max}).
- + Khả năng vượt dốc lớn nhất (α_{max}).
- + Lực kéo lớn nhất ở từng số truyền.
- + Khả năng tăng tốc.
- Chất lượng phanh:

Chất lượng phanh là khả năng phanh đạt hiệu quả cao và ổn định ở chế độ phanh cấp tốc. Thông thường được đặc trưng bằng các thông số:

+ Hiệu quả phanh (quãng đường, thời gian, gia tốc và lực phanh riêng: S_p , t_p , J_p và γ_p).

+ Độ ổn định hướng khi phanh (*hành lang phanh: H_p*).

2. Khảo sát động lực học chuyển động thẳng xe thiết giáp bánh lốp chở quân sản xuất tại Việt Nam.

2.1. Cơ sở lý thuyết

Nghiên cứu động lực học xe thiết giáp bánh lốp là khảo sát quan hệ giữa các yếu tố đặc trưng của chuyển động (*chuyển vị, vận tốc, gia tốc...*) với các yếu tố khối lượng (*giá trị, sự phân bố*) và các yếu tố lực tác dụng lên xe, làm cơ sở cho hầu hết các quá trình nghiên cứu tính toán thiết kế, kiểm nghiệm.



Hình 2. Mô hình không gian khảo sát động lực học xe thiết giáp bánh lốp

Nghiên cứu động lực học chuyển động của xe thiết giáp bánh lốp một cách tổng quát nhất phải tiến hành trên mô hình không gian. Nếu xem xe thiết giáp bánh lốp như một vật rắn chuyển động trong hệ toạ độ không gian ba chiều cố định OXYZ thì chuyển vị của trọng tâm xe thiết giáp bánh lốp được xem xét bởi sáu thành phần, gồm chuyển vị dọc theo 3 trục và quay quanh 3 trục. Tùy theo mục đích nghiên cứu mà có thể xem xét các chuyển vị này là đồng thời hay độc lập đối với nhau. Mô hình không gian đơn giản khảo sát động lực học xe thiết giáp bánh lốp có sơ đồ như Hình 2. Trong thực tế nghiên cứu động lực học chuyển động của xe thiết giáp bánh lốp, đơn giản hơn cả là dùng mô hình phẳng.

1475

2.2. Các giả thiết xây dựng mô hình

Các mô hình vật lý đơn giản chỉ kể đến các tương tác cơ học giữa xe với môi trường thường sử dụng trong khảo sát động lực học chuyển động thẳng xe thiết giáp bánh lốp là:

- Mô hình không gian.

- Mô hình phẳng.

Để thuận tiện trong việc khảo sát đánh giá chất lượng động lực học của xe thiết giáp bánh lốp. Bài báo sử dụng mô hình phẳng để xây dựng mô hình toán học cho việc nghiên cứu động lực học chuyển động thẳng của xe, với các giả thiết sau:

- Bài toán được giải trên mô hình phẳng, khảo sát chuyển động của thân xe như một chất điểm có khối lượng đặt tại trọng tâm xe.

- Biến dạng của đường và của lốp được kể đến khi xác định lực cản lăn, lực kéo. Trên sơ đồ không mô tả sự biến dạng này.

- Xe chuyển động trên mặt phẳng nằm ngang không có mấp mô, không khảo sát chuyển động theo phương thẳng đứng.

- Bỏ qua ảnh hưởng của lực gió ngang.

- Bỏ qua ảnh hưởng của hệ thống treo trong quá trình khảo sát, coi như các bánh xe được ghép trực tiếp vào thân xe.

- Phản lực của đường tác dụng lên thân xe qua trục bánh xe, sự chuyển rời tâm áp lực được kể đến qua mô men cản lăn.

- Mô hình khi thiết lập ở dạng mô hình phẳng, coi kết cấu là đối xứng qua mặt phẳng dọc giữa xe.

Các thông số đưa vào để tiến hành khảo sát động lực học chuyển động thẳng của xe được đưa ra trong Bảng 1:

ТТ	Số liệu đầu vào	Giá trị	Đơn vị
1	Số vòng quay tối thiểu của động cơ n _{emin}	650	vg/ph
2	Mô men nhỏ nhất M _{emin}	600	Nm
3	Số vòng quay ở mô men lớn nhất n_{eM}	1400	vg/ph
4	Mô men lớn nhất M _{emax}	931	Nm
5	Số vòng quay ở công suất lớn nhất n_{eN}	2500	vg/ph
6	Công suất lớn nhất N _{eM}	199	kW
7	Trọng lượng toàn bộ xe G_a	13,6	Tấn
	Tỉ số truyền của hộp số ihs		
8	Ι	5,405	
	Π	3,447	

Bảng 1. Thông số tiến hành khảo sát

TT	Số liệu đầu vào	Giá trị	Đơn vị
	III	1,739	
	IV	1	
	V	0,738	
	Tỷ số truyền của hộp số phân phối <i>i_{hspp}</i>		
9	+ ST thấp	2,15	
	+ ST cao	1,21	
10	Tỷ số truyền của truyền lực chính <i>iTLC</i>	1,846	
11	Tỷ số truyền của giảm tốc cạnh <i>i</i> GTC	4,33	
12	Hiệu suất của hệ thống truyền lực η_{tl}	0,9	
13	Hệ số kể đến tổn hao trong thiết bị động lực K_p	0,9	
14	Bán kính tính toán bánh xe r_k	0,6	m
15	Chiều rộng xe B	2,9	m
16	Chiều cao xe H	2,35	m
17	Hệ số cản không khí K_w	0,7	$N.s^2.m^{-4}$
18	Hệ số kể đến ảnh hưởng của vận tốc tới hệ số cản lăn K_f	7.10 ⁻⁶	
19	Hệ số cản lăn f	0,018	
20	Thời gian sang số	1	s

2.3. Khảo sát động lực học chuyển động thẳng

Mô hình khảo sát động lực học chuyển động thẳng của xe, Hình 3 [3].



Hình 3. Mô hình khảo sát động lực học chuyển động thẳng.

Trong đó: G - Trọng lượng xe; P_w - Lực cản không khí; P_i - Lực cản lên dốc; P_f - Lực cản lăn; M_{f1}, M_{f2}- Mô men cản lăn; P_j - Lực quán tính; R₁, R₂ - Phản lực pháp tuyến của đường; P_k - Lực kéo tiếp tuyến α – Góc dốc; P_{mk} - Lực cản móc kéo; a - khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước; b - Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu sau; c - Khoảng cách từ trọng tâm đến móc kéo; L

- Chiều dài cơ sở , γ - Góc nghiêng của móc kéo với mặt đường; ω – Vận tốc góc của bánh xe; h_w – Chiều cao của lực cản chính diện; h_g – Chiều cao trọng tâm xe

Phương trình chuyển động của xe :

$$M_a.\,\delta.\frac{dv}{dt} = P_k - P_f - P_i - P_w \tag{1}$$

$$\Leftrightarrow M_a. \,\delta_i \frac{dv}{dt} = a_i. \,v^2 + b_i. \,v + c_i \tag{2}$$

$$V \acute{o}i: \begin{cases} a_{i} = -\left[\frac{M_{eN}.i_{tli}.\eta_{tli}.K_{p}}{r_{d}.v_{Ni}^{2}}.c + G.K_{f} + K_{b}.F\right] \\ b_{i} = \frac{M_{eN}.i_{tli}.\eta_{tli}.K_{p}}{r_{d}.v_{Ni}}.b \\ c_{i} = \frac{M_{eN}.i_{tli}.\eta_{tli}.K_{p}}{r_{d}}.a - G.(f_{0} + \sin\alpha) \end{cases}$$
(3)

Sử dụng công thức thực nghiệm Lây-Đéc-Man để xây dựng đồ thị đặc tính ngoài động cơ, Hình 4 [3].



Hình 4. Đặc tính ngoài động cơ

* Xác định lực kéo ở bánh xe chủ động P_{ki}

Lực kéo ở bánh xe chủ động tính theo động cơ: $P_{ki} = \frac{M_e \cdot i_{tli} \cdot \eta_{tli} \cdot K_p}{r_d}$ (4)

Trong đó: P_{ki} - lực kéo ở số truyền i [N]; M_e - mô men xoắn động cơ ứng với vòng quay $n_e[N.m]$; i_{tli} - tỉ số truyền của hệ thống truyền lực ở số truyền tương ứng; η_{tli} - hiệu suất của hệ thống truyền lực ở số truyền i; K_p - hệ số kể đến tổn hao ở thiết bị động lực; Lấy $K_p = 0.85 \div 0.95$; Chọn $K_p = 0.9$.

 v_i - vận tốc ở số truyền i [m/s]; r_k - bán kính tính toán của bánh xe [m];

1477





Hình 5. Đặc tính kéo chuyển động thẳng của xe

* Xác định lực cản không khí:
$$P_{wi} = K_b \cdot F \cdot v_i^2$$
 (5)

Trong đó:K_b- hệ số cản không khí [N.s²/m⁴]; F - diện tích chính diện của xe thiết giáp bánh lốp [m²]; F = B.H.m²; B - chiều rộng cơ sở của xe thiết giáp bánh lốp [m]; H - chiều cao lớn nhất của xe thiết giáp bánh lốp [m]; m - hệ số điền đầy diện tích cản chính diện. Lấy m = 0,85.

* Xác định nhân tố động lực học:
$$D_i = \frac{P_{ki} \cdot P_{wi}}{G}$$
 (6)

Trong đó: D_i - nhân tố động lực học ở số truyền *i*; P_{ki} - lực kéo ở số truyền *i*[N]; P_{wi} - lực cản của không khí tại số truyền *i*; G: trọng lượng toàn bộ của xe [N].

Thay (4) và (5) vào (6), ta thu được:
$$D_i = \frac{(A_i - K_p \cdot F) \cdot v^2 + B_i \cdot v + C}{G}$$
 (7)



Hình 6. Nhân tố động lực học chuyển động thẳng của xe

* Xác định hệ số khối lượng quay

Hệ số khối lượng quay được xác định theo công thức:

$$\delta_i = 1 + 0.05. \left(1 + i_{hi}^2\right) \tag{8}$$

i_{hi}: tỷ số truyền của hộp số ở số truyền i.

* Xác định thời gian tăng tốc

Thời gian tăng tốc ở số truyền i được xác định theo phương trình vi phân.

Từ (2), ta có:

$$d_t = \frac{M.\delta_i.d_v}{a_i.v^2 + b_i.v + c_i} \tag{9}$$

Thời gian tăng tốc từ vận tốc v_{1i} đến v_{2i} là:

$$t_{ti} = M.\,\delta_i.\,\int_{\nu_{1i}}^{\nu_{2i}} \frac{d_\nu}{a_i.\nu^2 + b_i.\nu + c_i} \tag{10}$$

- Nếu $\Delta = b_i^2$ -4. b_i . $c_i < 0$ thì ta có:

$$t_{ti} = \frac{2.M.\delta_i}{\sqrt{-\Delta}} \cdot \operatorname{artg} \left| \frac{2.a_i \cdot v + b_i}{\sqrt{-\Delta}} \right|_{v_{1i}}^{v_{2i}}$$
(11)

- Nếu $\Delta = b_i^2$ -4. b_i . $c_i > 0$ thì ta có:

$$t_{ti} = \frac{M.\delta_i}{\sqrt{\Delta}} \cdot \ln \left| \frac{2.a_i \cdot v + b_i - \sqrt{\Delta}}{2.a_i \cdot v + b_i + \sqrt{\Delta}} \right|_{v_{1i}}^{v_{2i}}$$
(12)



Hình 7. Đồ thị thời gian tăng tốc

* Xác định quãng đường tăng tốc

Để xác định quãng đường tăng tốc, ta biến đổi phương trình (2), ta có:

$$\frac{dv}{ds} \cdot \frac{dS}{dt} \cdot M \cdot \delta_i = a_i \cdot v^2 + b_i \cdot v + c_i \Rightarrow \frac{v \cdot dv}{dS} = a_i \cdot v^2 + b_i \cdot v + c_i$$
(13)

Quãng đường tăng tốc của xe thiết giáp bánh lốp từ v_{1i} đến v_{2i} là:

$$S_{tt} = M.\,\delta_i.\,\int_{\nu_{1i}}^{\nu_{2i}} \frac{\nu.d\nu}{a_i.\nu^2 + b_i.\nu + c_i}; \, i = 1, \, 2, \, \dots \, n.$$
(14)

Sau khi sử dụng bảng tích phân, ta nhận được:



Hình 8. Đồ thị quãng đường tăng tốc, thời gian tăng tốc của xe

Nhận xét:

- Thời gian đi hết quãng đường 200m là 22s < 20 + 0,4G = 25,4; vận tốc tối đa đạt 84 km/h đáp ứng QCVN 09:2015/BGTVT Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng an toàn kỹ thuật và bảo vệ môi trường đối với xe ô tô.

- Khoảng vận tốc, nhân tố động lực học rộng đảm bảo xe có thể chuyển động trên nhiều loại địa hình khác nhau, đáp ứng yêu cầu nhiệm vụ quân sự.

Như vậy, chất lượng động lực học của xe tốt, đáp ứng được các yêu cầu đối với xe quân sự.

4. Kết luận

Bài báo đã tiến hành khảo sát động lực học chuyển động thẳng của xe thiết giáp bánh lốp chở quân sản xuất tại Việt Nam, đưa ra đồ thị để có thể nhận xét một cách trực quan về các thông số đánh giá động lực học chuyển động thẳng của xe.

Kết quả khảo sát cho thấy: vận tốc lớn nhất của xe đạt 84km/h; gia tốc lớn nhất 1,68m/s² như vậy xe đảm bảo các thông số về nhân tố động lực học, khoảng vận tốc, khả năng gia tốc đáp ứng các nhiệm vụ quân sự.

Bài báo thực hiện những tính toán trên cơ sở lý thuyết, cần tiếp tục nghiên cứu, thử nghiệm thực tế để làm căn cứ tiến hành nghiên cứu cải tiến để xe hoàn thiện hơn đáp ứng được yêu cầu của các nhiệm vụ được giao.

Tài liệu tham khảo

- Lê Thanh Tuấn (2020). Nghiên cứu thiết kế bố trí chung xe thiết giáp chở quân trên cơ sở ô tô quân sự, Hà Nội, Luận án tiến sĩ, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- Phạm Đình Vi, Vũ Đức Lập (1995). Cấu tạo ô tô quân sự Tập 1,2, Hà Nội, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- 3. Khoa động lực (2002). Lý thuyết ô tô quân sự, Hà Nội, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- 4. Vũ Đức Lập (2001). *Ứng dụng máy tính trong tính toán xe quân sự*, Hà Nội, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân.

1480

Survey on linear motion dynamics of wheeled Armored vehicles produced in Viet Nam

Abstract: Currently, our Army is researching and testing wheeled armored personnel carriers to contribute to the modernization of weapons and equipment. Investigating the linear motion dynamics of a wheeled armored personnel carrier is necessary to evaluate whether the vehicle's maneuverability meets the set requirements. This article presents the scientific basis for calculating and investigating the linear dynamics of wheeled armored personnel carriers manufactured in Vietnam, specifically: building traction characteristics, building acceleration graphs. , build a graph of acceleration distance and give comments and assessments on vehicle dynamics.

Keywords: wheeled armored vehicle, engine, structure, dynamics.

1482

Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số kết cấu hệ thống treo cabin đến độ êm dịu chuyển động của ô tô quân sự

Trần Thành Lam 1*, Đỗ Văn Tứ¹, Nguyễn Mạnh Hùng¹

¹Học viện kỹ thuật quân sự;

Email: lam.tranthanh@lqdtu.edu.vn; Tel: 0972162262

Tóm tắt

Bài báo tiến hành nghiên cứu kết cấu hệ thống treo cabin của ô tô quân sự đặc chủng, xây dựng mô hình khảo sát động lực học dao động dựa trên nguyên lý tách vật Newton-Euler. Khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu hệ thống treo cabin đến độ êm dịu chuyển động của ô tô quân sự, đặc biệt ảnh hưởng của dao động đến người ngồi trên cabin. Dựa trên cơ sở phần mềm Matlab-Simulink khảo các các trường hợp độ cứng và hệ số cản của các phần tử hệ thống treo thay đổi. Từ kết quả thu được và đối chiếu với tiêu chuẩn ISO2631-1, tiến hành đánh giá ảnh hưởng của các tham số độ cứng và hệ số cản đến độ em dịu chuyển động.

Từ khóa: Bình phương trung bình gia tốc (AMS); độ êm dịu, độ cứng hệ thống treo cabin; hệ số cản giảm chấn.

1. Đặt vấn đề

- Hệ thống treo có vai trò quan trọng nhằm nâng cao độ êm dịu chuyển động, đồng thời làm giảm các tác động xấu đến mặt đường. Đối với ô tô quân sự, độ êm dịu của cabin có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả làm việc và sức khỏe của người ngồi trên cabin, bởi vì điều kiện làm việc của ô tô quân sự khắc nghiệt hơn so với các loại phương tiện khác [1]. Khi xe chuyển động trên đường các nguồn kích thích dao động được truyền từ mặt đường và động cơ lên người lái thông qua hệ thống treo của cabin và ghế ngồi.

- Mục tiêu của bài báo này, xây dựng mô hình ½ theo phương dọc và phương ngang, nghiên cứu động lực học dao động của ô tô quân sự có công thức bánh xe 6x6, nhằm phân tích ảnh hưởng của các thông số hệ thống treo cabin đến độ êm dịu người ngồi trên cabin [2].

- Các giá trị gia tốc bình phương trung bình của ghế ngồi người ngồi trên cabin theo phương thẳng đứng, góc lắc dọc và lắc ngang của cabin được chọn là hàm mục tiêu. Dựa trên các chỉ tiêu về độ êm dịu cho người được Hiệp hội kỹ sư Đức VDI đưa ra bằng tiêu chuẩn quốc gia VDI - 2537 và được tổ chức tiêu chuẩn quốc tế chấp nhận thành tiêu chuẩn ISO2631-1 cũng như các thông số thiết kế hệ thống treo cabin để đánh giá ảnh hưởng và độ êm dịu [1], [3], [4]. Một số kết cấu hệ thống treo cabin thông dụng trên ô tô quân sự thể hiện trong các hình sau [5]:

^{*} Email: lam.tranthanh@lqdtu.edu.vn



Hình 1. Hệ thống treo cabin sử dụng phần tử đàn hồi gối cao su của GAZ-3308



Hình 3. Hệ thống treo cabin trước sử dụng phần tử đàn hồi khí nén của KAMAZ-6520



Hình 2. Hệ thống treo cabin trước sử dụng phần tử đàn hồi lò xo của KAMAZ-63501



Hình 4. Hệ thống treo cabin sau sử dụng phần tử đàn hồi nhíp ¼ êlip của KAMAZ-63501

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Giả thiết xây dựng mô hình

 Mô hình tính toán là mô hình phẳng. Có nghĩa là ô tô được giả thiết là đối xứng đối với trục dọc và xem độ mấp mô của biên dạng đường ở hai bánh xe hai bên của một cầu là như nhau.

- Coi khung xe, vỏ xe là vật rắn cứng tuyệt đối.

- Ô tô được tạo bởi các khối lượng quán tính chuyển động cùng với trọng tâm xe. Trọng tâm của xe nằm trong mặt phẳng đối xứng dọc xe.

 Không xét ảnh hưởng các tác động ngang và dọc của đường lên dao động khối lượng của xe; Các đặc tính đàn hồi giảm chấn là tuyến tính; Đường tâm trục cầu xe dao động trong các mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng đối xứng dọc xe.

- Bỏ qua mômen quán tính của các cầu xe đối với trục quay của bánh xe. Bỏ qua sự mất cân bằng và mômen hiệu ứng con quay.

 Dao động góc ngang của các khối lượng là nhỏ; Sự tiếp xúc của bánh xe với mặt đường là tiếp xúc điểm; Xe chuyển động trên đường cứng tuyệt đối; Bỏ qua sự trượt của bánh xe và bề mặt đường. - Xét dao động thẳng đứng; Dao động của các phần tử trong hệ là tuyến tính; Bánh xe lăn không trượt trên nền cứng tuyệt đối và luôn tiếp xúc với mặt đường.

- Liên kết của cơ hệ là liên kết lý tưởng.

2.2. Xây dựng mô hình khảo sát

Từ các giả thiết ở trên, để đánh giá ảnh hưởng của các thông số kết cấu hệ thống treo cabin đến độ êm dịu của người ngồi trên cabin, mô hình động lực không gian theo phương thẳng đứng của ô tô tải quân sự với 15 bậc tự do được thiết lập. Có nhiều yếu tố gây ra dao động của ô tô như: Nội lực trong ô tô; các ngoại lực xuất hiện trong quá trình sử dụng như tăng tốc, phanh, đánh lái; Ngoại cảnh, gió, bão..., các mấp mô mặt đường. Đến nay yếu tố mấp mô mặt đường vẫn được xem là nguồn chủ đạo gây ra dao động ô tô. Để mô ta kích động từ đường có thể sử dụng các hàm xác định trong đó có các mấp mô dạng xung, mấp mô theo quy luật điều hòa hoặc mô tả bằng các hàm ngẫu nhiên [2, 3, 6, 7]. Trong bài báo này lựa chon kích động là các hàm ngẫu nhiên.



Hình 5. Mô hình 1/2 khảo sát dao động ô tô tải quân sự 3 cầu

- Các tham số ký hiệu trên mô hình bao gồm:

+ k_1 , k_2 , k_3 , k_{41} , k_{42} , k_{51} , k_{52} , k_{61} , k_{62} , k_7 , k_8 - lần lượt là độ cứng đặc trưng của lốp, hệ thống treo và hệ thống treo cabin;

 $+ c_1, c_2, c_3, c_{41}, c_{42}, c_{51}, c_{52}, c_{61}, c_{62}, c_7, c_8$ - là hệ số cản đặc trưng cho lốp xe, hệ thống treo, hệ thống treo cabin;

+ l₀₁, l₀₄, l₄₂, l₄₃, ... là các khoảng cách tương ứng từ trọng tâm đến các điểm treo thể hiện trên Hình 5;

+ m1, m3, m5 là các khối lượng không được treo;

+ I₂, I₄, I₆, I₁₁, I₁₂, I₁₄, I₁₅ là các momen quán tính tương ứng của các khối lượng;

 $+ z_1, z_3, z_5, z_7, z_{13}$ là các chuyển vị theo phương thẳng đứng;

+ φ_2 , φ_4 , φ_6 , φ_8 , φ_9 , φ_{10} , φ_{11} , φ_{12} , φ_{14} , φ_{15} là các chuyển vị góc của các khối lượng dao động;

 $+ q_{11}, q_{21}, q_{31}, q_{1r}, q_{2r}, q_{3r}$ là các mấp mô mặt đường.

- Hệ phương trình mô tả trạng thái của hệ thống được xây dựng như sau: Áp dụng nguyên lý Đalămbe thiết lập hệ phương trình vi phân.

$$\begin{cases} m_{1} : \ddot{z}_{1} = F_{1ru} - F_{1lu} - F_{01} - F_{02} \\ I_{2} : \ddot{\varphi}_{2} = (F_{1ru} - F_{1lu}) I_{cr} - (F_{01} - F_{02}) I_{f1} \\ m_{3} : \ddot{z}_{3} = F_{2ru} + F_{2lu} - F_{42} - F_{52} \\ I_{4} : \ddot{\varphi}_{4} = (F_{2ru} - F_{2lu}) I_{cr} - (F_{42} - F_{52}) I_{r1} \\ m_{5} : \ddot{z}_{5} = F_{3ru} + F_{3lu} - F_{43} - F_{53} \\ I_{6} : \ddot{\varphi}_{6} = (F_{3ru} - F_{3lu}) I_{cr} - (F_{43} - F_{53}) I_{r1} \\ m_{7} : \ddot{z}_{7} = F_{01} + F_{02} + F_{42} + F_{43} + F_{52} + F_{53} + F_{06} + F_{07} + F_{08} + F_{09} \\ I_{8} : \ddot{\varphi}_{8} = (F_{42} + F_{43} + F_{52} + F_{53}) I_{04} - (F_{01} + F_{02}) I_{01} - (F_{06} + F_{08}) I_{06} - (F_{07} + F_{09}) I_{07} \\ I_{9} : \ddot{\varphi}_{9} = (F_{42} + F_{43} - F_{52} - F_{53}) I_{r1} \\ I_{10} : \ddot{\varphi}_{10} = (F_{01} - F_{02}) I_{f1} + (F_{06} + F_{07} - F_{08} - F_{09}) I_{c1} \\ I_{11} : \ddot{\varphi}_{11} = (F_{43} - F_{42}) I_{42} \\ I_{12} : \ddot{\varphi}_{12} = (F_{53} - F_{52}) I_{42} \\ m_{13} : \ddot{z}_{13} = -(F_{06} + F_{07} + F_{08} + F_{09}) \\ I_{14} : \ddot{\varphi}_{14} = (F_{07} + F_{09} - F_{06} - F_{08}) I_{10} \\ I_{15} : \ddot{\varphi}_{15} = (F_{08} + F_{09} - F_{06} - F_{07}) I_{c1} \end{cases}$$

2.3. Cơ sở lý thuyết mặt đường ngẫu nhiên

Hiện nay, có nhiều phương pháp để mô tả mấp mô của mặt đường như sử dụng các hàm toán học dạng bậc, hàm điều hòa, thí nghiệm trực tiếp hoặc theo phương pháp thống kê để xây dựng hàm số thực nghiệm. Trong nghiên cứu này tác giả dựa trên tiêu chuẩn ISO 8068 về cách phân loại các mặt đường thông dụng (Bảng 1), từ đó là cơ sở để tiến hành xây dựng hàm kích thích mặt đường ngẫu nhiên. Theo tiêu chuẩn ISO 8068 mấp mô của mặt đường có mật độ phổ $Sq(n_0)$ và được định nghĩa bằng công thức thực nghiệm [2]:

$$S_q(n) = S_q(n_0) \left(\frac{n}{n_0}\right)^{-a}$$

Hàm mấp mô mặt đường ngẫu nhiên được giả định là quá trình ngẫu nhiên Gauss và nó được tạo ra thông qua biến ngẫu nhiên Fourier ngược:

$$q(t) = \sum_{i=1}^{N} \sqrt{\frac{2\nu n_0^2 S_q(n_0)}{f_{mid,i}^2}} \Delta f.\cos(2\pi f_{mid,i}t + \phi_i)$$

Trong đó, $f_{mid,i} = f_1 + \frac{2i-1}{2} \Delta f$ với i = 1, 2, 3, ...n và ϕ_i là pha ngẫu nhiên phân bố $0 \div 2\pi$

Bảng 1. Các loại mặt đường phân loại theo tiêu chuẩn ISO 8068

STT	Phân cấp	Α	В	С	D	E
1	Tình trạng mặt đường	Rất tốt	Tốt	Bình thường	Xấu	Rất xấu
2	$S_q(n_0)$	16	64	256	1024	4096

2.4. Độ êm dịu chuyển động

Độ êm dịu chuyển động ("Ride comfort") là một khái niệm chỉ sự cảm nhận chủ quan của con người về dao động. Cảm giác đó được phỏng vấn trực tiếp các nhóm người khác nhau và như vậy độ êm dịu ngưỡng là chủ quan. Để đánh giá ảnh hưởng của dao động đến cơ thể người, hiệp hội tiêu chuẩn quốc tế đã đưa ra tiêu chuẩn ISO 2631-1 dựa trên tiêu chuẩn VDI của CHLB Đức [1, 6, 7, 9]. Theo tiêu chuẩn này tần số dao động kích thích từ nguồn kích thích đến các vị trí khảo sát nằm trong khoảng từ 0,5 đến 80 Hz. Để đánh giá độ êm dịu của người ngồi trên cabin, theo tiêu chuẩn ISO, gia tốc bình phương trung bình theo phương thẳng đứng được xác định theo công thức:

$$a_W = \left[\frac{1}{T}\int_0^T a_w^2(t)dt\right]^{\frac{1}{2}}$$

Trong đó: a_w là gia tốc bình phương trung bình theo phương thẳng đứng; $a_w(t)$ là gia tốc theo phương thẳng đứng theo thời gian (m/s²) và T là thời gian khảo sát (s). Điều kiện chủ quan để đánh giá độ êm dịu ô tô theo gia tốc bình phương trung bình (phương thẳng đứng) dựa vào Bảng 2 dưới đây:

STT	a _{wz} giá trị (m/s²)	Cấp êm dịu
1	< 0,315 m/s ²	Thoåi mái
2	0,315 m/s ² - 0,63 m/s ²	Một chút khó chịu
3	0,5 m/s ² - 1 m/s ²	Khá khó chịu
4	0,8 m/s ² - 1,6 m/s ²	Không thoải mái
5	1,25 m/s ² - 2,5 m/s ²	Rất khó chịu
6	$> 2 m/s^2$	Cực kỳ khó chịu

Bång 2.	Bång	đánh	giá	chủ	quan	độ	êт	dịu	ô	tô	theo	ISO	2631-	1
---------	------	------	-----	-----	------	----	----	-----	---	----	------	-----	-------	---

3. Kết quả và thảo luận

Để khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu hệ thống treo cabin đến độ êm dịu chuyển động của người ngồi trong cabin. Ta có các thông số cơ bản khảo sát dao động như sau:

1487

STT	Các thông số	Kí hiệu	Đơn vị	Số liệu
1	Khối lượng toàn bộ của xe khi đầy tải	М	kg	21550
2	Chiều dài cơ sở của xe	L	mm	5300
	Độ cứng của phần tử đàn hồi	k	N/m	
3	- Cầu trước	k41, k42	N/m	295000
	- Cầu sau	k ₅₁ , k ₅₂ , k ₆₁ , k ₆₂	N/m	950000
	Khối lượng phần không treo	m	kg	
4	- Cầu 1	m1	kg	940
4	- Cầu 2	m ₂	kg	1810
	- Cầu 3	m3	kg	1810
	Độ cứng của lốp	k	N/m	
5	- Lốp cầu trước	k ₁	N/m	800000
	- Lốp cầu giữa và cầu sau	k ₂ , k ₃	N/m	800000
6	Hệ số cản giảm chấn	Ci	Ns/mm	7,8
7	Mô men quán tính khối lượng được treo	I ₈	kgm ²	1864
8	Mô men quán tính khối lượng của cabin	I ₁₄	kgm ²	560
	Mô men quán tính khối lượng của khối lượng không được treo sau	I ₁₁	kgm ²	2684

Bảng 3. Một số thông số cơ bản khảo sát độ êm dịu chuyển động

Úng dụng phần mềm Matlab-Simulink mô phỏng với bộ số liệu của xe khảo sát nêu trên trong các trường hợp sau: Xét trường hợp Ô tô chuyển động trên mặt đường ISO cấp C với vận tốc v = 45 km/h, vận tốc thường xuyên vận hành trên mặt đường loại này.



Hình 6. Gia tốc theo phương thẳng Hình 7. Gia tốc góc lắc dọc cabin Hình 8. Gia tốc góc lắc ngang cabin đứng trọng tâm cabin

Từ Hình 5, 6 và Hình 7, ta có gia tốc bình phương trung bình theo phương thẳng đứng của trọng tâm cabin $a_{wz13} = 0.76 \text{ m/s}^2$; gia tốc bình phương lắc dọc $\varphi_{wz14} = 0.203 \text{ m/s}^2$ và gia tốc lắc ngang $\varphi_{wz15} = 0.039 \text{ m/s}^2$ Đối chiếu với bảng 2 (tiêu chuẩn ISO 2631-1) về đánh giá chủ quan theo tiêu chuẩn thì người lái có cảm giác khá khó chịu. Hay nói cách khác là là các thông số thiết kế của hệ thống treo của sát xi xe cơ sở, hệ thống treo cabin nguyên bản chưa thực sự phù hợp với điều kiện khai thác nêu trên. Để đánh giá rõ hơn trong nghiên cứu này sẽ tiến hành khảo sát ảnh hưởng của thông số độ cứng và hệ số cản của hệ thống treo cabin đến độ êm dịu

1488

của người ngồi trên cabin, từ đó đề xuất ra dải giá trị tối ưu cho hệ thống treo cabin, tạo tiền đề cho các nghiên cứu cải tiến trong tương lai.



Hình 9. Gia tốc thẳng đứng trọng Hình 10. Gia tốc góc lắc ngang cabin Hình 11. Gia tốc góc lắc dọc cabin tâm của cabin

Khảo sát các giá trị độ cứng hệ thống treo theo một dải k = $[0.2 \ 0.4 \ 0.6 \ 0.8 \ 1 \ 1.2 \ 1.4 \ 1.6 \ 1.8 \ 2 \ 2.2 \ 2.4 \ 2.6].k_0 trong đó k_0 = <math>[k7, k8]^T$ ứng với 3 giá trị hệ số giảm chấn c = $[0.5 \ 1 \ 1.5].c_0$, trong đó, c_0 = $[c7, c8,]^T$, với k_0 và c_0 là thông số của xe nguyên bản được chọn để đánh giá ảnh hưởng của chúng đến dao động theo phương thẳng đứng và lắc của cabin khi xe chuyển động trên đường ISO cấp C với vận tốc v = 45 km/h. Từ Hình 9, Hình 10 và Hình 11. Nhận thấy giá trị độ cứng tăng, dẫn đến các giá trị gia tốc bình phương trung bình cũng tăng. Như vậy theo tiêu chuẩn ISO, gia tốc tăng sẽ đó ảnh xấu độ êm dịu của con người và để đảm bảo độ êm dịu cabin, thì giá trị độ cứng cabin nên được lựa chọn k_c $\leq 0.5 k_{co}$. Từ kết quả Hình 12, Hình 13 và Hình 14 cũng chỉ ra rằng giá trị hệ số cản của hệ thống treo cabin nhỏ cũng là nguyên nhân làm giảm độ êm dịu của người ngồi trên cabin.



Hình 12. Gia tốc thẳng đứng trọng tâm cabin



Hình 14. Gia tốc góc lắc dọc cabin

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, tác giả đã xây dựng mô hình động lực học dao động $\frac{1}{2}$ theo phương dọc xe với 15 bậc tự do. Ứng dụng phần mềm Matlab/Simulink, để khảo sát dao động, các thông số thiết kế hệ thống treo cabin được thay đổi theo một dải khi xe chuyển động trên mặt đường ISO loại C với vận tốc v = 45 km/h. Từ kết quả đạt được rút ra một số kết luận chính như sau:

- Hai thông độ cứng và hệ số cản của hệ thống treo cabin có ảnh hưởng trực tiếp đến độ êm dịu cho người ngồi trên cabin. Ngoài hệ thống treo nguyên bản của xe cơ sở, sự phối hợp giữa các thông số hệ thống treo cabin để xác định miền làm việc tối ưu có ý nghĩa quan trọng về mặt khoa học.

- Từ các giá trị và đồ thị khảo sát đối với một chủng loại ô tô quân sự có công thức bánh xe 6x6. Nhận thấy miền giá trị tối ưu độ cứng và hệ số cản của hệ thống treo cabin nằm trong khoảng $0,4k_0 \le k \le 0,5k_0$ và $c_0 \le c \le 2,5c_0$. Miền giá trị này được lựa chọn xung quanh giá trị tiêu chuẩn về độ cứng của hệ thống treo, đảm bảo kết quả khảo sát không có sai số lơn so với

hệ thống treo nguyên bản. Đây là tiền đề quan trọng để xây dựng các giải pháp thiết kế nhằm nâng cao độ êm dịu chuyển động cho ô tô tải quân sự trongg tương lai.

- Hiện tại tác giả chỉ khảo sát trên một loại đường ISO cấp C là mặt đường bình thường, trong khi đó ô tô quân sự thường xuyên hoạt động trên địa hình phức tạp, thậm chí không đường với các dải tốc độ khác nhau. Nhóm tác giả sẽ tiếp tục nghiên cứu trên nhiều loại đường trong thời gian tới. Đề xuất thêm các giải pháp nhằm nâng cao độ êm dịu chuyển động cho ô tô tải quân sự, đặc biệt hướng tới sử dụng các phần tử giảm chấn và đàn hồi phi tuyến, có thể thay đổi được các giá trị độ cứng và hệ số cản phù hợp.

Tài liệu tham khảo (References)

- Võ Văn Hường (2004). Thiết lập mô hình khảo sát dao động của ô tô vận tải nhiều cầu, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Hà nội.
- 2. Bùi Văn Cường (2018). Nghiên cứu ảnh hưởng của thông số hệ thống treo cabin đến độ êm dịu người lái, Bài báo tạp chí Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số Đặc san FEE.
- 3. Florin M. Marcu (2009). *Semi active Cab Suspension Control for Semi-truck Applications*, Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering, Blacksburg, Virginia.
- 4. Alexander Gross (2013). "Development of a 4-pointAir Cab Suspension System for Conventional Heavy Trucks", International Truck & Bus Meeting & Exhibition.
- 5. Leilei Zhao, Changcheng Zhou, Yuewei Yu, and Fuxing Yang (July 4, 2016). A method to evaluate stiffness and damping parameters of cabin suspension system for heavy truck, Advances in Mechanical EngineeringVolume 8, Issue 7.
- 6. ISO 8608:1995. Mechanical vibration Road surface profiles Reporting of measured data.
- 7. Võ Văn Trung (2011). Nghiên cứu dao động ngẫu nhiên xe xích chiến đấu có kể đến yếu tố phi tuyến, Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Hà Nội.
- 8. Vũ Tiến Đạt (2017). *Nghiên cứu phương pháp mô phỏng mấp mô mặt đường trên miền thời gian*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng, Số 4.
- 9. Mechanical vibration and shock Evaluation of human exposure to whole-body vibration Part 1: General requirements ISO 2631-1.

Research the influence of structural parameters of the cabin suspension system on the drive comfort of movement of military vehicles

Abstract: This article conducts research on the structure of the cabin suspension system of special military vehicles, building a model to investigate the vibration dynamics based on the Newton-Euler separation principle. Investigate the influence of structural parameters of the cabin suspension system on the ride comfort of movement of military cars, especially the impact of vibrations on people sitting in the cabin. Based on Malab-Simulink software, cases where the stiffness and drag coefficient of suspension elements change are examined. From the results obtained and compared with the ISO2631-1 standard, evaluate the influence of the stiffness parameters and resistance coefficient on the drive comfort of movement.

Keywords: Acceleration Mean Square (AMS); ride comfort, cabin suspension stiffness; damping coefficient.

Nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện đầu vào dòng khí sau buồng đốt tới trạng thái nhiệt cánh phun tuabin cao áp

Vũ Đức Mạnh^{1*}

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự Email: manhvu@lqdtu.edu.vn; Tel: 0963412178

Tóm tắt:

Cánh phun tuabin cao áp là chi tiết nằm ngay sau buồng đốt nên tiếp xúc trực tiếp, liên tục với dòng khí có nhiệt độ cao ra khỏi buồng đốt. Trạng thái nhiệt, độ bền của cánh phun phụ thuộc rất nhiều vào công nghệ làm mát, vật liệu và cả điều kiện dòng khí cháy ra khỏi buồng đốt (phân bố, độ rối, diễn biến theo thời gian). Bài báo sử dụng phần mềm mô phỏng CFD để đánh giá tác động của phân bố, độ rối dòng khí cháy tới trạng thái nhiệt cánh phun tuabin. Các kết quả này góp phần đưa ra các khuyến cáo để cải tiến hệ thống làm mát cánh phun tuabin cao áp của động cơ tuabin khí.

Từ Khóa: CFD, cánh phun tuabin, độ rối, làm mát, phân bố nhiệt độ.

1. Mở đầu

Động cơ tuabin khí (ĐCTBK) là loại động cơ có nhiều ưu điểm vượt trội như công suất lớn, khối lượng và kích thước nhỏ gọn. Tuy vậy, nó cũng có một số nhược điểm như tuổi thọ và hiệu suất thấp hơn các loại động cơ đốt trong khác. Để cải thiện hiệu suất thì các ĐCTBK ngày nay có tỷ số tăng áp của máy nén và nhiệt độ sau buồng đốt rất cao. Nhưng điều này lại đặt ra yêu cầu về khả năng chịu nhiệt của vật liệu và làm mát cho tuabin.

Trong tuabin, cánh phun tuabin cao áp (CPCA) là bộ phận nằm sát ngay sau buồng đốt, là một trong các bộ phận chịu nhiệt độ cao nhất và nhạy cảm với thông số đầu ra của dòng khí từ buồng đốt. Dòng khí nóng ra khỏi buồng đốt được đặc trưng bởi lưu lượng, phân bố nhiệt độ, độ rối dòng [1]. Với các tầng cánh phun phía sau, do đã đi qua cánh công tác quay và cánh phun của tầng trước, khí nóng hòa trộn vào với nhau nên sự ảnh hưởng này sẽ giảm đi.

Nhiệt độ tại đầu vào CPCA (T_g) biến thiên theo cả chiều hướng kính và chiều chu vi, trong đó biến thiên theo chiều hướng kính là rõ rệt nhất [1]. Tại khu vực tiếp giáp vỏ trong và vỏ ngoài có một lượng nhiệt lớn truyền ra vỏ, đồng thời dòng khí làm mát kiểu màng chảy bọc trên vỏ ống chịu nhiệt của buồng đốt làm nhiệt độ giảm đáng kể so với khu vực độ cao trung bình. Dạng đặc trưng của sự phân bố nhiệt độ dòng khí T_g được tổng hợp trong công trình [2] (Hình 1). Để đánh giá sự phân bố nhiệt độ T_g về mặt định lượng, người ta sử dụng hệ số không đồng nhất theo chiều hướng kính:

$$\gamma = (T_{max} - T_{min})/T_{ave}$$
(1)

Trong đó T_{max} , T_{min} , T_{ave} tương ứng là nhiệt độ cực đại, cực tiểu và nhiệt độ trung bình của dòng khí ở đầu ra buồng đốt.

Trên Hình 1 là các kết quả thực nghiệm với $\gamma = 0,095 \div 0,176$, cá biệt có trường hợp $\gamma = 0,355$, chi tiết về các dữ liệu này được trình bày trong Bảng 1. Sự khác biệt này sẽ ảnh hưởng tới kết quả tính toán, mô phỏng phân bố nhiệt độ trên CPCA. Điều đó đặt ra vấn đề cần khảo sát ảnh hưởng của đường phân bố nhiệt độ T_g tới kết quả mô phỏng.

^{*} Email: manhvu@lqdtu.edu.vn

Tên dữ liệu	Năm công bố	γ
NASA CERTS	1983	0,176
MIT	1989	0,158
AFRL	2004	0,095
OTDF	2002	0,155
EOTDF	2008	0,355

Bảng 1. Hệ số không đồng nhất về nhiệt độ của một số thực nghiệm [2]

Độ rối của dòng khí sẽ ảnh hưởng đáng kể tới hệ số trao đổi nhiệt. Về mặt nguyên lý, khi tăng độ rối dòng khí nóng sẽ làm tăng hệ số trao đổi nhiệt giữa dòng khí nóng với bề mặt CPCA, từ đó có thể làm tăng nhiệt độ CPCA. Theo [3] độ rối dòng đặc trưng của dòng khí ra khỏi buồng đốt ĐCTBK nằm trong khoảng 6 ÷ 8%. Tuy nhiên, trong một số chế độ làm việc, đặc biệt là chế độ chuyển tiếp, độ rối dòng này có thể nằm ngoài dải này.



Hình 1. Phân bố nhiệt độ dòng khí sau buồng đốt [2]

Từ các lý do trên, bài báo đi khảo sát ảnh hưởng của phân bố nhiệt độ đầu vào và độ rối dòng đầu vào tới trưởng nhiệt độ cánh phun tuabin bằng phần mềm mô phỏng ANSYS-CFX. Kết quả của công trình này sẽ đưa ra bức tranh về mặt định tính và định lượng, giúp đánh giá độ tin cậy của các kết quả mô phỏng phân bố nhiệt độ CPCA.

2. Xây dựng mô hình mô phỏng

Việc xây dựng mô hình mô phỏng được bắt đầu bằng cách xây dựng trên cánh Mark II, sau đó so sánh kết quả mô phỏng với kết quả thực nghiệm của Hylton và cộng sự [3] ở chế độ "code 4322 run 16". Trong quá trình thực nghiệm, Hylton đã dẫn dòng khí nóng từ buồng đốt vào 3 cánh phun Mark II. Cánh Mark II là CPCA làm bằng thép không gỉ mã ASTM 310, các thông số cơ bản của cánh được thể hiện trên Bảng 2, biên dạng cánh được biểu diễn trên Hình 2 [3], cánh được làm mát bằng cách cho không khí đi qua 10 lỗ xuyên tâm (Hình 2).

TT	Tên thông số	Giá trị
1	Góc đặt (Setting angle), [độ]	63,69
2	Góc thoát của dòng khí (Air exit angle), [độ]	70,96
3	Họng cánh (Throat), [mm]	39,83
4	Chiều cao cánh, [mm]	76,20
5	Bước cánh, [mm]	129,74
6	Bán kính cong của lưng cánh, [mm]	159,35
7	Bán kính cong của bụng cánh, [mm]	129,49
8	Dây cung biến dạng, [mm]	136,22
9	Dây cung biên dạng chiếu lên dọc trục, [mm]	68,5

Bảng 2. Bảng thông số hình học cơ bản của cánh Mark II [3]
Như đã nói ở trên, chia lưới là công đoạn quan trọng trong việc xây dựng mô hình trong ANSYS-CFX, trong đó bao gồm thiết lập tính chất vật lý và phương pháp chia lưới, chia lưới tổng thể, chia lưới cục bộ, kiểm tra chất lượng lưới. Luận án sử dụng công cụ ICEM CFD tích hợp trong ANSYS để thực hiện việc chia lưới. Do lớp biên có sự biến thiên rất lớn về vận tốc và nhiệt độ, cho nên lưới tại khu vực gần vách cần chia mịn hơn (thường sử dụng Inflation) và được đánh giá thông qua thông số không thứ nguyên y⁺. Lớp đầu tiên có độ dày 10⁻³mm (để đảm bảo hệ số y⁺~1), tỷ số tăng độ dày 1,2. Ngoài ra, độ hội tụ của lưới cũng đã được kiểm tra để kết quả không sai lệch nhiều khi tăng số lượng lưới.



Hình 2. Biên dạng cánh Mark II và các biên của dòng khí

Trong nhiều các công trình nghiên cứu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn, việc chia lưới bề mặt ngoài cánh tuabin và máy nén thường ở dạng cấu trúc. Tuy nhiên trong trường hợp cánh tuabin có làm mát, bao gồm cả kênh dẫn dòng khí bên trong cánh có hình dáng phức tạp nên không phải lúc nào cũng thu được dạng lưới này. Trong mô hình đang xây dựng, tác giả sử dụng kiểu lai Hybrid giữa cấu trúc và phi cấu trúc. Qua khảo sát thấy rằng có một số công trình xây dựng mô hình trao đổi nhiệt cho cánh tuabin sử dụng cách chia lưới Hybrid như [4-9]. Kết quả lưới của mô hình cánh Mark-II (Hình 3) có hơn 1 triệu nút và hơn 4 triệu phần tử.



Hình 3. Mô hình chia lưới trong ANSYS

Bài báo mô phỏng với hai mô hình rối SST và k- ε , sau đó so sánh với thực nghiệm để lựa chọn mô hình rối phù hợp hơn. Mô hình gồm đầu vào dòng khí nóng, các đầu vào của dòng không khí làm mát, đầu ra với các thông số được liệt kê trong Bảng 3, Bảng 4. Hai mặt hai bên được thiết lập ở dạng "giao diện chu kỳ", mô hình trở thành nhiều cánh được xếp liền kề với bước cánh t = 129,74 mm.

Tên thông số	Ký hiệu [đơn vị]	Giá trị
Vật liệu cánh		ASTM 310
Mô hình trao đổi nhiệt		Total Energy
Dải giá trị y ⁺		≤ 1
Mô hình rối		SST/ k-ε
Điều kiện hội tụ		10-6
Áp suất dòng khí ở đầu vào	p _g [kPa]	263,94
Nhiệt độ trung bình của dòng khí ở	T _{ave} [K]	777
đầu vào		
Áp suất dòng khí ở đầu ra	p1 [kPa]	158,05
Độ rối dòng ban đầu	T _u [%]	1%; 5%; 10%

Bảng 3. Thông số cài đặt mô hình và điều kiện biên của dòng khí nóng chảy bên ngoài cánh ở chế độ "code 4322-run 16"

Bảng 4. Bảng thông số các lỗ làm mát xuyên tâm cánh Mark II và không khí làm mát ở chế độ "code 4322 run 16" [3]

Lỗ số	Đường kính lỗ, [mm]	Nhiệt độ T _c , [K]	Lưu lượng G _c , [g/s]
1	6,30	390,65	4,72
2	6,30	376,82	4,86
3	6,30	389,03	4,80
4	6,30	404,06	5,22
5	6,30	358,74	4,71
6	6,30	351,02	4,52
7	6,30	368,07	4,31
8	3,10	416,48	1,62
9	3,10	446,90	1,01
10	1.98	480.14	0.633

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Đánh giá kiểm nghiệm mô hình

Kết quả mô phỏng áp suất, nhiệt độ ở mặt cắt trung bình trên bề mặt ngoài của cánh được biểu diễn trên Hình 4. Kết quả trên Hình 4a cho thấy áp suất của cả hai mô hình rối SST và k- ϵ cho kết quả gần như trùng nhau và sai số so với kết quả thực nghiệm (đường EXP) không quá 5%. Tại các vị trí chuyển trạng thái lớp biên trên lưng cánh (đoạn x/L_x = 0,4339 ÷ 0,5144) kết quả của mô hình SST chính xác hơn so với mô hình k- ϵ .





Hình 4. Kiểm chứng kết quả mô phỏng với kết quả thực nghiệm trên cánh Mark II ở chế độ "code 4322 run 16"

a – áp suất bề mặt ngoài cánh với biên độ 5%; b – Nhiệt độ bề mặt ngoài của cánh; (Lx – chiều dài dây cung biên dạng theo chiều dọc trục 0x (Hình 3.3); x/Lx<0 tương ứng với mặt bụng; x/Lx>0 tương ứng với mặt lưng)

Về nhiệt độ bề mặt trên Hình 4b cho thấy đường kết quả mô phỏng bằng mô hình rối SST (đường CFD-SST) với thực nghiệm (đường EXP) tuy không có đoạn nào trùng nhau nhưng sai số luôn nhỏ hơn 3%, đồng thời đường mô phỏng phản ánh chính xác quy luật của đường thực nghiệm. Kết quả mô phỏng bằng mô hình rối k- ε (đường CFD k- ε) cho kết quả rất chính xác ở đoạn x/Lx=-0,6 \div 0 và x/Lx=0,45 \div 0,7, tuy nhiên đỉnh nhiệt độ lại không nằm ở mũi cánh mà lệch về phía đầu lưng cánh, giá trị cực đại ở khu vực này cũng vượt quá đường sai số ±3%. Đồng thời kết quả nhiệt độ ở đuôi cánh cũng sai lệch lớn so với kết quả thực nghiệm. Đánh giá chung, mô hình rối SST cho kết quả nhiệt độ chính xác hơn.

Đối với hệ số trao đổi nhiệt tại bề mặt bên ngoài cánh (Hình 5), mô hình rối k- ε đưa ra kết quả có sai số tương đối lớn, có vị trí gấp 2 lần giá trị thực nghiệm. Điều này đã được công trình [10] khuyến cáo. Đối với kết quả mô phỏng bằng mô hình rối SST (đường CFD SST) sai số so với kết quả thực nghiệm đa phần không quá 20% hệ số trao đổi nhiệt trung bình h_{ave}, có những vùng sai số nhỏ hơn 10% như x/Lx=0÷0,1 và 0,3÷1. Chỉ có vùng x/Lx=-0,45÷-0,3 sai số vượt quá ngưỡng 20%. Theo công trình [3], kết quả đo đạc và tính toán của Hylton về hệ số trao đổi nhiệt có sai số lên tới 18,8%.



Hình 5. So sánh hệ số trao đổi nhiệt tại bề mặt ngoài của cánh khi mô phỏng bằng mô hình rối SST và k-ε với kết quả thực nghiệm ở chế độ "code 4322 run 16"

Từ việc so sánh kết quả của mô hình mô phỏng với kết quả thực nghiệm trên cánh Mark II, có thể đưa ra một số kết luận sau:

1494

 Việc sử dụng mô hình rối SST cho mô hình mô phỏng cánh phun tuabin của bài báo là lựa chọn phù hợp hơn so với mô hình rối k-ɛ vì nó cho kết quả chính xác hơn, đặc biệt khi xét về kết quả hệ số trao đổi nhiệt, điều này đúng với khuyến cáo trong công trình [10];

- Mô hình mô phỏng cánh phun tuabin xây dựng bằng phần mềm ANSYS-CFX với phương pháp RANS và mô hình rối SST cho sai số về áp suất và nhiệt độ tương ứng nhỏ hơn 5% và 3%; sai số về hệ số trao đổi nhiệt nhỏ hơn 20%, nhiều vùng nhỏ hơn 10%. Sai số của hệ số trao đổi nhiệt còn lớn là nhược điểm chung của phương pháp RANS đang sử dụng, để có sai số nhỏ hơn cần sử dụng phương pháp DNS hoặc LES (nhưng đòi hỏi tài nguyên máy tính rất lớn) [10]. Tuy nhiên, các giá trị sai số này tương tự sai số được công bố trong các công trình [11-15] và chấp nhận được đối với các bài toán trao đổi nhiệt [10].

Như vậy, có thể kết luận rằng mô hình mô phỏng cánh phun tuabin xây dựng bằng phần mềm ANSYS-CFX, phương pháp RANS với mô hình rối SST đảm bảo độ tin cậy, sai số ở ngưỡng chấp nhận được (sai số về áp suất, nhiệt độ, hệ số trao đổi nhiệt tương ứng nhỏ hơn 5%, 3% và 20%) và có thể áp dụng để khảo sát trạng thái nhiệt cánh phun tuabin.

3.2. Đánh giá ảnh hưởng của độ không đồng đều nhiệt độ tới nhiệt độ cánh tuabin

Bài báo sử dụng dữ liệu trường nhiệt độ đầu vào của NASA, ARL, EOTDF (Bảng 1, Hình 1) để tính toán, mô phỏng nhiệt độ cánh tuabin Mark II. Kết quả nhiệt độ cánh Mark II ở các trường hợp được thể hiện trên Hình 6.



Hình 6. Phân bố nhiệt độ trên lưng và bụng cánh của các trường hợp dữ liệu Tg a- AFRL; b - NASA CERTS; c - EOTDF

Các kết quả trên Hình 6 cho thấy nhiệt độ cực đại đạt được ở vùng mũi cánh và đuôi cánh và nằm ở độ cao trung bình. Điều này được giải thích là do nhiệt độ đầu vào của dòng khí nóng đạt nhiệt độ cao nhất ở độ cao trung bình (Hình 1), mũi cánh là nơi dòng khí nóng va chạm vào đầu tiên và là vùng có nhiệt độ dòng khí cao nhất. Tại đuôi cánh Mark II, mặc dù dòng khí nóng đã giảm nhiệt độ đi khá nhiều do khí đã giãn nở nhưng khu vực này được làm mát kém nhất,

cách xa lỗ dẫn không khí làm mát. Do vậy đuôi cánh chỉ được làm mát bằng hiệu ứng dẫn nhiệt từ lỗ làm mát thứ 10 (Hình 2) với lưu lượng không khí nhỏ nhất (Bảng 2).

Với các trường hợp γ khác nhau cho nhiệt độ trung bình trên bề mặt cánh không có sự khác biệt nhiều. Tuy vậy, với γ càng cao thì nhiệt độ cực đại trên cánh T_{b-max} càng lớn, làm tăng nguy cơ cháy cánh cục bộ, đồng thời sự chênh lệch nhiệt độ trên cánh càng lớn. Độ chênh lệch nhiệt độ trên cánh cũng được đánh giá bằng hệ số không đồng nhất nhiệt độ $\gamma_b = (T_{b-max} - T_{b-min})/T_{b-ave}$ trong đó T_{b-min} , T_{b-ave} là nhiệt độ cực tiểu và nhiệt độ trung bình trên bề mặt ngoài của cánh. Hình 7 cho thấy γ_b , T_{b-max} phụ thuộc tuyến tính vào γ . Điều này cho thấy cần thiết có những biện pháp công nghệ của buồng đốt để giảm γ .



Hình 7. Sự phụ thuộc của yb, Tb-max vào y

3.3. Đánh giá ảnh hưởng của độ rối dòng khí nóng tới trạng thái nhiệt cánh tuabin



Tu=10%

Hình 8. Phân bố hệ số trao đổi nhiệt giữa dòng khí nóng và bề mặt CPCA ở các trường hợp độ rối khác nhau

Kết quả mô phỏng cho thấy với độ rối khác nhau (Tu = 1%, 5%, 10%) thì nhiệt độ trên cánh không có sự khác biệt nhiều. Tuy vậy hệ số trao đổi nhiệt giữa dòng khí nóng với cánh có sự thay đổi tương đối rõ rệt (Hình 8). Khi độ rối tăng lên thì hệ số trao đổi nhiệt sẽ tăng lên, xét cả về giá trị hệ số trao đổi nhiệt cực đại (h_{max}) và hệ số trao đổi nhiệt trung bình (h_{ave}) (Bảng 4). Điều này được giải thích do độ rối dòng tăng sẽ làm giảm chiều dày lớp tuyến tính phụ của dòng biên, từ đó tăng khả năng trao đổi nhiệt đối lưu giữa dòng khí nóng với bề mặt cánh.

	htc _{ave} , W/m ² K	htc _{max} , W/m ² K
Tu = 1%	973.7	1679.6
Tu = 5%	981.4	1725.1
Tu = 10%	992.2	1829.1

Bảng 4. Hệ số trao đổi nhiệt ở các trường hợp khác nhau

4. Kết luận

Bài báo đã xây dựng thành công mô hình mô phỏng bằng phần mềm ANSYS-CFX để khảo sát ảnh hưởng của phân bố nhiệt độ và độ rối dòng khí nóng sau buồng đốt tới nhiệt độ và đặc tính trao đổi nhiệt của cánh phun cao áp. Mô hình này đảm bảo đủ độ tin cậy, thời gian tính toán nhanh, mô hình có thể phát triển để khảo sát trạng thái nhiệt của các chi tiết khác của tuabin như cánh công tác, vỏ, đĩa.

Kết quả của mô hình cho thấy, hệ số không đồng nhất của nhiệt độ có ảnh hưởng mạnh mẽ tới nhiệt độ trên cánh, chính vì vậy đặt ra yêu cầu khắt khe với dòng khí nóng ở đầu ra buồng đốt. Độ rối dòng tăng làm tăng hệ số trao đổi nhiệt giữa dòng khí với bề mặt CPCA.

Tài liệu tham khảo

- 1. J.-C. Han, S. Dutta, and S. Ekkad (2012). *Gas turbine heat transfer and cooling technology*. CRC press, pp. 329-363.
- 2. T. Povey and I. Qureshi (2009). Developments in Hot-Streak Simulators for Turbine Testing, *Journal of Turbomachinery*, vol. 131, pp. 031009-1.
- 3. L. Hylton, M. Mihelc, E. Turner, D. Nealy, and R. York (1983). Analytical and experimental evaluation of the heat transfer distribution over the surfaces of turbine vanes,.
- 4. Q. Bian, J. Wang, Y.-t. Chen, Q. Wang, and M. Zeng (2017). Numerical investigation of mist/air impingement cooling on ribbed blade leading-edge surface, *Journal of environmental management*, vol. 203, pp. 1062-1071.
- 5. P. Guan, Y.-T. Ai, and C.-W. Fei (2019). An enhanced flow-thermo-structural modeling and validation for the integrated analysis of a film cooling nozzle guide vane, *Energies*, vol. 12, no. 14, p. 2775.
- 6. Z. Ke and J. Wang (2016). Conjugate heat transfer simulations of pulsed film cooling on an entire turbine vane, *Applied Thermal Engineering*, vol. 109, pp. 600-609.
- 7. K. Kusterer, J. Dickhoff, R. Braun, R. Tanaka, T. Taniguchi, and D. Bohn (2016). Conjugate heat transfer simulations for a film cooled nozzle guide vane of a high-efficiency, industrial gas turbine, in *16th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery*.
- 8. A. Immarigeon and I. Hassan (2006). An advanced impingement/film cooling scheme for gas turbines–numerical study, *International Journal of Numerical Methods for Heat Fluid Flow*, vol. 16, no. 4, pp. 470-493.
- 9. G. Lin, K. Kusterer, A. H. Ayed, D. Bohn, and T. Sugimoto (2014). Conjugate heat transfer analysis of convection-cooled turbine vanes using γ -Re θ transition model, *International journal of gas turbine, propulsion power systems*, vol. 6, no. 3, pp. 9-15.
- 10. N. Zuckerman and N. Lior (2005). Impingement heat transfer: correlations and numerical modeling, *ASME Journal of Heat Transfer*, vol. 127, no. 5, pp. 544-552.
- 11. P. Prapamonthon *et al* (2018). Investigation of cooling performances of a non-film-cooled turbine vane coated with a thermal barrier coating using conjugate heat transfer, *Energies*, vol. 11, no. 4, p. 1000.
- N. Gourdain, L. Y. Gicquel, E. Collado, and power (2012). Comparison of RANS and LES for prediction of wall heat transfer in a highly loaded turbine guide vane, *Journal of propulsion*, vol. 28, no. 2, pp. 423-433.
- 13. D. S. Negi and A. Pattamatta (2015). Profile shape optimization in multi-jet impingement cooling of dimpled topologies for local heat transfer enhancement, *Heat Mass Transfer*, vol. 51, pp. 451-464.

- 14. E. C. Morata, N. Gourdain, F. Duchaine, and L. Gicquel (2012). Effects of free-stream turbulence on high pressure turbine blade heat transfer predicted by structured and unstructured LES, *International Journal of Heat Mass Transfer*, vol. 55, no. 21-22, pp. 5754-5768.
- 15. D. E. Bohn, T. Heuer, K. A. Kusterer, and G. Lang (1997). *Application of a conjugate fluid flow and heat transfer method in the thermal design process of a convection-cooled turbine nozzle vane.* American Society of Mechanical Engineers.

Research the influence of turbine inlet temperature distortion on the thermal state of high-pressure nozzle vanes

Abstract: The high-pressure nozzle guide vanes (NGV) are partly located right behind the combustion chamber, it directly and continuously contacts with the high-temperature gas flow combustion chamber exit. The thermal state and durability of the NGV depend greatly on cooling technology, materials and the conditions of gas flow out of the combustion chamber (distribution, turbulence, and evolution over time). This paper uses CFD simulation software to evaluate the impact of combustion gas flow distribution and turbulence on the NGV thermal state. These results contribute to making recommendations to improve the cooling system of NGV of gas turbine engines.

Keywords: CFD, NGV, turbulence, cooling, temperature distribution.

Nghiên cứu ứng dụng phần mềm MATHCAD trong tính toán đại lượng đặc trưng độ tin cậy của ô tô quân sự

Lê Quang Minh¹

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự Email: minhrambo50@gmail.com

Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu, ứng dụng phần mềm Mathcad để tính toán các đại lượng đặc trưng của độ tin cậy, xây dựng các đồ thị xác suất làm việc không hỏng, tần số, cường độ và tham số luồng hỏng theo hành trình làm việc của ô tô quân sự, xác định độ tin cậy của một hệ thống trên xe dựa trên các số liệu thống kê thực tế trong quá trình khai thác. Từ đó thấy được quá trình thay đổi các chỉ tiêu chất lượng hệ thống theo thời gian, những quy luật xuất hiện hư hỏng và có những phương pháp dự báo chúng, tìm kiếm những phương pháp nâng cao độ tin cậy của hệ thống khi thiết kế, chế tạo.

Từ khóa: Hệ thống phanh; độ tin cậy, tính không hỏng; ứng dụng Mathcad, xe ZIL-131.

1. Đặt vấn đề

Mathcad là một trong nhiều phần mềm hỗ trợ toán học (tự động hóa toán học). Tuy nhiên nó khác các phần mềm khác như Matlab, Mathematica, MathType là nó có cách thể hiện trực quan sử dụng ngôn ngữ nên có tính phổ cập cao, giống như các tài liệu toán học. Mathcad được ví như là một siêu máy tính bấm tay, cho phép lập trình, thao tác trên các ký tự, tính toán.

Độ tin cậy là xác suất hoạt động của sản phẩm trong các điều kiện khai thác xác định.Trong cơ sở lý thuyết độ tin cậy, hệ thống các khái niệm của môn khoa học này có một khái niệm quan trọng là "*hỏng hóc*", đây là một sự kiện ngẫu nhiên, vì vậy theo lý thuyết xác suất các chỉ số độ tin cậy rõ ràng là cần được xác định như các đại lượng xác suất toán học bằng phương pháp giải tích hay số hoặc nhận được nhờ việc xử lý các số liệu thống kê.

Vấn đề đặt ra là việc tính toán các giá trị đặc trưng của độ tin cậy, kiểm nghiệm thống kê; tính hệ số tương quan với nhiều công thức phức tạp thì ứng dụng phần mềm Mathcad sẽ giải quyết các vấn đề này một cách nhanh chóng. Đặc biệt, Mathcad có khả năng vẽ đồ thị thuận tiện cho việc theo dõi, đánh giá kết quả.

2. Cơ sở lý thuyết xác định độ tin cậy

Độ tin cậy là tính tổng hợp của sản phẩm, được đặc trưng bằng các chỉ tiêu: tính không hỏng, tính bền lâu, tính phục hồi, tính lưu kho và vận chuyển. Mỗi một chỉ tiêu này của độ tin cậy lại được đặc trưng bằng các đặc trưng định lượng của nó.

Mỗi một tính chất thành phần của độ tin cậy cũng được đặc trưng bằng hàm phân bố F(t), mật độ phân bố f(t) mà chúng được xác định trên cơ sở các số liệu thống kê trong quá trình khai thác. Khi biết hàm mật độ phân bố f(t) có nghĩa là biết dạng quy luật phân bố lý thuyết của đại lượng ngẫu nhiên. Từ đó có thể xác định được các chỉ tiêu độ tin cậy mong muốn.

2.1. Phân bố hàm số mũ

Thường dùng để tính toán thời gian làm việc không hỏng của sản phẩm có các hỏng hóc đột biến.

Hàm mật độ của nó được cho bởi:
$$f(x) = \begin{cases} 0 & với \ x < 0 \\ \lambda . e^{-\lambda x} & với \ x \ge 0 \end{cases}$$

Khi đó hàm phân bố sẽ có dạng:
$$F(x) = \begin{cases} 0 & với \ x < 0 \\ 1 - e^{-\lambda x} & với \ x \ge 0 \end{cases}$$
.

2.2. Phân bố chuẩn (phân bố Gauss)

Phân bố chuẩn thường phù hợp để mô tả những hư hỏng dần dần do kết quả của các quá trình mài mòn hay lão hoá.

Hàm mật độ phân bố có dạng:
$$f_c(x;\mu;\sigma) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2.\pi}} \cdot \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2.\sigma^2}\right\}, \quad -\infty < x < +\infty$$
.
Hàm phân bố có dạng: $F_c(x;\mu;\sigma) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2.\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp\left\{-\frac{(y-\mu)^2}{2.\sigma^2}\right\} \cdot dy$.

2.3. Phân bố $\chi^2(n)$

Phân bố này dùng trong các tiêu chuẩn phù hợp để kiểm tra giả thiết và xây dựng các khoảng tin cậy đối với các tham số phân bố khác nhau.

Hàm mật độ phân bố có dạng:

$$f_{\chi^{2}}(x,n) = \begin{cases} \frac{1}{2\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^{\frac{n}{2}-1} \cdot \exp\left(-\frac{x}{2}\right), & x \ge 0\\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

Hàm phân bố có dạng:

$$F_{\chi^{2}}(x,n) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\frac{n}{2})} \int_{0}^{x} \left(\frac{y}{2}\right)^{\frac{n}{2}-1} . \exp(-\frac{y}{2}) . dy, \quad x \ge 0\\ 0, \quad x < 0 \end{cases},$$

2.4. Phân bố Fisher

Phân bố này được dùng khi hoàn thiện các số liệu thực nghiệm để kiểm tra giả thiết và xây dựng các khoảng tin cậy.

Hàm mật độ phân bố có dạng:

$$f_F(x, n_1, n_2) = \begin{cases} \frac{\Gamma\left(\frac{n_1 + n_2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n_1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{n_2}{2}\right)} \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{\frac{n_1}{2}} \cdot \frac{x^{\frac{n_1}{2} - 1}}{\left(1 + \frac{n_1 \cdot x}{n_2}\right)^{\frac{n_1 + n_2}{2}}}, & x \ge 0\\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

Hàm phân bố có dạng:

$$F_{F}(x,n_{1},n_{2}) = \begin{cases} \frac{\Gamma\left(\frac{n_{1}+n_{2}}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n_{1}}{2}\right).\Gamma\left(\frac{n_{2}}{2}\right)} \cdot \left(\frac{n_{1}}{n_{2}}\right)^{\frac{n_{1}}{2}} \cdot \int_{0}^{x} \frac{y^{\frac{n_{1}}{2}-1}}{\left(1+\frac{n_{1}\cdot y}{n_{2}}\right)^{\frac{n_{1}+n_{2}}{2}}} \cdot dy, \quad x \ge 0\\ 0, \quad x < 0 \end{cases}$$

2.5. Phân bố Student

Phân bố này được sử dụng rộng rãi khi xử lý thống kê các kết quả quan sát, khi kiểm tra giả thiết và xây dựng khoảng tin cậy

Hàm mật độ phân bố có dạng :

$$f_t(x,n) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right) \cdot \sqrt{\pi \cdot n}} \cdot \left(1 + \frac{x^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}}, \quad -\infty < x < +\infty$$

Hàm phân bố có dạng :

$$F_t(x,n) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right) \cdot \sqrt{\pi \cdot n}} \cdot \int_{-\infty}^x \left(1 + \frac{y^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}} \cdot dy,$$

3. Ứng dụng mathcad để tính toán và khảo sát độ tin cậy

Khi tính toán độ tin cậy thường xuyên phải sử dụng đến các quy luật phân bố của đại lượng ngẫu nhiên khác nhau. Trong khuôn khổ bài báo không thể trình bày xác định độ tin cậy toàn bộ các hệ thống trên xe ô tô quân sự vì quá dài, tác giả chỉ áp dụng một số quy luật thường dùng để giải quyết các bài toán về đánh giá độ tin cậy của một hệ thống phanh trong quá trình khai thác để lấy kết quả cho việc ứng dụng tính toán trong môi trường Mathcad.

3.1. Xác định đối tượng nghiên cứu và thu thập các số liệu thống kê

Đối tượng nghiên cứu là hệ thống phanh xe ô tô ZIL-131 với yêu cầu là khảo sát độ tin cậy trong quá trình khai thác. Khi thiết kế các nhà thiết kế chế tạo đã tính toán sao cho tuổi thọ của các cụm, các tham số phải tương đương nhau hoặc là bội số của nhau để thuận tiện trong quá trình khai thác, sửa chữa. Điều này cho phép nghiên cứu độ tin cậy của hệ thống phanh không nhất thiết phải theo tất cả các cụm hoặc các thông số mà chỉ cần nghiên cứu theo một vài cụm hoặc một vài thông số chính có sự biến đổi lớn nhất, đặc trưng cho cụm - hệ thống.

Quá trình thu thập số liệu thống kê tại đơn vị nhà máy Z151, đối chiếu số liệu thực tế trên sổ lý lịch trang thiết bị của 10 xe ô tô ZIL-131 có thống kê, ghi chép số liệu hỏng hóc của hệ thống trong khoảng hành trình hoạt động là 20000km, với 5 thông số trạng thái điển hình của hệ thống phanh:

1- Hành trình tự do bàn đạp phanh ;

2- Khe hở má phanh và tang trống ;

3- Chiều dày má phanh;

4- Độ võng dây đai máy nén khí ;

5- Áp suất máy nén khí.

Các thông số trên được mắc theo kiểu nối tiếp, do đó khi một thông số vượt qua giá trị tới hạn thì hệ thống phanh coi như bị hỏng. Các hỏng hỏng hóc này đều phục hồi được nên ta tính toán theo chỉ tiêu độ tin cậy đối với sản phẩm có khả năng phục hồi.

Kết quả thu được thống kê tại Bảng 1.

Bång	1.	Các	số	liêu	ban	đầu
			~ ~			

Tên xe Tên thông		Hành trình làm việc tới sửa chữa	Thời gian phục hồi		
(theo số)	số (theo số)	(km)	hỏng hóc (giờ)		
	1	1010, 8660, 16550	1, 1, 1		
AD-1	2	12320	2		
	3	3550, 11240	3, 3		
	4				
	5	5850	3		
	1	3160, 10150	1, 1		
AD-2	2	7630, 14330	2, 2		
	3	1560, 9540, 15410	3, 3, 3		
	4	5140	1		
	5	16930	3		
	1	13500	1		
	2	6310, 17340	2, 2		
AD-3	3	4040, 8360, 19020	3, 3, 3		
	4				
	5				
	1	7510, 16450	1, 1		
	2	3140, 12590	2, 2		
AD-4	3	1440, 9200	3, 3		
	4	11870	1		
	5	5760	3		
	1	4990, 8170,19860	1, 1, 1		
AD-5	2	5630, 17390	2, 2		
	3	3100, 12070	3, 3		

Tên xe	Tên thông	Hành trình làm việc tới sửa chữa	Thời gian phục hồi
(theo số)	số (theo số)	(km)	hỏng hóc (giờ)
	4	1120, 14710	1, 1
	5	15350	3
	1	4410, 6630, 12520, 18410	1, 1, 1, 1
	2	9640, 15650	2, 2
AD-6	3	750, 14240	3, 3
	4	5560, 13690, 17150	1, 1, 1
	5	19470	3
	1	1290, 14810	1, 1
	2	4790, 12560	2, 2
AD-7	3	2560, 11320	3, 3
	4	6790	1
	5	16440	3
	1	1380, 7940, 19980	1, 1, 1
	2	3860, 9980, 19980	2, 2, 2
AD-8	3	4710, 19980	3, 3
	4	11990	1
	5	2460, 17310	3, 3
	1	3430, 10660	1, 1
	2	890, 7400	2, 2
AD-9	3	1670, 15950	3, 3
	4	17740	1
	5		
	1	5630, 10990	1, 1
	2	4030, 12470	2, 2
AD-10	3	450, 8260, 14560	3, 3, 3
	4		
	5	2480	3

3.2. Xây dựng quy luật phân bố thực nghiệm

Kiểm tra giá trị bất thường của các số liệu: kiểm tra số liệu nhỏ nhất 450 với sai số $\alpha = 0,05$ theo biểu thức: $F_{qs} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{n.t_{min}} = \frac{\sum_{i=1}^{85} t_i}{85.t_i} = \frac{750+890+\dots+19980}{85.450} = 16,85$

Tính trực tiếp điểm phân vị của phân bố Fisher với (2n ;2) bậc tự do và sai số $\alpha = 0.05$ ta được:

 $F_{\alpha,2n,2} = F_{0,01;170;2} = 19,\!49$

Xác định số khoảng chia k và độ rộng Δt của mỗi khoảng:

 $t_{max} = 19980 \ km;$ $t_{min} = 450 \ km.$

Số khoảng chia k bằng:

 $k = 1 + 3,32lgn = 1 + 3,32lg(86) = 7,5 \approx 8$

Độ rộng Δt của mỗi khoảng bằng:

$$\Delta t = \frac{t_{\text{max}} - t_{\text{min}}}{k} = \frac{19980 - 450}{8} = 2441,25 \approx 2,5 \ (1000 \text{ km})$$

Lập dãy thống kê các hỏng hóc và tần suất hỏng theo mỗi khoảng chia.

	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5
Δt_i	÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷
	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
n _i	12	13	10	11	9	11	12	8
$p_i = \frac{n_i}{n}$	0,14	0,15	0,12	0,13	0,1	0,13	0,14	0,09

Bảng 2. Dãy thống kê các hỏng hóc và tần suất hỏng theo mỗi khoảng chia

Tính giá trị p_{TB} và độ lệch lớn nhất:

$$p_{TB} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{k} p(\Delta t_i) = \frac{1}{8} (0.14 + 0.15 + 0.12 + 0.13 + 0.10 + 0.13 + 0.14 + 0.09) = 0.125$$

 $D_{max} = 0,\!15-0,\!125 = 0,\!025$

Kiểm tra sự phù hợp giữa phân bố lý thuyết và phân bố thực nghiệm bằng tiêu chuẩn phù hợp Cônmôgôrôv: xác định chỉ tiêu của tiêu chuẩn:

$$\lambda_0 = D_{max}\sqrt{n} = 0,025\sqrt{86} = 0,232$$

Do $\lambda_0 = 0,232 < 1$ nên theo tiêu chuẩn phù hợp Cônmôgôrôv, phân bố lý thuyết phù hợp với phân bố thực nghiệm, có nghĩa là các số liệu thống kê trên Bảng 1 tuân theo quy luật phân bố hàm số mũ.

3.3. Giải bài toán độ tin cậy trên phần mềm Mathcad

M Mathcad - chuong trinh (Mathcad) File Edit View Insert Format Tools Symbolics Window Help						
] □ - ☞ 🖬 🚑 💁 💖 ※ 🖻 🛍 ∽ ~ *** 🛔 🏘 🍞 = 🗞 🍄 🗖 100% - √ (2)					
Normal ∨ Arial ∨ 10 ∨ B <i>I</i> <u>U</u> E <u>≡</u> E <u>§</u> = × ² >	2					
□□ ≁ [:::] ×= ∫ £ < Ĕ \$□ αβ ◆						
My Site V 🄗 Go						
🔛 chuong trinh (Mathcad)						
+						
Khoǎng chia (1000km)						
Δt := 2.5						
Số sản phẩm theo dõi:						
<u>N:</u> = 10						
Hành trình làm việc (1000km):						
$\mathbf{x} \coloneqq (1.25 \ 3.75 \ 6.25 \ 8.75 \ 11.25 \ 13.75 \ 16.25 \ 18.75)^{\mathrm{T}}$						
Số hỏng hóc trên các khoảng chia:						
$\mathbf{n} := (12 \ 13 \ 10 \ 11 \ 9 \ 11 \ 12 \ 8)^{\mathrm{T}}$						
Tham số luồng hông:						
$\omega_{-} := \frac{n}{N \cdot \Delta t}$						
Xác định hệ số a, b, c bằng phương pháp hồi quy:						
$g_{x} := \begin{pmatrix} 10^{-3} & 10^{-3} & 10^{-3} \end{pmatrix}^{\mathrm{T}}$						
<						

Hình 1. Tính tham số hỏng $\omega(\Delta t_i)$ trong mỗi khoảng Δt_i

1505

Mathcad - chuong trinh (Mathcad) le Edit View Insert Format Tools Symbolics Window Help	
D ▼ 📽 🖬 🖨 Q, 🖤 ½ 🖻 🚳 ∽ ⇔ ™ 🗄 100 万 🖓 = 🖦 😳 🗖 100 5 ∨ [?] Iormal → Arial → 10 → 18 J U 📰 🚊 🚍 Ξ Ξ Ξ Ξ × ×.	
<mark>⊒ // ∰ ×= }} {\$ {\$ \$ \$ \$ } \$ \$ \$ \$ \$</mark>	
🔛 chuong trinh (Mathcad)	
$ \begin{array}{l} \mbox{Xác định hệ số a, b, c bằng phương pháp hỗi quy:} \\ g_{c} := \left(10^{-3} \ 10^{-3} \ 10^{-3}\right)^{T} \\ \mbox{M} := expfit(x, \omega_{-}, g) \\ \mbox{M}^{T} = (0.173 \ -0.063 \ 0.332) \\ \mbox{al} := 0.173 \ bl := -0.063 \ cl := 0.332 \\ \mbox{Ta duyc hảm tham số luống hông:} \\ \mbox{u(t)} := al \cdot exp(bl \cdot t) + cl \qquad \omega(t) \to 0.173 \ e^{-0.063 \ t} + 0.332 \\ \mbox{Tim biến đối nguyc laplace của w(t)} \\ \mbox{u(t)} \ laplace \rightarrow \frac{0.565 \ s + 0.020916}{s \cdot (s + 0.063)} \\ \mbox{Như vậy ta có:} \qquad \mbox{yis} := \frac{(0.505 \ s + 0.021)}{s \cdot (s + 0.063)} \\ \mbox{Tim biến đối nguyc laplace của tần số hông hóc a(t):} \\ \mbox{a(s)} := \frac{\omega(s)}{l + \omega(s)} \end{array} $	Bieu do tham so luong hong u = 0.8 u =

Hình 2. Bài toán hồi quy bằng hàm mũ được giải trên môi trường Mathcad



Hình 3. Tìm hàm tần số hỏng hóc a(t) theo biến đổi ngược Laplace a(s)



Hình 4. Đồ thị xác suất làm việc không hỏng p(t) và biểu đồ tham số luồng hỏng

1506



Hình 5. Đồ thị của tần số hỏng a(t), cường độ hỏng $\lambda(t)$ và tham số luồng hỏng $\omega(t)$ Bảng 3. Bảng thống kê các hỏng hóc hệ thống phanh của 10 xe ZIL-131

Tên	Hành trình làm việc tới hỏng theo khoảng, (1000km)							Σ hỏng hóc	
xe	0÷2,5	2,5÷5	5÷7,5	7,5÷10	10÷12,5	12,5÷15	15÷17,5	17,5÷20	n
AD-1	1010	3550	5850	8660	11240 12320		16550		
Σ	1	1	1	1	2		1		7
AD-2	1560	3160	5140	7630 9540	10150	14330	15410 16930		
Σ	1	1	1	2	1	1	2		9
AD-3		4040	6310	8360		13500	17340	19020	
Σ		1	1	1		1	1	1	6
AD-4	1440	3140	5760	7510 9920	11870	12590	16450		
Σ	1	1	1	2	1	1	1		8
AD-5	1120	3100 4990	5630	8170	12070	14710	15350 17390	19860	
Σ	1	2	1	1	1	1	2	1	10
AD-6	750	4410	5560 6630	9640		12520 13690 14240	15650 17150	18410 19470	

Tên	Hành trình làm việc tới hỏng theo khoảng, (1000km)								Σ hỏng hóc
xe	0÷2,5	2,5÷5	5÷7,5	7,5÷10	10÷12,5	12,5÷15	15÷17,5	17,5÷20	n
Σ	1	1	2	1		3	2	2	12
AD-7	1290	2560 4790	6790		11320	12560 14810	16440		
Σ	1	2	1		1	2	1		8
AD-8	1380 2460	3860 4710		7940 9980	11990		17310	19980 19980 19980	
Σ	2	2		2	1		1	3	11
AD-9	890 1670	3430	7400		10660		15950	17740	
Σ	2	1	1		1		1	1	7
AD-10	450 2480	4030	6630	8260	12470	12990 14560			
Σ	2	1	1	1	1	2			8
Σ 10 xe	12	13	10	11	9	11	12	8	86

Tính thời gian trung bình phục hồi sau khi hỏng theo biểu thức giống như phương pháp thống kê.

$$\overline{T_{SC}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} t_{sci} = \frac{1}{86} \sum_{1=1}^{86} t_{sci} = 1,942 \text{ gi}$$

Tính hệ số sẵn sàng K_{ss} theo biểu thức:

$$K_{ss} = \frac{T_{TB}}{T_{TB} + \overline{T_{SC}}}$$

Tính hành trình trung bình làm việc giữa 2 lần hỏng liên tiếp theo biểu thức:

$$\lim_{t \to \infty} \omega(t) = \frac{1}{T_{TB}}$$
$$\lim_{t \to \infty} \omega(t) = \lim_{t \to \infty} (0,173.\,e^{-0,063.t} + 0,332) = 0,332$$
$$T_{TB} = \frac{1}{\lim_{t \to \infty} \omega(t)} = \frac{1}{0,332} = 3,012 \ (1000 \text{ km})$$

Vì T_{TB} chúng ta tính theo hành trình (km), do vậy để tính được K_{SS} chúng ta quy T_{TB} ra giờ theo vận tốc hành quân trung bình của xe ZIL-131 (lấy $v_{TB} = 40$ km/h). Ta có:

$$T_{TB} = \frac{3012}{40} = 75,3 \text{ gi}\grave{\sigma}$$
$$K_{SS} = \frac{75,3}{75,3+1,942} = 0,975$$

Ta thấy hành trình trung bình giữa hai lần hỏng liên tiếp là: $T_{TB} = 3012$ km, nghĩa là cứ trung bình khoảng 3000km thì sẽ có 1 trong 5 thông số đạt giá trị tới hạn. Thực tế theo điều lệ công tác kỹ thuật đối với ZIL-131 thì 2000km phải tiến hành bảo dưỡng kỹ thuật 1 và qua kết quả tính toán thì giữa hai lần hư hỏng có hành trình trung bình thấp hơn so với quy định. Vì vậy để nâng cao độ tin cậy hệ thống phanh thì trong khoảng T_{TB} chúng ta phải kiểm tra, thay thế và điều chỉnh các thông số này hoặc điều chỉnh thời gian tiến hành bảo dưỡng kỹ thuật phù hợp, đúng nguyên tắc.

Hệ số sẵn sàng: $K_{SS} = 0,975$, có nghĩa là trong 100 xe thì có 97 xe có khả năng hoạt động trong bất kỳ thời điểm nào. Từ đó có kế hoạch khai thác xe một cách hợp lý.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đưa ra các kết quả tính toán, đồ thị xác định các đại lượng đặc trưng của độ tin cậy hệ thống phanh xe ô tô ZIL-131 dựa trên việc ứng dụng phần mềm Mathcad. Qua đây chúng ta cũng có thể thấy rằng tiện ích khi ứng dụng phần mềm tính toán sẽ giảm bớt nhiều công đoạn và có kết quả chính xác thuận lợi cho việc xác định các chỉ tiêu độ tin cậy, từ đó cho ra các điều chỉnh phù hợp trong quá trình khai thác sử dụng các trang bị kỹ thuật nói chung tại đơn vị. Tuy nhiên kết quả tính toán trong bài báo mới dựa trên số liệu thống kê với số lượng xe ít, hành trình chưa dài, các kết quả chỉ chủ yếu tập trung về mặt phương pháp cho một hệ thống để làm cơ sở cho các nội dung nghiên cứu toàn diện hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1. Lê Thị Hải Yến (2012). Các phương pháp đánh giá độ tin cậy của hệ thống tính toán qua cấu trúc hệ thống.
- Nguyễn Ngọc Dư (1995). Ứng dụng lý thuyết xác suất trong xác định độ tin cậy, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- 3. Nguyễn Vi (2014). Độ tin cậy của các công trình trên biển.
- 4. Phan Văn Khôi (2001). Cơ sở đánh giá độ tin cậy, NXB Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.
- 5. Кирьянов Д.В. (2003). *Самоучитель МАТНСАD 11*, <<БХВ-Петербург», Санкт-Петербург.

Research on the application of mathcad software in calculation of characteristic quantities and reliability of military automotives

Abstract: Research article, applying Mathcad software to calculate typical quantities of reliability, building graphs of probability of working without failure, frequency, intensity and failure flow parameters according to the working journey of military vehicles, determining the reliability of a system on the vehicle based on actual statistics during exploitation. From there, we can see the process of changing system quality indicators over time, the rules of occurrence of damage and have methods to predict them, and find methods to improve system reliability when designing. design, manufacture.

Keywords: brake system; reliability, non-failure; Mathcad application, vehicle ZIL-131.

Nghiên cứu xây dựng mô hình mô phỏng động lực học chuyển động phẳng của ô tô điện bốn bánh dẫn động độc lập

Nguyễn Minh Nhật¹, Nguyễn Trường Sinh¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Hiện nay, việc phát triển loại ô tô điện, trong đó mỗi bánh xe được dẫn động bằng một động cơ điện riêng biệt đang thu hút được sự quan tâm đáng kể do có một số ưu điểm và tính năng linh hoạt. Việc phát triển các mẫu ô tô điện đó đòi hỏi phải nghiên cứu và xây dựng được mô hình điều khiển lực kéo, lực kéo từng bánh xe đạt được một cách phù hợp với các quá trình chuyển động của xe, trong đó mô hình động lực học chuyển động là bước đầu tiên. Bài báo này trình bày nghiên cứu xây dựng mô hình động lực học chuyển động phẳng của phương tiện có công thức bánh xe 4x4, trong đó mỗi bánh xe được dẫn động một cách độc lập bằng một động cơ điện tích hợp vào trong moay-ơ của bánh xe. Mô hình được đề xuất sử dụng mô hình chuyển động động học 7 bậc tự do, trong đó 3 bậc tự do của thân xe và 4 bậc tự do là 4 tốc độ góc của bốn bánh xe (độc lập). Mô hình động lực học này được mô phỏng và đánh giá trên phần mềm Matlab/Simulink.

Từ khóa: Động lực học phẳng phương tiện bốn bánh, ô tô điện bốn bánh dẫn động độc lập, ổn định động lực học phương tiện, điều khiển lực kéo, điều khiển vecto mô men xoắn.

1. Đặt vấn đề

Các phản lực tương tác giữa lốp và đường dưới tác dụng của mô men chủ động và góc đánh lái tác động vào bánh xe là các ngoại lực tạo nên chuyển động của ô tô. Đối với các phương tiện truyền động phân tán (nhiều hơn một động cơ bố trí tách rời nhau), nhất là ô tô điện bốn bánh dẫn động độc lập (4WIDEV: Four-wheel independent drive electric vehicle) sẽ có sự linh hoạt cao, dẫn tới tiềm năng tăng hiệu suất vì có thể phân bố mô men xoắn tối ưu cho từng bánh xe, đáp ứng động cơ điện nhanh chóng, hiệu suất truyền lực cao (do hệ thống truyền lực ngắn hoặc không có) (Hình 1).

Sự đặc biệt của dạng phương tiện này vừa là ưu điểm cũng vừa là thách thức trong điều khiển chuyển động. Bài toán điều khiển lực kéo, hoặc ổn định chuyển động của phương tiện truyền thống thường được xét đơn lẻ theo phương dọc hoặc ngang, nhưng đối với 4WIDEV không phù hợp do sẽ không thể mô tả hết các đặc điểm chuyển động trong thực tế của phương tiện, mà thường được nghiên cứu kết hợp cả hai phương dọc và ngang. Từ thực tế đó yêu cầu đưa ra là cần nghiên cứu, xây dựng mô hình động lực học chuyển động phẳng của phương tiện (động lực học tích hợp tăng tốc/giảm tốc và chuyển hướng trong mặt phẳng ngang).

Mô hình động lực học phẳng là mô hình tích hợp (động lực học phương dọc, ngang thân xe chuyển động quay vòng đồng thời) trong đó chúng ta giả thiết phương tiện luôn song song với mặt đất, thân xe không có chuyển động lắc dọc quanh trục Ox, lắc ngang quanh trục Oy hay dao động theo phương thẳng đứng Oz và đồng thời không xét tới sự tách bánh tức bỏ qua ảnh hưởng hệ thống treo (chiều quy ước hệ tọa độ thân xe theo ISO, Jazar 2017 [1]). Tuy mô hình

đơn giản nhất nhưng có thể đáp ứng được yêu cầu mô tả được các tính chất của ô tô khi chuyển động trong mặt phẳng .



Hình 1. Sơ đồ bố trí một số kiểu ô tô thuần điện, bốn bánh dẫn động độc lập.



Hình 2. Các hệ tọa độ gắn với mặt đất, thân xe, bánh xe và ba bậc tự do thân xe

Hình 2 minh họa hệ tọa độ nhằm khảo sát động lực xe trong mặt phẳng ngang. Hệ tọa độ cố định gắn với mặt đất G(Oxyz), hệ tọa độ thân xe B(Cxyz) được gắn vào khối tâm C của xe và hệ tọa độ bánh xe $W(O_w xyz)$. Chuyển động phẳng của thân xe có ba bậc tự do chính tịnh tiến theo hướng x và y và quay quanh trục z: vận tốc dọc V_x dọc theo trục x, vận tốc ngang V_y dọc theo trục y và tốc độ lệch hướng $r = \psi$ quanh trục z.

2. Cơ sở lý thuyết mô hình động lực học chuyển động phẳng của ô tô điện bốn bánh dẫn động độc lập.

2.1. Giả thiết mô hình

Để đơn giản hóa bài toán nhằm tập trung vào chuyển động của ô tô trên mặt phẳng ngang với tác động đầu vào là góc lái và Vectơ mô men của bốn động cơ, đồng thời làm giảm khối lượng tính toán, các giả thiết mô hình sau được đưa ra.

+Góc lái của hai bánh trước là như nhau;

+Lốp xe luôn tiếp xúc với mặt đất;

+Xe đang chạy trên đường bằng phẳng đồng nhất;

+Bỏ qua ảnh hưởng của hệ thống treo;

+Coi độ rộng cơ sở cầu trước cầu sau là như nhau và trọng tâm nằm chính giữa theo

chiều ngang;

+Chỉ xét lực cản không khí theo phương chính diện;



Hình 3. Sơ đồ giản lược mô hình động lực học phẳng 7 bậc tự do

Bẩy bậc tự do được lựa chọn bao gồm: $q = \{V_x, V_y, r, \omega_{FL}, \omega_{FR}, \omega_{RL}, \omega_{RR}\}$, các phương trình được viết trong hệ tọa độ thân xe và hệ tọa độ bánh xe, trong đó:

+ Vx vận tốc khối tâm C theo trục dọc thân xe;

+ *Vy* vận tốc khối tâm C theo trục ngang thân xe;

+ r tốc tộ góc lệch thân xe theo phương thẳng đứng $r = \omega_z = \dot{\psi}$;

 $+\omega_i$ Vận tốc góc cách bánh xe;

i = FL: quy ước bánh xe thứ nhất, phía trước và bên trái;

i = FR: quy ước bánh xe thứ hai, phía trước và bên phải;

i = RL: quy ước bánh xe thứ ba, phía sau và bên trái;

i = RR: quy ước bánh xe thứ tư, phía trước và bên trái.

2.2. Mô hình động lực học chuyển động phẳng của ô tô điện bốn bánh dẫn động độc lập

2.2.1. Mô hình lốp

Có nhiều mô hình lốp xe khác nhau đã được phát triển, mà nổi tiếng trong số đó có thể kể đến như Mô hình lốp Magic Formular – Pacejka, mô hình lốp Dugoff đều kể tới sự trượt kết hợp theo phương dọc và ngang của lốp xe. Trong nghiên cứu này, mô hình lốp Pacejka phiên bản năm 1997 [2] được sử dụng:

$$(F_{xi}, F_{yi}, M_{zi}) = PAC1997(\kappa_i, \alpha_i, F_{zi})$$

$$\tag{1}$$

Dạng chung của công thức:

$$y=D\sin[C\arctan\{Bx-E(Bx-\arctan Bx)\}]$$
(2)



Hình 4. Chiều quy ước trong mô hình lốp và mối quan hệ giữa các thành phần trong mô hình lốp với độ trượt dọc và góc lệch bên ([4] có chỉnh sửa).

Trong đó Y là biến đầu ra Fx, Fy hoặc có thể là M_z và X là biến đầu vào: độ trượt dọc κ hoặc độ trượt bên α hoặc F_{zi} tải trọng thẳng đứng tác dụng lên lốp. Các hệ số: B là hệ số độ cứng, C là hệ số hình dạng, D là giá trị đỉnh, E là hệ số cong, S_H là dịch chuyển ngang và S_V sự dịch chuyển theo chiều dọc. Ảnh hưởng của góc Camber γ cũng như thành phần M_x được bỏ qua. Các tham số của từng bánh xe được xác định như sau:

a. Độ trượt dọc ĸ

Hằng số $\varepsilon = 0.01$ được đưa vào nhằm loại trừ phép tính vô nghĩa chia cho 0.

$$\begin{cases} \kappa_i = \frac{R_e \omega_i - V_{xi}}{max(V_{xi}, \varepsilon)}; \\ i = \{FL, FR, RL, RR\}; \ \varepsilon = 0.01; \end{cases}$$
(3)

Các vận tốc trục bánh xe dọc theo trục (Ox)_w là:

$$\begin{cases} V_{xFL} = (V_x - c.r)\cos(\delta) + (V_y + a.r)\sin(\delta); \\ V_{xFR} = (V_x + c.r)\cos(\delta) + (V_y + a.r)\sin(\delta); \\ V_{xRL} = V_x - c.r; \\ V_{xRR} = V_x + c.r; \qquad V_y \approx \beta V_x \end{cases}$$

$$(4)$$

Trong đó:

+ V_{xi} vận tốc trục bánh xe theo trục $(Ox)_w$;

+ R_e bán kính bánh xe tính toán;

+ ω_i Vận tốc góc các bánh xe;

+ a khoảng cách từ khối tâm C tới trục trước;

,

+c = B/2, B chiều rộng cơ sở của xe.

b. Góc lệch bên α

Góc lệch bên theo quy ước dấu từ hình 4 có thể được xác định từ góc lái bánh xe và góc lệch giữa vecto vận tốc trục bánh xe so với phương dọc thân xe [1]:

$$\alpha_{i} = \delta_{i} - \beta_{i} = \delta_{i} - \arctan\left(\frac{V_{yi}}{V_{xi}}\right) = \delta_{i} - \arctan\left(\frac{V_{y} + x_{i}r}{V_{x} - y_{i}r}\right)$$

$$(5)$$

Hình 5. Cách xác định góc lệch bên ([1] có chỉnh sửa)

+ δ_i góc lái bánh xe dẫn hướng;

+beta góc lệch Vecto vận tốc trục bánh xe với phương dọc thân xe;

+ *Vxi*,*Vyi* vận tốc trục bánh xe theo phương dọc và ngang thân xe;

+ (x_i, y_i) tọa độ trục bánh xe trong hệ tọa độ thân xe B(Cxyz).

$$\Rightarrow \begin{cases} \alpha_{FL} = \delta - \arctan\left(\frac{v_y + a.r}{v_x - cr}\right) & \alpha_{FR} = \delta - \arctan\left(\frac{v_y + a.r}{v_x + cr}\right) \\ \alpha_{RL} = -\arctan\left(\frac{v_y - b.r}{v_x + c.r}\right) & \alpha_{RR} = -\arctan\left(\frac{v_y - b.r}{v_x - c.r}\right) \end{cases}$$
(6)

c. Phản lực pháp tuyến tác dụng

Các lực F_{zi} xét tới sự chuyển dịch tải trọng phân bố khi có gia tốc dọc và ngang [3] được xác định như sau:

$$\begin{cases} F_{zFL} = mg \cdot \frac{b}{2l} \cdot \left(1 - \frac{h}{b} \cdot \frac{a_X}{g}\right) \cdot \left(1 - \frac{h}{c} \cdot \frac{a_Y}{g}\right); \\ F_{zFL} = mg \cdot \frac{a}{2l} \cdot \left(1 + \frac{h}{a} \cdot \frac{a_X}{g}\right) \cdot \left(1 - \frac{h}{c} \cdot \frac{a_Y}{g}\right); \\ F_{zFR} = mg \cdot \frac{b}{2l} \cdot \left(1 - \frac{h}{b} \cdot \frac{a_X}{g}\right) \cdot \left(1 + \frac{h}{c} \cdot \frac{a_Y}{g}\right); \\ F_{zRR} = mg \cdot \frac{a}{2l} \cdot \left(1 + \frac{h}{a} \cdot \frac{a_X}{g}\right) \cdot \left(1 + \frac{h}{c} \cdot \frac{a_Y}{g}\right); \end{cases}$$
(7)

2.2.2. Các phương trình chuyển động của thân xe:

$$\begin{cases} m(\dot{V}_x - V_y r) = F_x - F_w \\ m(\dot{V}_y + V_x r) = F_y \\ M_z = I_z \dot{r} \qquad (r = \omega_z) \end{cases}$$
(8)

Chiếu các vectơ lực theo các trục hệ tọa độ thân xe, ta có các lực tổng hợp được xác định như sau:

$$F_{x} = (F_{xFL} + F_{xFR})\cos\delta + (F_{xRL} + F_{xRR}) - (F_{yFL} + F_{yFR})\sin\delta$$

$$F_{y} = (F_{xFL} + F_{xFR})\sin\delta + (F_{yFL} + F_{yFR})\cos\delta + (F_{yRL} + F_{yRR})$$

$$M_{z} = \left((F_{xFL} + F_{xFR})\sin\delta + (F_{yFL} + F_{yFR})\cos\delta\right)a - (F_{yRL} + F_{yRR})b + (-F_{xFL}\cos\delta + F_{yFL}\sin\delta + F_{xFR}\cos\delta - F_{yFR}\sin\delta - F_{xRL} + F_{xRR})c + (M_{zFL} + M_{zFR} + M_{zRL} + M_{zRR})$$
(9)

Trong đó lực cản gió được xác định theo [6]

$$F_{w} = 0, 5.\rho_{w}.C_{w}S.V_{x}^{2} = k_{w}.S.V_{x}^{2}$$
(10)

 $\rho_{\rm w}$ [kg/m³] mật độ không khí, ở điều kiện thường chọn $\rho_{\rm w}$ = 1,225 kg / m³

Hệ số cản không khí $k_w = 0,6125.C_w$ [kg/m³]; C_w hệ số không thứ nguyên lực khí động toàn phần, đối với ô tô con lấy $C_w = 0,5$.

2.2.3. Các phương trình chuyển động của bánh xe



Hình 6. Sơ đồ các lực tác dụng lên bánh xe

$$I_{\omega}\dot{\omega}_{i} = T_{i} - R_{e}.F_{xi} - d.F_{zi} = R_{e} \left(\frac{T_{i}}{R_{e}} - F_{xi} - \frac{d}{R_{e}}F_{zi}\right) \Leftrightarrow \dot{\omega}_{i} = \frac{R_{e}}{I_{\omega}} \left(\frac{T_{i}}{R_{e}} - F_{xi} - f.F_{zi}\right)$$
(11)

 $T_i = T_{mi} - T_{bi} = T_{mi};$ $i = \{FL, FR, RL, RR\}$

+Không xét tới quá trình phanh, nên mô men phanh $T_b = 0, T_i = T_m$ mô men từ động cơ điện.

+ F_x tính theo PAC 1997 [2], R_e bán kính động lực học bánh xe, giả thiết R_e các bánh xe như nhau và bằng bán kính tính toán không đổi.

 $+ F_z$ tổng phản lực pháp tuyến lại vệt lốp, d khoảng dịch chuyển phản lực F_z so với tâm trục, f = d / Re - hệ số cản lăn, giả sử coi là hằng số; ($T_f = F_z d$ là mô men cản lăn)

2.3. Xây dựng chương trình khảo sát

Chương trình khảo sát được xây dựng trên phần mềm Matlab Simulink.

+Trường hợp 1: Chạy thẳng trong 3 giây đầu tiên sau đó đánh lái sang trái cho bánh dẫn hướng cầu trước hết cỡ góc 40 độ, Các mô men cung cấp bằng nhau và bằng 700 N.m.

+Trường hợp 2: Chạy thẳng trong 3 giây đầu tiên sau đó đánh lái sang trái cho bánh dẫn hướng cầu trước hết cỡ góc 40 độ, Các mô men cung cấp có tổng bằng 2800 N.m nhưng theo tỉ lệ tải trọng tĩnh của từng bánh xe.



Hình 7. Chương trình khảo sát và góc đánh lái đầu vào

Bảng 1. Thông số	đầu vào chương	trình khảo sát.
------------------	----------------	-----------------

TT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Khối lượng toàn xe	m	kg	1700
2	Chiều dài cơ sở xe	y xe l		2,9
3	Chiều rộng cơ sở xe	B = 2c	m	1,8
4	Khoảng cách từ trọng tâm tới đường trục cầu trước	а	m	1,35
5	Khoảng cách từ trọng tâm tới đường trục cầu sau	b	m	1,55
6	Chiều cao trọng tâm thân xe	h	m	0,7
7	Mô men quán tính trục Oz thân xe	Iz	kg.m ²	2000
8	Gia tốc trọng trường	g	m/s ²	9,81

TT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
9	Mô men quán tính bánh xe	I _{w1,2,3,4}	kg.m ²	45
10	Bán kính tính toán bánh xe	R _{w1,2,3,4}	m	0,313
11	Thông số lốp xe	205/60R15 91V – áp suất lốp 2.2 bar (theo[4]-phụ lục)		
12	Diện tích cản gió	S	m ²	2,1
13	Hệ số cản không khí	k _w	kg/m ³	0,31
14	Hệ số cản lăn các bánh xe	f _{1,2,3,4}	-	0.018
15	Vận tốc dọc thân xe ban đầu	V _{x0}	m/s	2
16	Vận tốc ngang thân xe ban đầu	V_{y0}	m/s	0
17	Tốc độ góc lệch thân xe ban đầu	r	Rad/s	0
18	Tốc độ góc các bánh xe ban đầu	Ø _{0 1,2,3,4}	Rad/s	6,754

3. Đánh giá kết quả khảo sát mô hình động lực học và ảnh hưởng cách phân bổ mô men xoắn tới các bánh xe.

Sử dụng kết quả khảo sát của TH1:





Hình 8. Trạng thái tại các bánh xe khi khảo sát trường hợp 1

Nhận xét :

Trong khoảng đầu từ giây $0 \div 3$ [s], góc đánh lái bằng 0 nên xe chuyển động thẳng, nhanh dần. Do có điều kiện đầu tại t=0 nên giá trị các thông số trạng thái của các bánh xe có bước nhảy. Cụ thể các giá trị độ trượt dọc giảm từ 0.02 tới 0.01 sau đó độ trượt dọc gần như không thay đổi, tương ứng các giá trị lực dọc giảm từ khoảng 1000 ÷ 1200 N xuống khoảng 910N và sau đó gần như không thay đổi. Điều này phù hợp với việc lựa chọn mặt đường có hệ số bám cao và mô men cấp các bánh xe còn khá nhỏ so với mô men danh nghĩa tương ứng với lực bám tiếp tuyến cũng như quy luật trượt thuần túy của lốp (mô hình lốp Pacejka). Đồng thời, phản lực pháp tuyến tại hai bánh mỗi cầu bằng nhau và gần như không đổi trong khoảng thời gian này; tại cầu trước giảm đi còn cầu sau tăng lên so với tải trọng tĩnh phân bố ban đầu do lúc này xe tăng tốc thẳng với gia tốc $a_x \approx 2,8m/s^2$. Nguyên nhân ở đây là do mô men được cấp cho các bánh xe không đổi mà lực cản gió nhỏ do vận tốc dọc xe còn tương đối thấp.

Trong khoảng tiếp theo từ giây thứ $3 \div 10$ [s], góc đánh lái được đánh sang trái và tăng tuyến tính tới giá trị lớn nhất đạt được của xe. Lúc này các hệ số trượt dọc tăng dần do sai khác về tốc độ góc các bánh xe. Bánh xe bên trong tức cùng phía với góc đánh lái (FL và RL) sẽ có vận tốc góc lớn hơn nên độ trượt dọc sẽ tăng nhanh hơn. Đồng thời góc lệch bên xuất hiện và cũng tăng lên do quá trình đánh lái, trong đó góc lệch bên hai bánh trong một cầu là gần như nhau và cấu trước lớn hơn vì là cầu dẫn hướng. Lúc này các lực bên cũng tăng lên, gia tốc ngang xuất hiện và đi kèm là hiệu ứng phân bổ lại tải trọng lên các bánh xe khi có cả gia tốc dọc và ngang thân xe. Tới thời điểm t = 7s, độ trượt dọc κ của bánh xe FL, RL tương đối lớn (>0,3) mà tải trọng phân bố tại đây chỉ tăng chậm nên cả lực

dọc và lực ngang tại đây đều giảm nhanh. Điều này phù hợp với quy luật trượt kết hợp của lốp (Mô hình lốp Pacejka).



Hình 9. Đồ thị so sánh các trạng thái thân xe trong hai trường hợp



Hình 10. So sánh quỹ đạo thân xe

Nhận xét: Trạng thái của các bánh xe trong hai trường hợp chắc chắn thay đổi do các mô men được cung cấp là khác nhau, trong bài báo không tiến hành phân tích cụ thể. Phân tích thay đổi trạng thái của thân xe khi thay đổi cách cung cấp mô men xoắn. Tổng mô men được cấp trong hai trường hợp là như nhau chỉ khác tỉ lệ phân chia, kết quả dẫn tới dáng điệu các đồ thị giống nhau nhưng các trạng thái của xe thay đổi rõ ràng. Cụ thể thể hiện trên đồ thị so sánh gia

tốc, vận tốc dọc ngang thân xe là khá tương đồng, tới thời điểm t = 3s cơ bản xe đi được theo trục X quãng đường 30m như nhau. Với đồ thị tốc độ góc lệch thân xe, trường hợp phân chia tỉ lệ mô men thay đổi sớm pha hơn, còn đồ thị so sánh góc lệch vận tốc khối tâm thân xe ngoài sớm pha hơn thì còn có giá trị nhỏ hơn. Tương ứng sự thay đổi đó là quỹ đạo, trường hợp mô men phân chia tỉ lệ sẽ phải có quỹ đạo rộng hơn.

Ngoài ra, so với quay vòng đều (so sánh với [7]) gia tốc ngang thân xe cũng không thể vượt qua giá trị 10 m/s², hình dáng của quỹ đạo sẽ là hình e-líp, khác với trường hợp quay vòng đều quỹ đạo sẽ là hình tròn. Nguyên nhân là do trong quá trình đánh lái, mô men chủ động vẫn được cấp dẫn tới xe tăng tốc theo phương chuyển động trong quá trình đánh lái.

4. Kết luận

Bài báo đã tiến hành nghiên cứu xây dựng được mô hình động lực học chuyển động phẳng của ô tô điện bốn bánh dẫn động độc lập nói riêng hay cho các phương tiện bốn bánh chủ động có thể phân bổ mô men xoắn chủ động nói chung. Kết quả mô phỏng cho thấy mô hình mô phỏng có các kết quả phù hợp với chuyển động thực tế của phương tiện cũng như các phương trình đã xây dựng. Mô hình có thể sử dụng để nghiên cứu các quá trình chuyển động trên mặt phẳng như quay vòng có phanh, chuyển làn đơn, chuyển làn đôi, quay đầu...

Khi thay đổi cách cung cấp mô men, cụ thể là giữ nguyên cách đánh lái và độ lớn tổng độ lớn các mô men xoắn chủ động các bánh xe, trạng thái thân xe thay đổi rõ rệt, ảnh hưởng nhiều tới các thông số động học, động lực học trong quá trình chuyển động trên mặt phẳng ngang. Từ đó cho thấy ý nghĩa quan trọng của việc nghiên cứu điều khiển lực kéo, phân bổ mô men hợp lý của ô tô điện bốn bánh dẫn động độc lập.

Tài liệu tham khảo

- 1. Reza N. Jazar (2017). *Vehicle Dynamics Theory and Application*, Springer International Publishing.
- H.B.Pacejka & I.J.M.Besselink (1997). Magic Formula Tyre Model with Transient Properties, Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility.
- 3. Reza N. Jazar (2019). Advanced Vehicle Dynamics, Springer International Publishing.
- 4. H.B.Pacejka (2005). *Tyre and Vehicle Dynamics*, 2nd edition volume, SAE International.
- Nguyễn Khắc Trai (1997). Tính điều khiển và quỹ đạo chuyển động của ô tô, Nhà xuất bản Giao thông vận tải.
- Vũ Đức Lập (2019). Động lực học chuyển động thẳng ô tô, Nhà xuất bản Quân đội Nhân dân Việt Nam.
- Đỗ Văn Tứ (2022). Xây dựng mô hình nghiên cứu động lực học quay vòng của ô tô hai cầu khi kể đến tính bất đối xứng dọc, Tạp chí Cơ khí Việt Nam (Số 4 năm 2022 ISBN 2615-9910 Tr5-9).

Research on the designing planar dynamic model for an electric vehicle with fourwheel independent drive

Abstract: Currently, the development of electric vehicles, a separate electric motor that drives each wheel, is attracting considerable attention due to its advantages and flexibility. Developing such electric vehicle models requires research and construction of an appropriate traction control model for each wheel suitable for the vehicle's motion processes, where the planar dynamic model is the first step. This article presents a study on building a planar dynamic model of a 4x4 wheeled vehicle, in which each wheel is independently driven by an electric motor integrated into the wheel hub. The proposed model uses a 7-degree-of-freedom dynamic model, including 3 degrees of freedom for the vehicle body and 4 degrees for the 4 independent wheel angular velocities. This dynamic motion model is simulated and evaluated using Matlab/Simulink software.

Keywords: four-wheel planar vehicle dynamics, four-wheel independently driven electric vehicle, vehicle dynamics stability, traction control, torque vectoring control.

Đánh giá ảnh hưởng của phụ gia nano đến tính năng kỹ thuật và khí thải của động cơ diesel sử dụng nhiên liệu diesel/biodiesel bằng thực nghiệm

Vũ Văn Phong^{1*}, Lương Đình Thi¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tính năng kỹ thuật và khí thải của động cơ diesel R180 sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel/biodiesel bằng phương pháp thực nghiệm. Hỗn hợp nhiên liệu chứa 10% biodiesel (B10) theo thể tích, được bổ sung phụ gia nano Al₂O₃ với tỷ lệ tương ứng là 50, 100 và 150ppm. Tính năng kỹ thuật và lượng khí thải của động cơ được xác định bằng thực nghiệm theo đặc tính ngoài. Kết quả thực nghiệm cho thấy, việc kết hợp phụ gia nano Al₂O₃ ở tỷ lệ thấp (50ppm) có tác động nhỏ đến tính năng kỹ thuật và lượng khí thải của động cơ. Ngược lại, khi sử dụng tỷ lệ cao hơn (100ppm và 150ppm) sẽ dẫn đến những cải thiện đáng kể cả quá trình cháy, tính năng kỹ thuật và khí thải của động cơ. Điều đó cho thấy tiềm năng đáng kể của việc sử dụng phụ gia nano để nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu và giảm khí thải của động cơ.

Từ khóa: động cơ R180; thực nghiệm; biodiesel; phụ gia nano. **1. Mở đầu**

Hiện nay, mức độ ô nhiễm môi trường ngày càng tăng và mức tiêu thụ nhiên liệu đáng kể đã thúc đẩy việc nghiên cứu sâu rộng về sự cần thiết của các giải pháp thay thế. Trong khi dầu thực vật ăn được có chi phí khá cao, thì việc sản xuất biodiesel từ các nguồn không ăn được như dầu cọ và dầu ăn thải là một hướng phát triển tiềm năng. Biodiesel là sự thay thế hiệu quả cho nhiên liệu diesel trong động cơ [1]. Nó có chỉ số Cetane và hàm lượng oxy cao hơn so với diesel, giúp cải thiện quá trình đốt cháy. Tuy nhiên, biodiesel có những hạn chế ở đặc tính nguyên tử hóa và hòa trộn không khí - nhiên liệu. Khi sử dụng biodiesel, động cơ diesel thải ra ít chất ô nhiễm ngoại trừ NOx [1]. Hiệu suất nhiệt của động cơ diesel sử dụng hỗn hợp diesel/biodiesel thấp hơn so với diesel nguyên chất do nhiệt trị của biodiesel thấp hơn.

Phụ gia nano, là những vật liệu có kích thước nanomet, đã được chứng minh là có những đặc tính độc đáo có thể cải thiện hiệu suất và giảm lượng khí thải của động cơ diesel. Phụ gia nano có thể cải thiện hiệu suất đốt cháy nhiên liệu, đồng thời thúc đẩy quá trình oxy hóa các chất ô nhiễm thành chất ít độc hơn. Bằng cách thêm chất phụ gia nano vào nhiên liệu diesel, có thể đạt được những cải thiện đáng kể về hiệu suất động cơ và lượng khí thải [2].

Nghiên cứu sử dụng phụ gia nano trong động cơ diesel trên thế giới và ở Việt Nam vẫn còn ở giai đoạn đầu nhưng lợi ích và tiềm năng của chúng rất hứa hẹn. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng chất phụ gia nano có thể làm giảm lượng khí thải CO, oxit nitơ (NOx), chất dạng hạt (PM) và hydrocarbon (HC) [3], tất cả đều là nguyên nhân chính gây ô nhiễm không khí. Ngoài ra, phụ gia nano có thể cải thiện khả năng tiết kiệm nhiên liệu, tăng công suất và mômen xoắn do tác động tích cực của phụ gia nano đến các quá trình của động cơ như tạo hỗn hợp cháy, đốt cháy nhiên liệu [4]... Nghiên cứu tác dụng của phụ gia nano đối với hiệu suất và lượng khí thải của động cơ diesel là một chủ đề quan trọng và mang tính thời sự. Lợi ích tiềm năng của việc sử dụng chất phụ gia nano để giảm lượng khí thải và cải thiện hiệu suất động cơ là rất lớn và có thể góp phần tạo ra một ngành vận tải sạch hơn và hiệu quả hơn. Vì vậy, cần nghiên cứu sâu hơn trong lĩnh vực này để hiểu đầy đủ tiềm năng của chất phụ gia nano và phát triển các giải pháp hiệu quả nhằm giảm lượng khí thải từ động cơ diesel.

Việc kết hợp các chất phụ gia nano vào hỗn hợp diesel/biodiesel có ảnh hưởng tích cực đến hiệu suất và lượng khí thải của động cơ. Nghiên cứu này tập trung đánh giá tính năng kỹ thuật động cơ và khí thải khi bổ sung phụ gia nano Al₂O₃ vào hỗn hợp diesel/biodiesel. Biodiesel được sử dụng có nguồn gốc từ dầu cọ. Hỗn hợp diesel/biodiesel được tạo ra bằng cách hòa trộn diesel với biodiesel, trong đó biodiesel chiếm 10% thể tích (gọi tắt là B10). Hỗn hợp B10 được bổ sung phụ gia nano với nồng độ lần lượt là 50, 100 và 150 ppm,. Những hỗn hợp này được dùng cho động cơ R180 và so sánh kết quả thực nghiệm với nhiên liệu diesel nguyên chất.

2. Trang thiết bị thực nghiệm

Thực nghiệm được tiến hành trên động cơ diesel R180 ở quy mô phòng thực nghiệm trên băng thử công suất tại Trung tâm nghiên cứu các Nguồn động lực và Phương tiện tự hành, Khoa cơ khí động lực, Đại học Bách khoa Hà Nội.

Đối tượng thực nghiệm: động cơ R180 là động cơ diesel 1 xi-lanh, 4 kỳ, không tăng áp, làm mát bằng nước được sử dụng nhiều trong lĩnh vực nông nghiệp. Công suất định mức của động cơ là 5,7 kW. Thông số kỹ thuật cơ bản của động cơ R180 được trình bày ở Bảng 1.

Trong nghiên cứu này các trang thiết bị thực nghiệm bao gồm: phanh điện DW-16, thiết bị đo áp suất buồng đốt AVL Indiset, thiết bị đo tiêu hao không khí Hot-Film-Air-Mass meter (HFM5), thiết bị đo tiêu hao nhiên liệu AVL Fuel Balance 733S; thiết bị đo hệ số lambda, tủ phân tích khí thải CEB-II, thiết bị đo độ khói AVL dismoke 4000. AVL Digas 4000 được dùng để đo lượng phát thải CO bằng phương pháp hồng ngoại, trong khi phát thải NOx đạt được bằng phương pháp điện hóa. Mặt khác, các giá trị phát thải CO thu được là trên cơ sở % khối lượng trong khi các giá trị phát thải NOx thu được được tính theo ppm.

ТТ	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Hành trình piston	S	80	mm
2	Đường kính xi lanh	D	80	mm
3	Số xi lanh	i	1	-
4	Suất tiêu hao nhiên liệu	ge	279	g/kWh
5	Thể tích công tác	V_h	0,402	lít
6	Công suất định mức tại 2600 v/p	Ne	5,7	kW
7	Tỷ số nén	3	20	-

Bảng 1. Thông số kỹ thuật động cơ R180 [5]

Thực nghiệm được tiến hành với các hỗn hợp diesel/biodiesel và phụ gia nano Al₂O₃, với các tỷ lệ 50ppm (ký hiệu B10 Al₂O₃ 50), 100ppm (B10 Al₂O₃100) và 150 ppm (B10 Al₂O₃150). Tỷ lệ phụ gia được định nghĩa là tỷ lệ khối lượng (tính theo miligam!!!) của Al₂O₃ trên một lít nhiên liệu. Phụ gia nano được thêm vào hỗn hợp nhiên liệu và được trộn bằng máy trộn siêu âm ở tần số 20 kHz trong thời gian 20 phút. Sau đó, cho 20 ml chất hoạt động bề mặt Tween 80 vào 1 lít hỗn hợp nhiên liệu và phụ gia rồi trộn tiếp trong 15 phút để tạo thành hỗn hợp ổn định [6]. Tween 80 là chất hoạt động bề mặt, có tác dụng ổn định các hạt phụ gia trong giọt nhiên liệu [7]. Thực nghiệm được thực hiện ở chế độ tốc độ từ 1200 vòng/phút đến 2600 vòng/phút ở đặc tính ngoài.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận 3.1. Công suất và suất tiêu hao nhiên liệu

Kết quả thực nghiệm cho thấy, công suất có ích và suất tiêu hao nhiên liệu có ích của động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel/biodiesel và hỗn hợp nhiên liệu diesel/biodiesel pha phụ gia được thể hiện trên Hình 1 và Hình 2.



Hình 1. Ảnh hưởng của phụ gia nano đến công suất động cơ.

Hình 2. Ảnh hưởng của phụ gia nano đến suất tiêu hao nhiên liệu.

Kết quả thực nghiệm cho thấy, công suất của động cơ sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel/biodiesel có phụ gia lớn hơn công suất của động cơ sử dụng hỗn hợp diesel/biodiesel không có phụ gia, còn suất tiêu hao nhiên liệu có xu hướng ngược lại trên toàn bộ dải tốc độ. Bên cạnh đó, nồng độ phụ gia càng cao thì mức độ tăng công suất (hoặc) giảm suất tiêu hao nhiên liệu sẽ càng lớn. Trong đó, mức tăng công suất cao nhất là 11,6% và mức giảm suất tiêu hao nhiên liệu nhiều nhất là 10,2% đều là của nhiên liệu B10 Al₂O₃ 150 tại 2600 vòng/phút. Các kết quả thực nghiệm đã cho thấy hiệu quả của việc sử dụng phụ gia nano để nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu. Nguyên nhân của việc tăng công suất và giảm suất tiêu hao nhiên liệu được giải thích là do những tác động tích cực của phụ gia nano trong quá trình cháy như việc cải thiện quá trình nguyên tử hóa nhiên liệu, tăng cường khả năng phản ứng hóa học và đặc tính xúc tác của phụ gia nano [7].

3.2. Phát thải động cơ

- Phát thải CO: là sản phẩm cháy của nhiên liệu trong điều kiện thiếu Ôxy. Khi động cơ sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel/biodiesel pha phụ gia làm tăng khả năng hấp thụ oxy, dẫn tới làm giảm những vùng hỗn hợp đậm, kết quả làm giảm mạnh phát thải CO.



Hình 3. Ảnh hưởng của phụ gia nano đến phát thải CO của động cơ.

Hình 4. Ảnh hưởng của phụ gia nano đến phát thải NO_x của động cơ.

Từ kết quả ở trên Hình 3 dễ dàng nhận thấy phát thải CO trên động cơ dùng nhiên liệu pha phụ gia giảm đáng kể so với động cơ dùng hỗn hợp nhiên liệu diesel/biodiesel nguyên bản và mức độ giảm phát thải CO tăng lên khi tăng lượng phụ gia hòa trộn vào nhiên liệu. Tính trung bình trên toàn dải tốc độ, hỗn hợp nhiên liệu pha phụ gia B10 Al₂O₃ 150 ppm làm giảm phải thải CO khoảng 11,6 %.

 Phát thải NO_x: NO_x là sản phẩm của quá trình oxy hóa Nitơ trong không khí trong điều kiện nhiệt độ cao. Kết quả phát thải NO_x được thể hiện trên Hình 4.

Từ kết quả thực nghiệm nhận thấy, động cơ sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel/biodiesel pha phụ gia có phát thải NO_x ít hơn động cơ dùng hỗn hợp diesel/biodiesel không pha phụ gia và cũng tương tự như đối với phát thải CO, lượng giảm phát thải của nhiên liệu B10 Al₂O₃ 150 ppm là cao nhất, khoảng 11,3% tính trên toàn dải tốc độ. Nguyên nhân của việc này có thể do các hạt phụ gia nano hoạt động trong buồng đốt động cơ diesel như môi chất truyền nhiệt tốt, làm cho nhiệt độ trong xi lanh đồng đều hơn và làm giảm nhiệt độ trung bình trong xi lanh, tác động nhiệt này của các phụ gia nano thường dẫn đến giảm phát thải NOx [8]. Bên cạnh đó các hạt nano Al₂O₃ có thể phản ứng với NO để tạo thành AlO₂ và N₂, do đó làm giảm khả năng hình thành NOx [9]:

$$Al_2O_3 + NO \rightarrow 2AlO_2 + \frac{1}{2}N_2 \tag{1}$$

- Phát thải HC: phát thải HC là sản phẩm của quá trình cháy nhiên liệu không hoàn toàn trong quá trình làm việc của động cơ. Việc bổ sung các hạt nano Al₂O₃ vào nhiên liệu biodiesel có thể cải thiện các tính chất vật lý của nó, chẳng hạn như độ nhớt, tỷ trọng và trị số cetane [10]. Các tính chất của nhiên liệu được cải thiện có thể dẫn đến quá trình đốt cháy tốt hơn và vai trò là chất xúc tác trong quá trình đốt cháy của Al₂O₃ cũng sẽ thúc đẩy quá trình oxy hóa các hydrocacbon. Kết quả phát thải HC được thể hiện trên Hình 5, mức độ giảm cao nhất của khí thải HC khoảng 38,8% khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu B10 Al₂O₃ 150ppm.

1524



Hình 5. Ảnh hưởng của phụ gia nano đến phát thải HC của động cơ theo đường đặc tính ngoài.

Hình 6. Ánh hưởng của phụ gia nano đến phát thải Soot của động cơ theo đường đặc tính ngoài.

- Phát thải Soot: soot là chất ô nhiễm đặc biệt quan trọng trong khí thải động cơ diesel. Quá trình cháy khuếch tán trong động cơ diesel rất thuận lợi cho việc hình thành soot. Phát thải soot được đo trực tiếp bằng thiết bị thực nghiệm theo đơn vị FSN (độ mờ khói), sau đó sử dụng công thức quy đổi để chuyển sang đơn vị mg/m³ [11].

$$"C"(mg/m^3) = \frac{1}{0,405}.4,95.FSN.\exp(0,38.FSN)$$
(2)

Sau đó, quy đổi phát thải khói theo đơn vị g/kwh thông qua lưu lượng khí thải và công suất động cơ. Kết quả thực nghiệm phát thải soot được thể hiện trên Hình 6. Chúng ta thấy rằng, với động cơ sử dụng hỗn hợp nhiên liệu có pha phụ gia Al₂O₃ đã làm giảm đáng kể phát thải Soot. Nguyên nhân là do phụ gia nano Al₂O₃ có tổng diện tích bề mặt của các hạt lớn và độ dẫn nhiệt cao, do đó có thể nâng cao hiệu quả đốt cháy và giảm phát thải khói [12]. Mức độ giảm nhiều nhất của phát thải Soot lên tới 48,2% khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu B10 Al₂O₃ 150ppm.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày các kết quả thực nghiệm và đánh giá tác động của phụ gia nano Al_2O_3 với hàm lượng tương ứng là 50 ppm, 100 ppm và 150 ppm đến tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ R180 khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel/biodiesel B10.

Các kết quả nghiên cứu cho thấy, khi sử dụng nhiên liệu có pha trộn thêm phụ gia nano thì công suất có ích của động cơ tăng, mức tăng lớn nhất đạt 11,6 %. Suất tiêu hao nhiên liệu có ích giảm 10,2%, hàm lượng các chất phát thải cũng có sự giảm mạnh.

Khi tăng hàm lượng phụ gia nano thì mức tăng/giảm của tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ cũng thay đổi theo, hàm lượng nano càng lớn thì mức thay đổi càng cao. Tuy nhiên, việc sử dụng hàm lượng nano phù hợp nên được lựa chọn dựa trên các tiêu chí khai thác động cơ, tiêu chuẩn khí thải và chi phí.

Các kết quả nghiên cứu cho thấy, việc sử dụng phụ gia nano hứa hẹn rất nhiều trong việc nâng cao hiệu suất và giảm tác động đến môi trường của động cơ diesel.

Tài liệu tham khảo

- 1. Raja S. Biodiesel production from Jatropha oil and its characterization. *Res J Chem Sci* 2011;1(1):81–7.
- Saddam Khan và cộng sự, Nanoparticles as fuel additive for improving performance and reducing exhaust emissions of internal combustion engines, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2020. <u>https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1722810</u>
- 3. Tina Kegl và cộng sự, Nanomaterials for Environmental Application, *Green Energy and Technology*, 2020. <u>https://doi.org/10.1007/978-3-030-54708-0</u>
- Esmail Khalife và các cộng sự, Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation, *Progress in Energy and Combustion Science*, 2017. <u>http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2016.10.001</u>
- 5. ТОРГОВЫЙ ДОМ "СПУТНИК", Руководство по экплуатацииа диэелвного двигателя R175A, R175AN, R180, R180N, 2015.
- 6. O. Behrend *, K. Ax, H. Schubert, Influence of continuous phase viscosity on emulsification by ultrasound, *Ultrasonics Sonochemistry* 7, 2000.
- 7. H. Karbstein, Untersuchungen zum Herstellen und Stabilisieren von Öl-in-Wasser-Emulsionen, Ph.D. Thesis, *University of Karlsruhe*, 1994
- 8. Praveen Anchupogu, Lakshmi Narayana Rao và Balakrishna Banavathu (2018), Effect of alumina nano additives into biodiesel-diesel blends on the combustion performance and emission characteristics of a diesel engine with exhaust gas recirculation, *Environmental Science Pollution Research*. 25, tr. 23294-23306.
- J Venkatesu Naik và K Kiran Kumar (2018), Performance and emission characteristics of diesel engines with Al2O3 and CuO nanoparticles as additives, *International Journal of Mechanical Engineering Technology*. 9(2), tr. 791-798.
- 10. Harish Venu, V Dhana Raju và Lingesan Subramani (2019), Combined effect of influence of nano additives, combustion chamber geometry and injection timing in a DI diesel engine fuelled with ternary (diesel-biodiesel-ethanol) blends, *Energy*. 174, tr. 386-406.
- 11. Kumaran Kannaiyan và Reza Sadr (2017), The effects of alumina nanoparticles as fuel additives on the spray characteristics of gas-to-liquid jet fuels, *Experimental Thermal Fluid Science*. 87, tr. 93-103.
- 12. Sundaram NS Sivakumar M, Kumar RR, Thasthagir MHS (2018), Effect of aluminium oxide nanoparticles blended pongamia methyl ester on performance, combustion and emission characteristics of diesel engine, *Renew Energy*. 116:518–526.

Testing to evaluate the effects of nano additives on the technical characteristics and emissions of diesel engines using biodiesel fuel

Abstract: This article presents the results of studying the technical features and emissions of the R180 diesel engine using a diesel/biodiesel fuel mixture using experimental methods. The fuel mixture contains 10% biodiesel (B10) by volume, supplemented with Al_2O_3 nano additive at 50, 100, and 150 ppm, respectively. Technical features and emissions of the engine are determined experimentally according to external characteristics. Experimental results show that incorporating Al_2O_3 nano additive at a low rate (50 ppm) has a small impact on the technical features and emissions of the engines of the engine. On the contrary, using higher ratios (100 ppm and 150 ppm) will lead to significant improvements in the combustion process, technical performance, and emissions of the engine. That shows the significant potential of using nano additives to improve fuel efficiency and reduce engine emissions.

Keywords: R180 engine; experiment; biodiesel; nano additive.
Ứng dụng phương pháp thử nghiệm tăng cường trong đánh giá độ bền của đĩa ma sát ly hợp chính xe xích quân sự

Mai Đức Sơn^{1*}, Tô Viết Thành¹, Cù Xuân Phong¹

¹Học Viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Thử nghiệm tăng cường là phương pháp thử nghiệm trong đó tải trọng tác động lên sản phẩm hoặc cường độ sử dụng sản phẩm được tăng cường vượt quá mức sử dụng thông thường [1]. Mục đích của thử nghiệm là nhanh chóng thu được dữ liệu, đặc tính của sản phẩm và phân tích chúng, đưa ra thông tin về tuổi thọ hoặc các thông số khác về độ tin cậy của sản phẩm trong điều kiện sử dụng bình thường. Nhờ vậy, có thể tiết kiệm rất nhiều thời gian và kinh tế. Phương pháp thử nghiệm tăng cường được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu và phát triển ở nhiều lĩnh vực, đặc biệt là ngành cơ khí chế tạo, vận tải [2]. Bài báo này trình bày một ứng dụng của thử nghiệm tăng cường trong đánh giá độ bền của đĩa ma sát ly hợp chính trên xe xích quân sự.

Từ khóa: Thử nghiệm tăng cường; độ bền; Đĩa ma sát; Ly hợp chính; xe xích quân sự.

1. Mở đầu

Độ bền của đĩa ma sát là một chỉ tiêu quan trọng để đánh giá độ tin cậy làm việc của ly hợp chính xe xích quân sự. Đó là tính chất đảm bảo thực hiện những nhiệm vụ nhất định trong điều kiện khai thác cho trước mà vẫn giữ được các chỉ tiêu khai thác trong một giới hạn xác định với quãng đường xe chạy theo yêu cầu đã đề ra [3]. Độ bền của đĩa ma sát phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: thông số hình học của bề mặt tiếp xúc, vận tốc trượt tương đối giữa các bề mặt ma sát, nhiệt độ sinh ra trên các bề mặt ma sát, độ cứng của vật liệu chế tạo... [4].

Tuy nhiên, việc đánh giá độ bền của đĩa ma sát trong điều kiện làm việc bình thường đòi hỏi phải thực hiện trong một thời gian rất dài và sử dụng nhiều mẫu thử nghiệm. Chính vì vậy, việc thực hiện thử nghiệm đánh giá độ bền theo điều kiện này, thường tốn kém và không thực tế. Phương pháp thử nghiệm tăng cường đã được phát triển để giải quyết vấn đề này: Trong đó, Sản phẩm được thử nghiệm trong một môi trường khắc nghiệt hơn nhiều so với điều kiện làm việc thực tế. Dữ liệu thu được ở mức tải trọng cao được sử dụng để dự đoán tuổi thọ của sản phẩm ở điều kiện làm việc bình thường [5, 6]. Bản chất của thử nghiệm tăng cường là dựa trên cơ chế của sự hư hỏng tích lũy. Tải trọng tác động lên sản phẩm trong suốt quá trình hoạt động gây ra xuống cấp dần dần đến khi sản phẩm hư hỏng hoàn toàn. Các cơ chế phổ biến làm suy giảm chất lượng sản phẩm được sử dụng trong các thử nghiệm tăng cường như sau [7]: Độ mỏi, độ rão, nứt gãy, mài mòn, ăn mòn/oxy hóa.

Dựa trên nguyên lý về thiệt hại tích lũy, có thể chia thử nghiệm tăng cường thành hai loại sau: Thử nghiệm tăng cường định tính, để phát hiện chế độ hư hỏng và giới hạn phá hủy của sản phẩm mà không nhằm mục đích ước lượng các tham số độ tin cậy. Thử nghiệm tăng cường định lượng, để xác định dạng phân bố hư hỏng, từ đó xác định các tham số độ tin cậy như tuổi thọ, cường độ hư hỏng, xác suất hư hỏng... của sản phẩm trong điều kiện sử dụng bình thường.

Hiện nay, phương pháp thử nghiệm tăng cường được sử dụng rất phổ biến trong nhiều lĩnh vực, điển hình như đối với ngành cơ khí: Thử nghiệm tăng cường được sử dụng với các bộ phận và cụm cơ khí như bộ phận trên ô tô, xe tăng, bộ phận thủy lực, dụng cụ cầm tay, bánh

^{*} Email: maiducson@lqdtu.edu.vn

răng, trục xoắn, đĩa ma sát. Mục tiêu thực hiện là xác định tuổi thọ và độ mài mòn. Tải trọng tiến hành tăng cường bao gồm tải trọng cơ học, dao động, nhiệt độ và các yếu tố môi trường (nhiệt độ, độ ẩm...), và sự kết hợp của các tải trọng đó. Trong bài báo này, tác giả trình bày một nghiên cứu về ứng dụng của thử nghiệm tăng cường trong đánh giá độ bền của đĩa ma sát ly hợp chính xe xích quân sự.

2. Ly hợp chính trên xe xích quân sự

Ly hợp là cơ cấu ma sát làm việc nhờ sử dụng các lực ma sát xuất hiện khi ép các bề mặt ma sát với nhau. Cơ cấu ma sát có thể làm việc ở một trạng thái (thường xuyên đóng) hoặc hai trạng thái (đóng-mở). Trạng thái ma sát có thể là ma sát khô hoặc ma sát ướt (bề mặt ma sát ngâm trong dầu). Tuy kết cấu của các cơ cấu ma sát khá đa dạng, song chúng luôn gồm các bộ phận chính sau: các tấm ma sát và cơ cấu tạo lực ép. Ngoài ra, đối với cơ cấu ma sát hai trạng thái còn có bộ phận điều khiển thực hiện tách các bề mặt ma sát (mở) hoặc ép các bề mặt ma sát (đóng). Ly hợp chính gồm 3 phần cơ bản: Phần chủ động nối với phần bị động của hộp truyền lực, phần bị động nối với trục chủ động của hộp số, cơ cấu mở dùng để điều khiển ly hợp chính.

Ly hợp chính làm việc theo nguyên lý truyền động ma sát giữa hai bề mặt tiếp xúc. Các thông số động lực học của ly hợp gồm: mô men chủ động, mô men ma sát, lực ép lên các bề mặt ma sát, mô men quán tính phần chủ động và bị động, vận tốc góc và gia tốc góc phần chủ động và bị động. Cần biểu diễn được mối quan hệ giữa các thông số đó.

Các đĩa ma sát của ly hợp làm việc trong điều kiện môi trường ma sát khô, khi chúng quay trượt sẽ sinh ra một lượng nhiệt lớn. Về mặt trị số, lượng nhiệt này có thể tính toán được thông qua công trượt của ly hợp chính. Đặc biệt là khi khởi hành xe, công trượt có thể đạt đến 100 KN.m và nhiệt độ bề mặt các đĩa ma sát đạt tới (350 ÷ 400)°C. Đây là một trong những nguyên nhân cơ bản làm cho đĩa ma sát bị mài mòn và cong vênh quá mức [1].



Hình 1. Cấu tạo ly hợp chính xe xích



Hình 2. a) Đĩa ma sát chủ động b) Đĩa ma sát bị động.

Để xác định điều kiện làm việc của đĩa ma sát ly hợp chính, sơ đồ tính toán cụm ly hợp được xác định như Hình 3. Trong đó, M_{cd} là mô men động cơ truyền lên khâu chủ động; J_{cd} và \mathcal{E}_{cd} là mô men quán tính và gia tốc phần chủ động; J_{bd} và \mathcal{E}_{bd} là mô men quán tính và gia tốc phần chủ động; J_{bd} và \mathcal{E}_{bd} là mô men quán tính và gia tốc phần bị động; M_{ms} là mô men ma sát; M_c là mô men cản quy dẫn về trục bị động của ly hợp; P là áp lực lên bề mặt ma sát.



Hình 3. Sơ đồ tính toán cụm ly hợp

Trong nghiên cứu này, chế độ làm việc được xác định ở chế độ khởi hành, tải trọng tăng cường trong thử nghiệm là mô men cản quy dẫn về trục bị động của ly hợp. Kết quả tính toán thu được mô men cản quy dẫn về trục bị động của ly hợp $M_c \approx 143$ [Nm]. Giá trị này được xác định là chế độ (mức) tải trọng trong điều kiện làm việc bình thường của xe xích.

3. Thiết lập thử nghiệm tăng cường cho đĩa ma sát

3.1. Điều kiện và chuẩn bị thí nghiệm

- Điều kiện thử nghiệm: Xác định lựa chọn các loại tải trọng; xác định các mức tải trọng tăng cường; lựa chọn số lượng mẫu thử nghiệm; xác định mô hình thử nghiệm tăng cường. Các mức tải trọng trong thử nghiệm: Đối với tất cả các dạng tải trọng, các mức tải trọng lựa chọn trong thử nghiệm không được vượt quá giá trị giới hạn phá hủy của sản phẩm hoặc tạo ra các chế độ hư hỏng ít khi xảy ra trong thực tế sử dụng (Hình 4).



Hình 4. Các mức tải trọng giới hạn

1530

Tuy nhiên, mức độ phải đủ cao để tạo ra đủ các hư hỏng hoạt động như ở chế độ tải trọng thiết kế. Ngoài ra, một mô hình thử nghiệm tăng cường cũng chỉ thường có tính chính xác trong một phạm vi tải trọng nhất định. Vì vậy, cần phải xác định và lựa chọn mức độ tải trọng ở trong phạm vi đó. Đối với nhiều loại sản phẩm, có các phương pháp thử tiêu chuẩn với tải trọng tăng cường đã được xác định. Đối với sản phẩm chưa có tiêu chuẩn kỹ thuật cho thử nghiệm, cần tiến hành nhiều thử nghiệm khác nhau để đạt được kết quả tin cậy cao. Các mức tải trọng này sẽ nằm ngoài giới hạn đặc điểm kỹ thuật của sản phẩm nhưng nằm trong giới hạn thiết kế như minh họa trên hình 4.

 Điều kiện môi trường: Khi tiến hành thử nghiệm phải đảm bảo các điều kiện môi trường sau:

+ Nhiệt độ môi trường: (10 ÷50) °C;

+ Độ ẩm tương đối: (60 ÷ 90) %RH.

- Điều kiện đảm bảo về thiết bị đo và con người

+ Thiết bị thử nghiệm đảm bảo chắc chắn, hoạt động tốt và đủ điều kiện vệ sinh, chống tĩnh điện, được nối đất tốt, bảo đảm không có tác động làm kết quả đo sai lệch quá giá trị cho phép. Phải được kiểm định và đảm bảo độ tin cậy, sai số. Các thiết bị được đặt vững chắc, ổn định nhưng không ảnh hưởng tới quá trình thử nghiệm và không bị ảnh hưởng của các yếu tố chấn động bên ngoài;

+ Người tham gia thử nghiệm, sử dụng thiết bị đo phải được đào tạo, huấn luyện thành thạo và đã được cấp chứng chỉ.

- Điều kiện về bảo đảm an toàn: Đảm bảo tuân thủ các quy định an toàn về điện và phòng chống cháy nổ cho trang thiết bị thử nghiệm và người tiến hành thử nghiệm.

- Chuẩn bị thí nghiệm

+ Bố trí, lắp đặt chắc chắn các thiết bị đo theo sơ đồ bố trí thí nghiệm: Đảm bảo lắp chắc chắn, kết nối đúng sơ đồ hướng dẫn;

+ Thực hiện chuẩn bị làm việc cho tất cả các phương tiện thử nghiệm theo thuyết minh kỹ thuật. Có đầy đủ lý lịch, tài liệu kỹ thuật đầy đủ và phụ tùng đồng bộ kèm theo.

Trong nghiên cứu này, thử nghiệm kết thúc khi tất cả các mẫu hư hỏng, do đó thời gian hư hỏng (số lần trượt của đĩa ma sát) là một biến ngẫu nhiên. Ở mỗi mức tải trọng, các mẫu thử lần lượt được đưa vào thiết bị và tiến hành chạy thử nghiệm đến khi hư hỏng. Sau khi hết 10 mẫu ở mức thấp, chuyển sang thử nghiệm các mẫu ở mức tải trọng cao hơn.

Tải trọng tăng cường được lựa chọn để tiến hành các thử nghiệm là mô men cản quy dẫn về trục bị động của ly hợp. Ba mức tải tăng cường cách đều nhau được chọn để tiến hành thử nghiệm là $\psi_1 = 180$ N.m (125%), $\psi_2 = 215$ N.m (150%), $\psi_3 = 250$ N.m (175%). Số mẫu thử nghiệm ở mỗi mức tải trọng là 10 mẫu.

STT	Mức tải	Tải (Nm)	Số lượng mẫu
1	Thấp (ψ1)	185	10
2	Trung bình (ψ_2)	215	10
3	Cao (ψ ₃)	250	10

Bảng 1. Mức tải và số lượng mẫu thử nghiệm

Để tiến hành thử nghiệm, một thiết bị thử nghiệm chuyên dụng đã được chế tạo. Thiết bị này bao gồm một động cơ điện, một bộ ly hợp chính, bánh đà, thiết bị tạo tải, hệ thống thủy lực điều khiển quá trình đóng mở ly hợp, thiết bị đo độ mòn của đĩa ma sát và bảng điều khiển (Hình 3). Thiết bị chuyên dụng hoạt động trên cơ sở mô phỏng lại một cách gần sát nhất điều kiện làm việc thực tế của ly hợp chính trên xe xích quân sự.

Đĩa ma sát được đặt vào trong ly hợp, sự chuyển động của đĩa ép được thực hiện nhờ hệ thống điều khiển bằng thủy lực. Thiết bị chuyên dụng tự động dừng khi đĩa ma sát bị hỏng (độ mòn của đĩa bằng 0,175mm [3]). Thời gian hư hỏng (tính bằng số lần đóng mở ly hợp) được thiết bị đo ghi lại.





3.3. Đánh giá kết quả thử nghiệm

Trên cơ sở kết quả thử nghiệm thu được, bước đầu tiên là xác định phân phối xác suất phù hợp nhất với dữ liệu thu được. Sử dụng phương pháp ước lượng hợp lý cực đại (MLE) [1, 8] để ước lượng các tham số của phân phối mũ, chuẩn, Weibull. Sau đó, sử dụng phương pháp

Anderson-Darling (A-D) được để kiểm tra sự phù hợp của ba phân phối xác suất đã xác định ở trên, kết quả cho thấy phân phối Weibull là phù hợp nhất với dữ liệu thu được từ thử nghiệm.

Sau khi xác định được phân bố xác suất cho dữ liệu thu được, Bước tiếp theo là xác định các tham số của mối quan hệ tuổi thọ-tải trọng phù hợp (Hình 6). Ba mô hình tuổi thọ-tải trọng thường được sử dụng trong thử nghiệm tăng cường là: Mô hình Arrhenius, mô hình Eyring và mô hình công suất nghịch đảo.



Hình 6. Mối quan hệ tuổi thọ - tải trọng

Trong nghiên cứu này, mô hình luật công suất nghịch đảo (IPL) được sử dụng để ngoại suy tham số độ tin cậy ở điều kiện hoạt động bình thường. Mô hình IPL-Weibull về mối quan hệ tuổi thọ - tải trọng được xác định bằng cách đặt $\eta = L(\psi)$ [9]:

$$\eta = L(\psi) = \frac{C}{\psi^n} \tag{1}$$

Mối quan hệ được tuyến tính hóa bằng cách lấy logarit tự nhiên của cả hai vế trong mô hình IPL-Weibull:

$$\ln(\eta) = -n \cdot \ln(\psi) + \ln(C) \tag{2}$$

Trong đó n là hệ số góc của đường thẳng, $\ln(C)$ là giao điểm của đường thẳng với trục tung.

Bước cuối cùng là phân tích, xác định tham số độ bền của đĩa ma sát ly hợp chính ở điều kiện làm việc bình thường dựa trên phân bố xác suất và mô hình tuổi thọ - tải trọng đã chọn (Hình 7, 8).



Hình 7. Các bước phân tích dữ liệu thử nghiệm tăng cường



Hình 8. Phương pháp xác định tham số độ bền ở mức tải sử dụng

4. Kết luận

Mục đích của nghiên cứu nhằm phát triển phương pháp thử nghiệm tăng cường trong đánh giá độ bền đĩa ma sát ly hợp chính trên xe xích quân sự (19 đĩa). Đây là dạng đĩa ma sát mới được phát triển và sản xuất tại Việt Nam để thay thế cho đĩa ma sát trước đây do Nga sản xuất. Các đĩa ma sát thường có độ bền cao, chính vì vậy việc sử dụng phương pháp đánh giá độ bền theo cách thông thường sẽ tốn kém và mất nhiều thời gian. Để khắc phục vấn đề này, việc áp dụng phương pháp thử nghiệm tăng cường để dự đoán độ bền của đĩa ma sát là rất cần thiết. Một thiết bị thử nghiệm đã được xây dựng trong nghiên cứu này để đánh giá độ bền của đĩa ma sát ly hợp ở ba điều kiện làm việc tăng cường. Đồng thời, bài báo cũng trình bày các bước phân tích dữ liệu thu được tử thử nghiệm qua đó đưa ra được đánh giá về tham số độ bền của đĩa ma sát ly hợp chính trên xe xích quân sự.

Tài liệu tham khảo

- 1. IEC 62506. *Methods for product accelerated testing*. IEC, 2013.
- 2. W Q Meeker, L A Escobar (1998). *Statistical methods for reliability data*. New York: Wiley.
- 3. Nguyễn Quốc Điệt, Nguyễn Hoàng Nam, Nguyễn Ngọc Ban, *Giáo trình cơ sở khai thác xe quân sự (tập 1)*, Học viện KTQS, Hà Nội, 2006.
- 4. M. Azeem Ashraf, B. Sobhi-Najafabadi, "*Numerical simulation of sliding wear for a polymerpolymer sliding contact in an automotive application*", International Journal of Advanced Manufacturing Technology,vol.41, no. 11-12, pp. 1118–1129, 2009.
- 5. Wang, X.; Ru, H. *Effect of Lubricating Phase on Microstructure and Properties of Cu–Fe Friction Materials.* Materials 2019, 12, 313.
- Liu, J.; Ma, B.; Li, H.; Chen, M.; Li, G. Control strategy optimization for a dual-clutch transmission downshift with a single slipping clutch during the torque phase. Proc. Instit. Mech. Eng. D-J. Aut. 2018, 232, 651–666.
- 7. Hobbs, G. K. Accelerated reliability engineering: HALT and HASS. Wiley, USA, 2000.
- 8. Reliasoft Corporation, *Accelerated life testing reference*, Tucson: ReliaSoft Publishing, 2007.
- 9. J. A. Williams, "Wear and wear particles some fundamentals", Tribology International,vol.38,no.10,pp.863–870,2005.

Research durability of main clutch friction discs in tracked vehicles

by accelerated testing method

Abstract: Accelerated testing is test in which the stress level, or rate of stress application, exceeds that occurring under specified operational conditions. The purpose of the test is to quickly obtain data, characteristics of products and analyze them, gives information about the service life or other parameters of the durability of the product under normal use conditions. Thus, it is possible to save a lot of time and money. Accelerated testing is widely used in various fields, especially in automotive and mechanical engineering. This article describes an application of accelerated testing in evaluating the durability of main clutch friction discs in tracked vehicles.

Keywords: Accelerated testing; durability; friction dics; clutch; tracked vehicles.

1536

Nghiên cứu thay thế động cơ xăng bằng động cơ diesel trên xe thiết giáp M113 Nguyễn Văn Tiến^{1*}, Cù Xuân Phong¹, Phạm Trung Kiên¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Hiện nay, bên cạnh việc mua sắm xe tăng chiến đấu chủ lực T-90S/SK và cải tiến xe tăng thế hệ cũ T-54B theo công nghệ Israel chuyển giao thì vấn đề nâng cao sức chiến đấu cho xe bọc thép chở quân nhằm tạo sự đồng bộ là cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao. Xe thiết giáp chở quân M-113 còn khá nhiều trong biên chế quân đội ta, do tuổi đời đã cao nên cần được nâng cấp để đáp ứng yêu cầu chiến tranh hiện đại. Mục đích của bài báo này là tính toán, lựa chọn động cơ diesel thay thế động cơ xăng nguyên bản trên xe M-113 nhằm nâng cao khả năng cơ động của xe. Đồng thời đánh giá chất lượng động lực học chuyển động của xe sau khi thay thế động cơ. Đây là cơ sở để đề xuất các giải pháp cải tiến, nâng cấp xe thiết giáp M-113 phù hợp với điều kiện và mục đích sử dụng của quân đội ta.

Từ khoá: M-113; động cơ; hệ thống truyền lực thuỷ cơ; hộp số hành tinh

1. Đặt vấn đề

Xe M-113 là xe chiến đấu bộ binh, bọc thép, bánh xích, có hoả lực mạnh, vỏ giáp bằng hợp kim nhôm đặc biệt, có tính cơ động cao, được sử dụng trong chiến đấu hiệp đồng binh chủng của quân đội. Kíp xe có 2 người (một lái xe và một chỉ huy) được dùng để chuyên chở 11 bộ binh với đầy đủ trang bị hoặc chuyên chở hàng hoá, thương binh trong khoang chứa hàng. Vũ khí chính là súng M50 (tương đương với súng 12,7mm) và 2 súng máy M30 (tương đương súng 7,62mm) [1]. Hiện nay, để tiếp tục sử dụng xe M-113 quân đội các nước đã chi một số ngân sách lớn cho việc cải tiến, nâng cấp xe thiết giáp M-113, trong đó tập trung chủ yếu vào nâng cấp hệ thống hỏa lực, khả năng cơ động và khả năng bảo vệ của xe.



Hình 1. Xe thiết giáp chở quân M-113

Đối với xe M-113 thu hồi được trong chiến tranh của quân đội ta, phần lớn là xe M-113 thế hệ đầu tiên, sử dụng động cơ xăng 75MV8 có công suất 215 mã lực và HTTL thủy cơ một dòng công suất được đặt ở góc bên phải phía trước thân xe (Hình 2). Động cơ xăng 75M-V8 nguyên bản trên xe M-113 đã trở nên lỗi thời, nhiều cụm chi tiết đã xuống cấp, vật tư thay thế, sửa chữa

^{*} Email: tienpk152@gmail.com

khan hiếm, không còn đáp ứng đầy đủ yêu cầu bảo dưỡng, sửa chữa, khai thác trong tình hình mới. Do đó, việc nghiên cứu thay thế động cơ này trên xe M-113 là hết sức cần thiết. Mục tiêu của báo này là trình bày phương án thay thế động cơ 75M-V8 bằng động cơ MTU 6R 106 TD20 do Đức sản xuất và tiến hành đánh giá chất lượng động lực học của xe sau khi thay thế động cơ.



Hình 2. Hệ thống động truyền lực trên xe M-113 1. Động cơ; 2. Hộp truyền lực; 3. Hộp số thuỷ cơ; 4,5. Truyền động các đăng;

6. Cơ cấu quay vòng vi sai; 7. Truyền động cạnh; 8. Bánh chủ động

2. Tính toán lựa chọn động cơ thay thế

Việc tính toán lựa chọn động cơ xuất phát từ yêu cầu đảm bảo vận tốc lớn nhất của xe M-113 nguyên bản. Đây là vận tốc đạt được khi xe chạy trên đường tốt, nghĩa là hệ số cản f_c nhỏ, độ dốc không cao. Các yếu tố đó được đặc trưng bởi hệ số cản chuyển động tổng cộng f_{cmin}, và bằng [2]:

$$f_{cmin} = f + i \tag{1}$$

Trong đó: i- độ dốc của đường, được tính bằng tỷ số giữa chiều cao của dốc với hình chiếu của đoạn đường xem xét trên mặt phẳng nằm ngang. Thông thường trong thiết kế xe xích quân sự, các hệ số này nằm trong khoảng $f = 0,015 \div 0,025$ và I = 0,025. Từ đó hệ số cản chuyển động tổng cộng khi xe xích quân sự đạt vận tốc lớn nhất là [2]:

$$f_{cmin} = 0.04 \div 0.05$$

Giá trị lực kéo đơn vị f_đ khi xe chuyển động đều sẽ cân bằng với hệ số cản chuyển động tổng cộng f_c. Từ đó xác định được công suất tự do cực đại đảm bảo cho xe xích quân sự đạt đến vận tốc lớn nhất trong điều kiện đã cho là:

$$N_{dcN} = \frac{f_{cmin} G V_m}{\eta_t}$$

$$\eta_t = \eta_{tl} \cdot \eta_{yh}$$
(2)

Trong đó: η_{tl} - Hiệu suất của hệ thống truyền lực; η_v - Hiệu suất của hệ thống vận hành

Trong các kết cấu xe xích quân sự đã có thì hiệu suất của các hệ thống truyền này ở số cao nhất nằm trong khoảng $\eta_{tl} = 0.86 \div 0.92$ [3].

Hiệu suất của phần vận hành, có thể tính theo công thức:

$$\eta_{vh} = \frac{0,95.f_{cmin}}{f_{cmin} + 0,025 + 0,000003 v_m^2}$$
(3)

Từ tính năng chiến kỹ thuật của xe M-113, vận tốc lớn nhất yêu cầu $v_m = 68$ km/h. Thay vào các công thức (1), (2), (3), thu được: $N_{dcN} = 167$ kW.

Công suất lớn nhất của động cơ cần thiết để đảm bảo cho xe xích quân sự chuyển động với vận tốc lớn nhất vm đặt ra:

$$N_{e\max} = \frac{N_{dcN}}{\eta_{dlN}} \tag{4}$$

Theo kết cấu xe M-113, với hệ thống làm mát động cơ bằng quạt gió thì giá trị η_{dlN} có thể lấy trong khoảng $\eta_{dlN} = 0.85 \div 0.88$. Chọn $\eta_{dlN} = 0.86$, từ đó $N_{emax} = 194$ kW.

Căn cứ vào công suất lớn nhất của động cơ, kích thước của động cơ mới phù hợp với khoang động truyền lực của xe và catalog động cơ MTU đã có, nghiên cứu này lựa chọn động cơ diesel MTU 6R 106 TD20 thay thế cho động cơ xăng nguyên bản. Các thông số của động cơ mới và so sánh với động cơ nguyên bản được thể hiện trong Bảng 1.

Bång1. Thông số kỹ thuật động cơ diesel MTU 6R 106 TD20 và động cơ xăng 75M-V8

Thông số	Động cơ MTU 6R 106 TD20	Động cơ Xăng 75M-V8
Kiểu động cơ	Diezel, 4 kỳ	Diezel, 4 kỳ, tăng áp
Số lượng, bố trí xi lanh	6, chữ I	8, chữ V
Công suất lớn nhất (KW)	205	158
Trọng lượng khô (kg)	530	836
Kích thước bao của động cơ (mm) LxWxH	1053x666x898	1006 x737 x686
Mô men xoắn lớn nhất (N.m)	1100	460
Số vòng quay ở công suất lớn nhất (vòng/phút)	2200	4000
Số vòng quay lớn nhất (vòng/phút)	2400	4200
Số vòng quay nhỏ nhất (vòng/phút)	600	600



Hình 2. Động cơ diesel MTU 6R 106 TD20

Do động cơ MTU 6R 106 TD20 là động cơ diesel có công suất lớn nhất 220kW ở tốc độ vòng quay 2200 vòng/phút, vì vậy để phù hợp với hệ thống truyền lực cũ của xe M-113, cần cải tiến hộp truyền lực trung gian, bằng cách thay đổi tỉ số truyền của cặp bánh răng trong hộp truyền lực cũ. Kích thước hộp truyền lực không thay đổi, vì vậy vẫn đảm bảo khả năng lấp đặt vào trong xe M-113 nguyên bản.

Để tính tỉ số truyền mới ta áp dụng công thức [4]:

$$i_{2} = i_{1} \frac{n_{eN2}}{n_{eN1}} \sqrt[3]{\frac{N_{e1\max}}{N_{e2\max}}}$$
(5)

Trong đó: i₁, n_{eN1}, N_{emax1} - tỉ số truyền của hộp truyền lực, vòng quay, công suất lớn nhất của xe M-113 động cơ xăng; i₂, n_{eN2}, N_{emax2} - tỉ số truyền của hộp truyền lực, vòng quay, công suất lớn nhất của xe M-113 động cơ diesel.

Thay số vào thu được:

$$i_2 = 1.\frac{2200}{4000}.\sqrt[3]{\frac{158}{205}} = 0,50$$

3. Khảo sát khả năng kéo chuyển động thẳng của xe M-113 sau khi thay thế động cơ

Do động cơ diesel MTU 6R 106 TD20 và động cơ xăng 75M-V8 có công suất, mô men xoắn và tốc độ vòng quay khác nhau, vì vậy cần phải khảo sát động lực học chuyển động thẳng của xe. Bài báo sử dụng phần mềm Matlab để hỗ trợ việc tính toán. Các bước chính khảo sát động lực học chuyển động thẳng của xe bao gồm: xây dựng đặc tính ngoài và đặc tính quy dẫn của động cơ; xây dựng đặc tính không thứ nguyên của biến mô men thủy lực; xây dựng đặc tính giữa động cơ và biến mô men thủy lực (đặc tính đầu ra của biến mô men thủy lực); xây dựng đặc tính kéo chuyển động thẳng của xe.



Đặc tính ngoài động cơ được cung cấp bởi nhà sản xuất khi tính đến các tổn hao của các thiết bị động lực thể hiện trên Hình 4.

Hình 4. Đặc tính ngoài động cơ MTU 6R 106 TD20

Từ đường đặc tính M_d , có thể xây dựng đường cong biểu thị sự phụ thuộc của hệ số mô men của động cơ λ_d và số vòng quay n_e. Hệ số mô men động cơ được tính theo công thức [6]:

$$\lambda_d = \frac{M_d}{n_a^2 \cdot D^5}$$

Trong đó: D - Đường kính của bộ biến mô men thuỷ lực, D = 0,332m



Hình 5. Đặc tính quy dẫn động cơ MTU 6R 106 TD20

Đặc tính không thứ nguyên của bộ biến mô men biểu thị mối liên hệ giữa λ_b (hoặc $\gamma\lambda_b$), λ_{tb} (hoặc $\gamma\lambda_{tb}$) và hiệu suất η_{thl} của bộ truyền thuỷ lực với tỷ số truyền tốc độ nghịch đảo i'_{thl} . Với biến mô men thủy lực trên xe M-113, kết quả xây dựng đặc tính không thứ nguyên được thể hiện trên hình.

Để xây dựng đặc tính phối hợp làm việc chung, đặt đường đặc tính không thứ nguyên của BMT và đặc tính quy dẫn của động cơ $\gamma \lambda_d$ về trục bánh bơm đã xây dựng ở trên, sao cho trục

hoành của chúng nằm trên cùng một đường thẳng, các đường cong hệ số mô men bánh tuabin $\gamma\lambda_t$, hệ số mô men bánh bơm $\gamma\lambda_b$ và $\gamma\lambda_d$ có cùng tỷ lệ xích (hình). Ứng với giá trị tỉ số truyền thủy lực cho trước, ta xác định được $\gamma\lambda_t$, $\gamma\lambda_b$ tương ứng, đồng thời với giá trị của $\gamma\lambda_b$ gióng các đường song song với trục hoành sang đồ thị đặc tính quy dẫn của động cơ cắt các đường cong $\gamma\lambda_d$ (cho giá trị $\gamma\lambda_b = \gamma\lambda_d$). Từ các giá trị này (trên đường $\gamma\lambda_d$) ta xác định được giá trị của n_d tương ứng. Khi biết tốc độ vòng quay động cơ n_d, giá trị tốc độ vòng quay bánh bơm n_b theo công thức:

$$n_{b} = \frac{n_{d}}{i_{v}}$$

Tốc độ của bánh tua bin: $n_t = n_b.i_{tl}$

 i_{tl} - tỷ số truyền tốc độ BMT.Khi đó mô men đầu ra (mô men trên bánh tua bin) được xác định theo công thức: $M_T = \gamma \lambda_t n_t^2 .D^5$. Sử dụng phép nội suy chương trình cho kết quả đặc tính đầu ra BMT như Hình 7.



Hình 6. Đặc tính không thứ nguyên và đặc tính quy dẫn động cơ MTU 6R 106 TD20



Hình 7. Đặc tính đầu ra của BMMTL

Vận tốc chuyển động thẳng của xe được tính theo công thức [7]:

$$v = 0,377 r_{cd} . n_d \frac{1}{i_{thc}}$$
 (m/s)

Trong đó: r_{cd} là bán kính của bánh sao chủ động, n_{tb} là số vòng quay của bánh tuabin, i_{tc} là tỷ số truyền tổng cộng của các cụm cơ khí nằm giữa bánh tuabin và bánh sao chủ động.

$$i_{thc} = i_{hsk}$$
. i_{qv} . i_c

 i_{hsk} là tỷ số truyền của hộp số tương ứng với từng tay số k, i_{qv} là tỷ số truyền của cơ cấu quay vòng $i_{qv} = 1,28$, i_c là tỷ số truyền của truyền lực cạnh $i_c = 3,93$.

Lực kéo đơn vị trên các dải xích được xác định theo công thức [7]:

$$f_{d} = \frac{M_{tb}.\hat{i}_{thc}.\eta_{x}}{G.r_{cd}}$$

Kết quả tính toán ta được đồ thị thể hiện đặc tính kéo của xe M-113 sử dụng động cơ diesel MTU 6R 106 TD20 như Hình 8.



Hình 8. Đặc tính kéo xe M-113 động cơ diesel MTU 6R 106 TD20

Đánh giá: Kết quả khảo sát động lực học khi thay thế động cơ xăng 75M-V8 bằng động cơ Diesel MTU 6R 106 TD20 cho thấy sự thay đổi về vận tốc tối đa, lực kéo đơn vị và góc vượt dốc lớn nhất của xe M-113. Cụ thể được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. So sánh chất thông số đánh giá chất lượng động học khi xe sử dụng động cơ diesel MTU 6R 106 TD20 và động cơ xăng 75M-V8

Thông số xe	Động cơ diesel MTU 6R 106 TD20	Động cơ xăng 75M-V8
Vận tốc lớn nhất (km/h)	82,7	68
Lực kéo đơn vị lớn nhất	0,737	0,56
Góc vượt dốc lớn nhất (°)	34	30

4. Kết luận

Bài báo này đã tính toán lựa chọn động cơ diesel MTU 6R 106 TD20 thay thế cho động cơ xăng 75M-V8 trên xe thiết giáp M-113, đồng thời khảo sát chất lượng động lực học chuyển động thẳng của xe thiết giáp M-113 sau khi thay thế động cơ. Kết quả cho thấy vận tốc lớn nhất Vmax = 82,7 km/h, lực kéo đơn vị f_{dmax} = 0,737, góc vượt dốc lớn nhất 34⁰ đảm bảo và tốt hơn xe nguyên bản.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1. Bộ tư lệnh Tăng thiết giáp (1999), Hướng dẫn sử dụng xe thiết giáp M-113.
- Lê Trung Dũng, Nguyễn Minh Tân, Cù Xuân Phong (2023). Lý thuyết xe xích quân sự, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- Nguyễn Văn Luận, Lê Kỳ Nam (1999). Kết cấu và tính toán xe tăng-thiết giáp, phần 2 Hệ thống truyền lực, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- 4. Vasiliev V.V., Poklad M.P., Seryakov O.A. (2006). Lý thuyết chuyển động và động lực học của xe xích đa năng, Matxcova.
- 5. Laptev Yu.N.(1973). Bộ chuyển đổi mô-men xoắn tự động, Mashinostroenie.
- 6. Lại Văn Định, Vy Hữu Thành (1996). *Kết cấu và tính toán động cơ đốt trong*, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- 7. J.Y. Wong, John Wiley & Sons (2022). *Theory of ground vehicles*.

Research on replacing gasoline engine with diesel engine in M-113 armored vehicles

Abstract: Currently, alongside the procurement of main battle tanks T-90S/SK and the upgrade of older generation T-54B tanks using Israeli technology transfer, enhancing the combat capability of armored personnel carriers to ensure synchronization is necessary, both scientifically and practically significant. The M-113 armored personnel carrier remains prevalent in our military inventory, but due to its age, upgrades are required to meet modern warfare demands. The purpose of this paper is to calculate and select a diesel engine to replace the original gasoline engine in the M-113 vehicle to enhance its mobility. Additionally, it evaluates the dynamic quality of the vehicle's propulsion system after the engine replacement. This serves as a basis for proposing improvements and upgrades to the M-113 armored personnel carrier to better suit the conditions and purposes of our military.

Keywords: M-113 engine; hydro-mechanical power transmission system; planetary gearbox.

Thiết kế, chế tạo hệ thống thí nghiệm điều khiển vòi phun xăng điện tử Nguyễn Thế Uy^{1*}, Phạm Xuân Phương¹, Nguyễn Minh Huệ¹, Phùng Văn Được¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Thời điểm đóng mở các vòi phun được điều khiển bởi bộ điều khiển động cơ (ECU) dựa trên bộ vi xử lý tích hợp. ECU của mỗi động cơ được lập trình sẵn, không thể thay đổi các thông số điều khiển. Mục đích của nghiên cứu này nhằm xây dựng một hệ thống thí nghiệm để điều khiển vòi phun xăng điện tử thông qua máy tính bằng cách cung cấp cho vòi phun các xung điện áp và theo dõi thông số như: áp suất phun, thời gian phun, lượng nhiên liệu cung cấp cho 1 chu trình (g_{ct}). Kết quả nghiên cứu có thể sử dụng cho việc nghiên cứu phát triển hệ thống phun bao gồm việc xây dựng quy luật cung cấp nhiên liệu, xác định cấu trúc tia phun cho các vòi phun sử dụng các loại nhiên liệu khác nhau.

Từ khoá: Xung điện; xung phun; thời gian dừng; vòi phun điện tử.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, một số cơ sở đào tạo đã thiết kế, xây dựng các mô hình hệ thống phun xăng điện tử để phục vụ cho công tác học tập, nghiên cứu. Tùy theo nhu cầu của các cơ sở đào tạo mà có các mô hình tương ứng phù hợp các trình độ đào tạo từ sơ cấp, trung cấp nghề, cao đẳng và đại học. Tất các các mô hình được xây dựng chủ yếu theo nhóm học cụ, mô hình tháo lắp, mô hình hoạt động, sửa chữa và đo kiểm. Các mô hình động cơ phun xăng hướng dẫn học viên thực hành tháo lắp bảo dưỡng, kiểm tra hư hỏng, nắm được nguyên lý hoạt động [5].

Để phục vụ giảng dạy hệ thống phun xăng điện tử thì có hai loại mô hình (mô hình động cơ phun xăng điện tử để nguyên, mô hình hệ thống phun xăng điện tử tháo rời) được sử dụng rộng rãi. Mô hình động cơ phun xăng điện tử để nguyên thường sử dụng động cơ nguyên bản của ô tô lắp đặt lên giá đỡ có thể di chuyển. Mô hình hệ thống phun xăng điện tử tháo rời thường được sử dụng trong các bộ phận của hệ thống cung cấp nhiên liệu phun xăng điện tử của động cơ tháo rời lắp trên sa bàn có thể di chuyển được.

Ưu điểm của hai loại mô hình này trực quan giúp sinh viên hiểu được nguyên lý hoạt động, thực hành đấu nối làm quen với sơ đồ mạch điện dễ dàng hơn. Tuy nhiên nhược điểm đó là không quan sát được chế độ làm việc của các thiết bị điện tử (các cảm biến, cơ cấu chấp hành và bộ vi xử lý), mô hình rời nên các chế độ làm việc khi chạy xe không tương ứng với các hoạt động trên mô hình và cũng không thể can thiệp vào các thông số điều khiển trên ECU [10]. Do vậy, các mô hình chủ yếu giúp sinh viên nhận diện kết cấu, nguyên lý làm việc và thực hành tháo lắp. Việc điều khiển các chế độ làm việc thông qua máy tính cũng như việc xác định đặc tính của vòi phun có sẵn thì vẫn chưa thực hiện được. Vì vậy, việc thiết kế một hệ thống ChO phép điều khiển xung điện áp cung cấp cho các vòi phun xăng điện tử thông qua máy tính là rất cần thiết, với một số tính năng như:

- Có thể thay đổi áp suất nhiên liệu từ $2 \div 5 \text{ kg/cm}^2$.
- Xác định được lưu lượng nhiên liệu phun.
- Có thể thay đổi tốc độ và thời gian cấp xung điện điều khiển.

^{*} Email: nguyentheuy121997@gmail.com

Với thiết bị này giúp cho chúng ta có thể kiểm tra tình trạng kỹ thuật của vòi phun, xây dựng bản đồ lượng nhiên liệu cung cấp của vòi phun ở các chế độ làm việc khác nhau, xác định cấu trúc tia phun cho các vòi phun sử dụng các loại nhiên liệu khác nhau.

2. Thiết kế hệ thống điều khiển vòi phun xăng

Mô hình trên có thể chia thành 3 nhóm chính (mô hình hệ thống phun xăng, bộ giao tiếp máy tính với mô hình, phần mềm cung cấp và hiển thị thông số điều khiển). Trong bài báo tác giả sử dụng vi điều khiển Arduino Uno R3, module MOSFET 4 kênh kết hợp với các điện trở và Diode. Sơ đồ nguyên lý hệ thống điều khiển vòi phun xăng được trình bày trên Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống điều khiển vòi phun xăng

1. Bình xăng; 2. Bơm nhiên liệu; 3. Đồng hồ đo áp suất; 4. Ông gom nhiên liệu; 5. Vòi phun; 6. Bộ điều áp; 7. Bộ nguồn 12V DC; 8. Bộ khuếch đại tín hiệu; 9. Máy tính.

2.1. Thiết kế, chế tạo bộ khuếch đại tín hiệu điều khiển vòi phun

Để điều khiển vòi phun từ mô hình phun xăng thông qua máy tính ta cần một bộ giao tiếp có khả năng đưa từ ngôn ngữ lập trình Labview NI trở thành tín hiệu điện áp với biên độ 12V. Do vòi phun sử dụng nguồn điện một chiều 12V, trong khi tín hiệu điều khiển từ vi điều khiển Arduino là 5V. Do đó, không thể đưa trực tiếp tín hiệu điều khiển từ vi điều khiển Arduino vào vòi phun mà phải thông qua một Relay, tín hiệu từ Arduino sẽ điều khiển Relay đóng ngắt dòng điện từ ắc quy 12V chuyền đến vòi phun.

Sơ đồ bộ khuếch đại tín hiệu điều khiển vòi phun được thiết kế dựa trên phần mềm Proteus. Chương trình sau khi được nạp vào Arduino, nó sẽ cung cấp tín hiệu điều khiển dưới dạng số thông qua các chân Digital 3, 6, 9, 11. Tín hiệu đi qua các điện trở (R1, R2, R3, R4) bị giảm áp đến các Mosfet (FET1, FET2, FET3, FET4) làm cho Mosfet đóng hoặc ngắt dòng điện 12V từ ắc quy đến vòi phun (IN1, IN2, IN3, IN4). Diode (D1, D2, D3, D4) có tác dụng bảo vệ quá áp cho các vòi phun.





Hình 2. Sơ đồ mạch khuếch đại tín hiệu điều khiển vòi phun

Bộ khuếch đại tín hiệu điều khiển vòi phun sau chế tạo:



Hình 3. Bộ khuếch đại tín hiệu điều khiển vòi phun

Bộ khuếch đại tín hiệu điều khiển vòi phun sau khi hoàn thành được bố trí vào một hộp mạch chuyên dụng. Trên hộp được bố trí 1 rack cắm đầu vào và rack cắm 4 đầu ra đến các vòi phun, đầu vào là nguồn điện 1 chiều 12V được lấy từ bộ biến áp chuyển đổi nguồn điện xoay chiều có điện áp 220V thành nguồn điện 1 chiều 12V.

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Số kênh điều khiển vòi phun		4
2	Điện áp đầu vào (từ bộ biến áp)	VDC	12
3	Điện áp đầu ra (tới các vòi phun)	VDC	12
4	Điện áp điều khiển	VDC	3 ÷ 5
5	Loại vòi phun		Vòi phun điện trở cao (>10 Ω)

Bảng 1. Thông số kỹ thuật bộ khuếch đại tín hiệu

Thông số các thành phần chính:

- Mạch vi điều khiển Arduino Uno R3: Đặc điểm nổi bật của các mạch Arduino là môi trường phát triển ứng dụng vi điều khiển cực kỳ dễ sử dụng, với một ngữ lập trình C có thể tiếp cận nhanh chóng ngay cả với những người ít am hiểu về lập trình. Arduino Uno R3 sử dụng chip Atmega 328. Nó có 14 chân digital I/O, 6 chân đầu vào analog, thạch anh dao động 16Mhz [11]. Các thông số chính của Arduino Uno R3 được trình bày trên Bảng 2.



Hình 4. Mạch Arduino Uno R3 Bảng 2. Thông số kỹ thuật của Arduino Uno R3 [11]

Thông số	Giá trị
Vi điều khiển	Atmega328
Điện áp hoạt động	5 V
Điện áp vào khuyên dùng	7 - 12 V
Điện áp vào giới hạn	6 – 20 V
Digital/Opin	14 chân (0 - 13)
Analog input pins	6 chân (A0 - A5)
Cường độ dòng điện trên mỗi I/O pin	20 mA
Cường độ dòng điện trên mỗi 3,3 V pin	50 mA

Thông số	Giá trị
Flash Memory	32KB
SRAM	2KB
EEPROM	1 KB
Tốc độ	16 MHz

- Module mosfet: Mosfet có khả năng đóng nhanh với các dòng điện và điện áp khá lớn. Chính vì thế nó được sử dụng phổ biến trong các bộ dao động tạo ra từ trường. Do đóng cắt nhanh làm cho dòng điện biến thiên nên Mosfet thường thấy trong các bộ nguồn xung và cách mạch điều khiển điện áp cao. Để làm bộ nguồn xung cho 4 vòi phun, ta sử dụng module mosfet 4 kênh dựa trên mosfet F5305S, đầu vào và đầu ra được cách ly hoàn toàn. Nó có khả năng chuyển đổi tải DC lên đến 20A, do đó có thể đóng ngắt dòng điện 12V từ ắc quy bằng tín hiệu điều khiển Arduino.

2.2. Thiết kế phần mềm điều khiển mô hình trên LabVIEW

Arduino được lập trình để nhận tín hiệu từ LabVIEW để xuất tín hiệu điều khiển module MOSFET 4 kênh. Máy tính sử dụng chức năng giao tiếp Serial để giao tiếp với Arduino. Máy tính sẽ mở cổng COM sau đó các nội dung trong output buffer của Arduino sẽ được truyền qua máy tính và lưu ở input buffer. Máy tính đọc những dòng đó rồi quy ra lệnh điều khiển (Serial Command).

- Giao diện dạng sơ đồ khối (Block diagram)

Để điều khiển vòi phun trên mô hình thực tế, tác giả xây dựng chương trình dạng sơ đồ khối. Sơ đồ được xây dựng bao gồm các khối chính: Khối VISA, Open, Close, Case Structure, Formula node, Elapsed Time, Waveform Chart và vòng lặp While loop. Biểu tượng và chức năng của các khối cụ thể như sau:



Hình 5. Sơ đồ khối (Block diagram) điều khiển vòi phun

- Giao diện người sử dụng (Front panel)

Giao diện người dùng trên Front panel được chia làm 2 phần: phần thứ nhất là biểu đồ dạng xung biểu diễn xung điện áp điều khiển 4 vòi phun mô tả hình dáng và biên độ của xung điện, phần thứ 2 biểu diễn các thông số của xung điện áp (thời gian cấp điện và thời gian dừng) và giá trị tốc độ đầu vào. Ngoài ra, còn có các đèn báo giúp hiển thị thứ tự phun của các vòi phun.



Hình 6. Giao diện Front panel

3. Thực nghiệm điều khiển vòi phun xăng

Sau khi chế tạo, tác giả đã tiến hành các thực nghiệm điều khiển vòi phun xăng điện trở cao của động cơ Toyota 7K-E, đồng thời kết hợp với máy hiện sóng chuyên dụng Metrix OX 530 để kiểm tra dạng xung tín hiệu do bộ điều khiển vòi phun trên hệ thống phát ra và hiển thị các tín hiệu điều khiển vòi phun xăng từ ECU trên động cơ thực tế. Thực nghiệm được tiến hành với nhiều chế độ tốc độ và tải khác nhau.

Kết quả kiểm tra tín hiệu điều khiển vòi phun phát ra từ ECU của động cơ Toyota 7K-E được đo trên 2 cực của vòi phun được thể hiện trên Hình 7.



Hình 7. Tín hiệu điều khiển vòi phun từ ECU của động cơ Toyota 7K-E

Kết quả kiểm tra tín hiệu điều khiển vòi phun phát ra từ mô hình điều khiển vòi phun được đo trên 2 cực của vòi phun được thể hiện trên Hình 8.

Hình 8. Tín hiệu điều khiển vòi phun từ mô hình điều khiển vòi phun

Từ những kết quả thu được trên máy hiện sóng, có thể thấy mô hình điều khiển vòi phun xăng đã được thiết kế cho ra tín hiệu tương tự ECU của động cơ thực tế. Do đó, đáp ứng được mục tiêu đã đặt ra là xây dựng được một hệ thống thí nghiệm để điều khiển vòi phun xăng điện tử thông qua máy tính bằng cách cung cấp cho vòi phun các xung điện áp tương tự như tín hiệu điều khiển từ ECU mà có khả năng điều chỉnh được tốc độ và thời gian cấp xung.

4. Kết luận

Sau quá trình nghiên cứu, thiết kế, chế tạo mô hình hệ thống điều khiển vòi phun xăng, tiến hành thử nghiệm trên vòi phun mẫu, ta rút ra một số kết luận như sau:

- Đã thiết kế và xây dựng thành công mô hình hệ thống điều khiển vòi phun xăng cho loại vòi phun điện trở cao. Hệ thống có thể điều khiển thời cấp điện, thời gian dừng, số lần phun trong một chu kỳ theo ý định của người sử dụng;

- Các xung tín hiệu do máy tính phát ra tương tự với dạng xung của ECU thực tế cấp cho vòi phun;

- Mô hình hệ thống điều khiển vòi phun có phân hệ điều khiển mở cho phép nghiên cứu các quá trình vật lý xảy ra trong quá trình phun. Các thông số có thể đo thực nghiệm bao gồm: thời gian phun, lượng nhiên liệu cung cấp cho 1 chu trình (g_{ct}), cấu trúc tia phun.

- Mô hình thực nghiệm có thể sử dụng cho việc nghiên cứu các loại nhiên liệu, các loại vòi phun xăng điện trở cao khác nhau và xây dựng bản đồ lượng nhiên liệu cung cấp của vòi phun theo các chế độ làm việc.

Để nâng cao hiệu quả của mô hình, hướng phát triển trong thời gian tới là:

- Bổ sung phương án điều khiển vòi phun điện trở thấp, vòi phun Piezo;
- Xây dựng chương trình điều khiển phun nhiều giai đoạn trong một chu trình;
- Thay đồng hồ đo áp suất cơ học bằng cảm biến áp suất để tăng độ chính xác cho hệ thống.

Tài liệu tham khảo

- 1. Hà Quang Minh, Nguyễn Hoàng Vũ (2010). *Phun nhiên liệu điều khiển điện tử trên động cơ đốt trong*, Giáo trình cao học, NXB Quân đội nhân dân, Hà Nội.
- Hà Quang Phúc, Phạm Quang Huy (2021). Tự động hóa với cơ điện tử, NXB thanh niên, Hồ Chí Minh.
- Nguyễn Hoàng Vũ. Nghiên cứu, chế tạo thử nghiệm ECU phù hợp cho việc sử dụng nhiên liệu diesel sinh học biodiesel với các mức pha trộn khác nhau", Thuyết minh Đề tài NCKH & PTCN cấp quốc gia, mã số ĐT.08.14/NLSH (thuộc Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025).
- 4. Nguyễn Xuân Đạt, Nguyễn Hoàng Vũ, Phạm Xuân Phương (2020). Nghiên cứu mối liên hệ giữa xung điện điều khiển, xung phun và thời gian dừng trong kỹ thuật phun chính nhiều giai đoạn, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật.
- 5. Phạm Hữu Tuyến (2017). Nghiên cứu thiết kế và chế tạo hệ thống phun nhiên liệu điện tử cung cấp xăng sinh học có tỷ lệ cồn ethanol tới 100% (E100) cho động cơ ô tô và xe máy sử dụng nhiên liệu linh hoạt, Báo cáo tổng kết đề tài NCKH & PTCN cấp quốc gia, ĐT.09.2014/NLSH (thuộc Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025).
- 6. Krzysztof Wieclawski, Jedrzej Maczak, Krzysztof Szczurowski (2020). *Electric current waveform of the injector as a source of diagnostic information*", Warsaw University of Technology.
- 7. Milan Sebok, Jozef Jurcik, Miroslav Gutten, Daniel Korenciak, Jerzy Roj, Pawel Zukowski (2015). *Diagnostics and measurement of the gasoline engines injection system*, Przeglqd Elektrotechniczny.
- 8. Vyacheslav Gilimyanovich Kamaltdinov, Yury Vladimirovich Rozhdestvensky, Igor Olegovich Lysov (2016). *Experimental Investigations of the effects of electric control impulse on injection characteristics of common rail type injector*, Indian Journal of Science and Technology.
- 9. Q. R. Farooqi, B. Snyder and S. Anwar (2023). *Real time monitoring of diesel engine injector waveforms for accurate fuel metering and control*, Journal of Control Science and Engineering.
- 10. B. Prem Anand and C. G. Saravanan (2012). *Virtual instrumentation for real time measurement of fuel consumption in EFI gasoline engine*, International Journal of Electronics Communication and Computer Engineering.
- 11. https://www.arduino.cc/

Design and manufacture of an electronic fuel injector control test system

Abstract: The opening and closing timing of the nozzles is controlled by the engine control unit (ECU) based on an integrated microprocessor. Each engine's ECU is pre-programmed, control parameters cannot be changed. The purpose of this research is to develop an experimental system to control electronic fuel injectors via a computer by providing the injectors with voltage pulses and monitoring parameters such as injection pressure, injection time, and fuel supply per cycle (gct). The research results can be used for research and development of injection systems, including developing fuel supply rules and determining spray structure for injectors using different fuel types.

Keywords: Energizing time; injection time; dwell time; solenoid injector.

Tính toán tham số cơ bản phục vụ thiết kế đầu tự dẫn tên lửa radar chủ động

Nguyễn Kim Giáp^{1*}, Doãn Văn Minh¹

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự *Email: tlpkk@gmail.com; Tel:0329077514

Tóm tắt

Nội dung bài báo tập trung vào việc nghiên cứu và đề xuất phương pháp tính toán các tham số cơ bản của đầu tự dẫn tên lửa như nắp chụp, anten, thiết bị thu phát của đầu tự dẫn sử dụng hệ thống radar chủ động. Quá trình tính toán các tham số này đã kết hợp giữa mô phỏng máy tính đồng thời đề xuất phương pháp đánh giá khả năng chống nhiễu radar chủ động được tích hợp trên đầu tự dẫn tên lửa. Các phương pháp này giúp xác định và đánh giá hiệu suất của hệ thống radar chủ động và khả năng chống nhiễu nó được trang bị trên tên lửa. Kết quả nghiên cứu và phương pháp tính toán, đánh giá được trình bày trong bài báo này cung cấp một cơ sở cho việc thiết kế hệ thống radar chủ động trong các ứng dụng tên lửa tự dẫn.

Từ khóa: Nắp chụp; anten; tên lửa; đầu tự dẫn tên lửa; radar chủ động; đánh giá hiệu suất.

1. Đặt vấn đề

Sự ru việt của đầu tự dẫn trong quá trình dẫn tên lửa giai đoạn cuối đã được chứng minh từ những năm 1960. Ba cấu hình cơ bản, bao gồm đầu tự dẫn radar bán chủ động, chủ động thụ động, đã được áp dụng trong các loại đầu tự dẫn khác nhau. Tuy nhiên, đầu tự dẫn radar chủ động là phổ biến nhất trong tất cả các chương trình tên lửa hiện tại do tính linh hoạt trong thiết kế và phù hợp với hầu hết các yêu cầu nhiệm vụ. Điều này chủ yếu do sự lựa chọn thiết kế dạng sóng, tối ưu hóa bộ nhận và khả năng thích ứng và linh hoạt được cung cấp bởi các kỹ thuật xử lý tín hiệu số đang được áp dụng. Việc tính toán các tham số của đầu tự dẫn radar chủ động bài báo này đề cập đến quy trình tính toán các tham số của đầu tự dẫn radar chủ động trong dửa ra cách thức đánh giá hiệu suất của đầu tự dẫn radar chủ động. Hình 1 dưới đây cho thấy sơ đồ khối của đầu tự dẫn tên lửa radar chủ động.



Hình 1. Sơ đồ khối đơn giản của đầu tự dẫn tên lửa radar chủ động

^{*} Email: tlpkk48@gmail.com

Các thành phần chính của mô hình bao gồm nắp chụp, anten, thiết bị phát, thiết bị thu, khối xử lý tín hiệu và hệ thống servo. Các thành phần này sẽ được phân tích trong phần tiếp theo.

2. Tính toán các tham số của đầu tự dẫn radar chủ động

2.1. Nắp chụp

Nắp chụp làm tiêu hao công suất và méo kết quả đo lường của sự sai lệch giữa trục chính của anten và trục chính của hệ thống. (L)[1] là một hàm số của góc lệch tối đa của anten và trong một mô hình đơn giản, nó có thể được biểu diễn như sau:

$$L(\phi) = 1 - ae^{-b\phi} \tag{1}$$

Với ϕ là góc lệch tối đa được tính theo biểu thức:

$$\phi = \cos^{-1}(\cos\varphi_z \cos\varphi_y) \tag{2}$$

Trong đó, φ_y và φ_z là các góc lệch của anten. Công suất tiêu hao tối đa xảy ra khi $\emptyset = 0$ và với việc tăng góc xoay của anten, tiêu hao công suất sẽ giảm đi. a và b là các hằng số được xác định thông qua thực nghiệm. Phân tích sơ bộ cho thấy sai số do nắp chụp, tức giá trị lệch trong một mặt phẳng của hướng đo δ_m và trong mặt phẳng vuông góc với nó δ_c , chỉ phụ thuộc vào giá trị của góc lệch tối đa ϕ .Trong mô hình hiện tại, sai số do nắp chụp được đưa vào dưới dạng một bảng tra cứu. Cả anten và nắp chụp được hiệu chuẩn trong mặt phẳng của hướng đo và mặt phẳng chéo với nó trong khoảng từ 0 độ đến 600 độ với bước nhảy là 10 độ. Với một giá trị LOS thực sự đã biết, chúng ta có thể tính toán LOS ước lượng (dựa trên sai số do nắp chụp) theo cách sau đây:

Let R_{True} là vector chỉ phương tới mục tiêu thực trong không gian

 R_0 là vector hướng của trục dọc trong hệ tọa độ thân

 $R_{\scriptscriptstyle B}$ là vector hướng của mục tiêu hiển thị trong một mặt phẳng định hướng

 $R_{\rm C}$ Vector hướng của mục tiêu hiển thị trong mặt phẳng cắt của đầu tự dẫn

 R_{A} Vector hướng của mục tiêu quan sát được với nắp chụp

 R_{True} bao gồm các thành phần { $\cos \varphi_z \cos \varphi_y, -\sin \varphi_y \cos \varphi_z, \sin \varphi_z$ }

 R_c bao gồm các thành phần {0, $\frac{-\sin\varphi_y\cos\varphi_z}{\sin\emptyset}, \frac{\sin\varphi_z}{\sin\emptyset}$ }

Ta có thể coi $R_A = \cos \delta_C R_B + \sin \delta_C R_C$

Từ R_A , có thể tính toán các góc của LOS (Line of Sight) để xem xét sai số nắp chụp (φ_{RZ} và φ_{RY}), với:

$$\varphi_{RZ} = \sin^{-1} R_{Ay} \operatorname{va} \varphi_{RY} = \sin^{-1} (R_{Az} / \cos \varphi_{RZ})$$

trong đó R_{Ay} và R_{Az} là những thành phần của R_A .

2.2. Anten

Đây là một hệ thống mono-pulse[1] nên mặt phẳng anten được chia thành bốn phần tư. Để tìm hướng $SUM(\Sigma)$ được sử dụng. Hai kênh DELTA (Δ) được tạo ra bằng cách tính tổng các phần tư trong bốn phần tư đó. Biểu đồ hướng của một phần F_i cho một vị trí cụ thể có thể được biểu diễn như sau:

$$F_i(\delta_y, \delta_z) = a[i] e^{-\varphi[i]} \cos \delta_y \cos \delta_z$$
(3)

Trong đó: a[i] là phân bố của biên độ

$$\varphi_{i} = \frac{2\pi}{\lambda} \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\left(\sin\delta_{y} - \sin\delta_{z}\cos\delta_{y}\right)z[1]d_{H} + \left(\cos\delta_{y}\sin\delta_{z} + \sin\delta_{y}\right)y[i]d_{E}\right)$$
(4)

Với y[i] và z[i] là tọa độ của các vị trí riêng lẻ

 d_E và d_H là các khoảng cách mảng trong mặt phẳng E và H tương ứng, và bằng một nửa bước sóng trong một mảng ống dẫn sóng. Tương tự, mẫu phát xạ anten cho mỗi phần tư có thể được viết như sau:

$$F_1 = \sum_i a_1 \cdot F_{1i} \tag{5}$$

Sau khi có được mẫu phát xạ anten cho mỗi phần tư, kênh Σ và Δy và Δz được tính toán như sau và được lưu trữ trong một mảng 2D.

$$F_{Sum} = (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) \cos \theta / |\Sigma|$$
(6)

$$F_{DeltaY} = (F_1 + F_2 - F_3 - F_4)\cos\theta / \left|\Sigma\right|$$
(7)

$$F_{DeltaZ} = (F_1 - F_2 + F_3 - F_4)\cos\theta / \left|\Sigma\right|$$
(8)

Trong đó $\cos \theta = \cos \delta_y \cos \delta_z$ và Σ là giá trị tối đa của độ lợi phức trong kênh tổng. Dựa trên hệ thống servo và phản hồi (góc gimbal), hệ số lợi trong mỗi kênh được nội suy và truyền đến mô-đun thu để được xử lý tiếp.

Một anten phát xung quanh là một anten phát công suất theo hướng tất cả các hướng một

cách đồng đều [2]. Nếu công suất được phát ra bởi một anten là P_r , mật độ công suất tại một khoảng cách R_r , từ nguồn được cho bởi công thức:

Mật độ công suất =
$$P_t / (4\pi R_t^2)$$
 (9)

Trong đó, $(4\pi R_t^2)$ là diện tích của hình cầu có bán kính R_t ,

Vì anten trên đầu tự dẫn thường có tính hướng chứ không phải là phát xung quanh, hầu hết công suất sẽ được phát ra theo một hướng cụ thể. Hệ khuếch đại G_t , là một đo lường của công suất tăng lên từ một anten có tính hướng so với một anten phát xung quanh .Do đó, mật độ công suất từ một anten có tính hướng có thể được biểu diễn như sau:

Mật độ công suất =
$$\frac{P_t G_t}{4\pi R_t^2}$$
 (10)

Công thức trên cho thấy mật độ công suất từ một anten có tính hướng phụ thuộc vào hệ số khuếch đại G_t , công suất phát ra P_t và khoảng cách R_t . Trong quá trình phát mục tiêu sẽ chặn một phần năng lượng này và phát nó theo hướng ngược lại. Với σ là diện tích phản xạ radar của mục tiêu (RCS), khi đó công suất phát ra bởi mục tiêu có thể biểu diễn như sau:

$$P_{echo} = \frac{P_t G_t \sigma}{4\pi R_t^2} \tag{11}$$

Năng lượng này lan truyền như thể nó được phát xạ bởi một anten phát xạ toàn phương. Do trong đầu tự dẫn sử dụng radar chủ động bộ phát và thu cùng đặt trên đầu tự dẫn nên mật độ công suất tại điểm thu được xác định bởi công thức sau:

(Mật độ công suất)_t =
$$\frac{P_t G_t \sigma}{(4\pi R_t^2)^2}$$
 (12)

Nếu bộ thu của radar đầu tự dẫn thu một năng lượng là A_t thì hàm mật độ công suất nhận được bởi radar có công thức sau:

$$P_r = \frac{P_t G_t \sigma A_t}{\left(4\pi R_t^2\right)^2} \tag{13}$$

Công suất tối thiểu để phát hiện được mục tiêu, P_{\min} , là một hàm nhiều biến được biểu diễn theo công thức sau:

$$P_{\min} = kT_0 B_n F_n \left(\frac{S_0}{N_0}\right)_{\min}$$
(14)

Trong đó, $k = 1,38.10^{-23} J / K$ là hằng số Boltmans, $kT_0 = 4.10^{-21} W / s$ là giá trị nhiệt độ phòng của băng thông, B_n là băng thông, F_n là hệ số nhiễu, $(S_0 / N_0)_{min}$ là tỉ số tín hiệu/nhiễu tối thiểu. Theo lý thuyết anten, hệ số khuếch đại liên quan đến diện tích anten:

$$G = \frac{4\pi A_t}{\lambda^2} \tag{15}$$

Phạm vi tối đa của đầu tự dẫn radar chủ động có thể được viết:

$$R_{\max} = \left[\frac{P_t \sigma A_t^2}{4\pi\lambda^2 P_{\min}}\right]^{1/4}$$
(16)

Phương trình (8) cho thấy phạm vi radar đầu tự dẫn không bao gồm bất kỳ tổn thất hệ thống nào. Do những giả định này, phạm vi thực tế của một radar có thể nhỏ hơn một nửa so với những gì phương trình phạm vi radar dự đoán trong điều kiện phòng thí nghiệm. Vì lý do này, khi sử dụng phương trình trên, nên sử dụng gấp đôi phạm vi yêu cầu.

Đối với đầu tự dẫn sử dụng radar chủ động, kích thước của anten phát và thu là thông số quan trọng. Kích thước anten có thể ảnh hưởng đến đường kính thiết kế của tên lửa và phạm vi hoạt động của đầu tự dẫn. Đường kính anten có thể được biểu diễn như sau:

$$A_{t} = \left[\frac{4\pi\lambda^{2}P_{\min}R_{\max}^{4}}{P_{t}\sigma}\right]^{1/2}$$
(17)

$$C = \left[\frac{4\pi\lambda^2 P_{\min}}{P_t \sigma}\right]^{1/2}$$
(18)

Đặt:

Ta có:

$$A_{t} = \frac{\pi d_{t}^{2}}{4} = CR_{\max}^{2}$$
(19)

$$d_t^2 = \frac{4CR_{\text{max}}^2}{\pi} \tag{20}$$

$$d_t = 2R_{\max}\sqrt{\frac{C}{\pi}}$$
(21)



Hình 2. Kích thước anten và cự ly

Phương trình (21) đã được vẽ trong Hình 2 cho các giá trị khác nhau của tần số phát. Từ biểu đồ này và thông tin về phạm vi khóa tối đa yêu cầu, kích thước anten có thể được xác định.

Do đó,

Từ phương trình (21) và Hình 2, có hai cách rõ ràng để giảm kích thước anten yêu cầu. Thứ nhất là tăng tần số là cách tốt nhất để giảm kích thước anten và các thành phần điện tử. Xu hướng hiện tại là tăng tần số. (Tần số sóng millimet.) Một vấn đề là các phương trình được phát triển trong phần này không bao gồm sự suy hao trong khí quyển. Đối với tần số trên khoảng 30 GHz, sự hấp thụ do khí quyển gia tăng. Điều này được thể hiện trên Hình 3. Như được cho thấy trên hình này, có "cửa sổ" nơi sự suy hao ít hơn. Những "cửa sổ" này xuất hiện ở tần số 34GHz, 94GHz, 140GHz và 220GHz. Đó là các tần số mà hầu hết nghiên cứu và phát triển hiện tại đang diễn ra. Khi tần số tăng, bước sóng tiếp cận kích thước của giọt mưa. Vì lý do này, hiệu suất radar giảm đáng kể trong thời tiết xấu. Thứ hai là tăng công suất phát cũng sẽ giảm kích thước anten cần thiết. Yếu tố hạn chế trong lĩnh vực này là thiếu nguồn phát có công suất cao. Trong khoảng tần số millimet, công suất hiện có từ các ống sóng điện hiện tại là khoảng (50-100W). Do đó việc tăng công suất rõ ràng bị hạn chế bởi kích thước và trọng lượng của các thành phần trên tên lửa.



Hình 3. Hấp thụ trong khí quyển

2.3. Thiết bị phát

Một bộ phát tần số cao dựa trên Klystron thường được sử dụng làm bộ phát tần số cao trong các ứng dụng của đầu tự dẫn tên lửa. Khi mô hình hóa bộ phát tín hiệu, người ta xem xét các tham số có thể ảnh hưởng đến hiệu suất theo dõi mục tiêu của đầu tự dẫn, chẳng hạn như sự dao động trong công suất phát. Công suất đỉnh tỷ lệ thuận với nguồn điện của tên lửa, tức là pin, có thể giảm trong quá trình bay. Thông qua thực nghiệm, chúng ta có thể thiết lập mối quan hệ giữa hai yếu tố này và có thể biểu diễn dưới dạng:

$$P_{instant} = P_0 f\left(\frac{d(BatteryVontage)}{dt}\right)^{\alpha}$$
(22)

Ở đây, P_0 là công suất ban đầu và α là một hằng số được xác định theo phương pháp thực nghiệm.

2.4. Thiết bị thu

Sự khác nhau về biên độ và pha giữa các kênh tổng và hiệu ảnh hưởng đến tính ổn định của đường cong d/s. Nhiễu của bộ thu xuất hiện dưới dạng như một thành phần dao động khi đo sai số góc cũng như ánh sáng phản xạ. Khi mô hình hóa bộ thu cả hai yếu tố trên nên được tính tới. Hình 4 cho thấy mô hình cơ bản của bộ thu.



Hình 4. Mô hình của một thiết bị thu

Việc mô hình hóa sự điều chỉnh biên độ và pha của các kênh được thực hiện bằng cách sử dụng hai biến ngẫu nhiên là C_{Ry} và $\cos \varphi_R$. Trong đó C_{Ry} được phân bố theo phân bố chuẩn với giá trị trung bình bằng 0 và độ lệch chuẩn là A_R . Còn $\cos \varphi_R$ được phân bố theo phân bố chuẩn với giá trị trung bình bằng 0 và độ lệch chuẩn là φ_R . Nghiên cứu cho thấy giá trị trung bình khi đo sai số góc phụ thuộc vào tỉ lệ tín hiệu/độ nhiễu (S/N) và được biểu diễn bằng biểu thức $\frac{S}{S+3N}$ [3].

Ngoài ra độ lệch chuẩn của quá trình đo cũng là một hàm số của tỉ lệ (S/N). Hàm tự tương quan (auto correlation function) đối với sự biến đổi RCS (Tiết diện radar) có thể được viết:

$$\rho(\tau) = e^{-2\pi B_C \tau} \tag{23}$$

Trong đó B_C là dải tần số của nhiễu đo lường,

τ là kích thước của bước mô phỏng

Biên độ dao động của RCS có phân bố chuẩn với giá trị trung bình bằng 0 và được biểu diễn bằng biểu thức:

$$\sigma = \varepsilon_1^2(n) + \varepsilon_2^2(n) \tag{24}$$

Trong đó:

$$\varepsilon(n) = \rho \varepsilon(n-1) + N(0,1) \sqrt{(1-\rho^2) 2\sigma_{AVG}/2}$$
(25)

1558

Trong mô hình của thiết bị thu, các tín hiệu yếu được khuếch đại và chuyển đổi tần số xuống để tiếp tục xử lý. Bộ thu cung cấp một đầu ra SUM (Σ) và hai đầu ra DELTA (Δ).

2.5. Bộ xử lý tín hiệu

Việc phát hiện, theo dõi mục tiêu được thực hiện bằng cách sử dụng Mô-đun xử lý tín hiệu. Bộ thu cung cấp ba đầu ra kênh sau quá trình xử lý ban đầu và chuyển đổi tần số, bao gồm một đầu ra SUM (Σ) và hai đầu ra DELTA (Δ). Ngoài ra, các đầu vào về góc, khoảng cách và tần số Doppler của mục tiêu có sẵn từ bộ điều khiển trên đầu tự dẫn. Tín hiệu nhận được được xử lý phù hợp để thu được thông tin về mục tiêu liên quan đến vận tốc, khoảng cách và góc. Một sơ đồ khối đơn giản của mô hình xử lý tín hiệu được hiển thị dưới đây trong Hình 5.



Hình 5. Mô hình của bộ xử lý tín hiệu

Quyết định phát hiện được thực hiện trong khối logic Threshold detection (phát hiện ngưỡng) dựa trên SNR (tỷ lệ tín hiệu/ nhiễu). Nếu SNR cao hơn ngưỡng một khoảng đáng kể trong một khoảng thời gian quan sát cụ thể thì quá trình xác định mục tiêu (target acquisition) sẽ diễn ra và khóa mục tiêu (lock-on) được hoàn tất. Sau đó, quá trình theo dõi theo tín hiệu Doppler và góc sẽ bắt đầu ngay sau khóa mục tiêu. Quá trình theo dõi khoảng cách sẽ bắt đầu sau khi tích lũy SNR đủ lớn. Đầu ra kênh tổng được sử dụng để trích xuất thông tin về tín hiệu Doppler và khoảng cách. Trong mô hình xử lý tín hiệu Doppler, sau khi thu thập các mẫu cần thiết trong một khoảng thời gian tích luỹ cụ thể, FFT (biến đổi Fourier nhanh) được tính toán và tín hiệu Doppler được điều chỉnh trong vòng lặp theo dõi Doppler. Kênh tổng được xử lý bởi các cửa thời gian khác nhau (time gates) để tìm kiếm theo khoảng cách. Sau khi thiết lập theo dõi theo khoảng cách, kênh tổng được xử lý bởi cửa chấp nhận khoảng cách. Với sự trợ giúp của đầu ra tín hiệu Sum và Difference được cung cấp bởi mô hình thu sóng [3], khối xử lý đơn xung tính toán giá trị d/s tỉ lệ thuận với lỗi hướng trục chính (εx , εy).

Thông tin về góc, tín hiệu Doppler và khoảng cách được chuyển tiếp cho hệ thống dẫn tên lửa để sử dụng trong giai đoạn dẫn cuối cùng. Điều này có nghĩa là thông tin về góc (vị trí), Doppler (tần số di chuyển) và khoảng cách của mục tiêu sẽ được sử dụng để định hướng và dẫn tên lửa trong giai đoạn cuối cùng của quá trình theo dõi và tiếp cận mục tiêu.

2.6. Hệ thống servo

Hệ thống Servo[4] đáp ứng yêu cầu động lực của đầu tự dẫn radar chủ động. Nó hoạt động như một giao diện giữa động lực của tên lửa và động lực của đầu tự dẫn. Hệ thống này bao gồm bộ lắp ráp cơ khí để chứa Anten và các cảm biến phản hồi liên quan. Mô hình hóa hệ thống Servo bắt đầu bằng việc tính toán các tải trọng tác động lên hệ thống Servo do gia tốc tối đa của Tên lửa trong các trục của hệ tọa độ liên kết. Đầu vào cho hệ thống Servo được lấy từ mô hình 6 bậc tự do (DOF) của Tên lửa sau các phép biến đổi thích hợp như phép biến đổi góc Euler. Anten của đầu tự dẫn được gắn trên một bộ giá treo cơ khí và có hai bậc tự do, tức là trong mặt phẳng tà và phương vị. Hệ thống được mô phỏng trong hai kênh độc lập, một kênh cho mặt phẳng tà và kênh khác cho mặt phẳng phương vị.

3. Đánh giá khả năng chống nhiễu của đầu tự dẫn

Việc đánh giá khả năng chống nhiễu của đầu tự dẫn trong môi trường chống nhiễu có ý nghĩa kỹ thuật rất lớn. Phương pháp đánh giá dựa trên hợp nhất thông tin liên quan đến hiệu suất đo góc nhằm đạt được kết quả đánh giá hợp lý hơn.

Quá trình kiểm tra hiệu suất của đầu tự dẫn có nhiều giai đoạn với đặc điểm khác nhau. Hợp nhất thông tin có lợi thế trong việc đánh giá hiệu suất radar bằng cách tận dụng dữ liệu đo được thu thập ở các giai đoạn khác nhau thay vì xử lý chúng một cách riêng biệt. Hai vấn đề chính cần được giải quyết trong việc áp dụng phương pháp hợp nhất thông tin từ nhiều nguồn thông tin là kiểm tra tính nhất quán thông tin và xác định trọng số thông tin. Trong quá trình đánh giá hợp nhất của radar seeker, chúng ta tham khảo lý thuyết Bayes và coi các chỉ số đánh giá được rút ra từ dữ liệu kiểm tra ở các giai đoạn khác nhau là các biến ngẫu nhiên, chẳng hạn như độ chính xác đo góc và xác suất phát hiện. Sau đó, chúng ta thảo luận về các phương pháp kiểm tra tính nhất quán thông tin và xác định trọng số.

3.1. Kiểm tra tính nhất quán của thông tin

Chỉ khi kiểm tra tính nhất quán thông tin đã được thực hiện, quá trình hợp nhất thông tin mới có thể được tiến hành trong bước tiếp theo. Nếu không, quá trình hợp nhất thông tin sẽ dẫn đến kết quả sai và mất đi ý nghĩa. Phương pháp cụ thể là lấy độ lệch giữa dữ liệu mẫu và trung bình hoặc trung vị mẫu làm tham chiếu. Khi độ lệch nhỏ hơn ngưỡng cho trước, kiểm tra tính nhất quán được coi là thành công và dữ liệu mẫu là có hiệu lực và sẵn có. Khi độ lệch vượt quá ngưỡng, dữ liệu mẫu được coi là bất thường và cần loại bỏ để đảm bảo tính nhất quán dữ liệu. Phương pháp kiểm tra tính nhất quán dữ liệu này đơn giản và thực tế. Tuy nhiên, nó chỉ áp dụng được cho dữ liệu mẫu lớn mà không xem xét phân phối của các mẫu kiểm tra. Khi dữ liệu kiểm tra có các đặc tính thay đổi theo thời gian nhất định, phương pháp này có thể đưa ra một số kết luận sai. Kiểm tra tính nhất quán thông tin có thể được chia thành kiểm tra đã biết hay chưa. Khi

mẫu kiểm tra đủ lớn, Kiểm định Pearson χ^2 là một phương pháp kiểm tra thông thường. Khi mẫu kiểm tra không đủ, các phương pháp kiểm tra tính nhất quán bao gồm kiểm tra Rank Sum và đo lường thông tin.

a. Kiểm tra Rank Sum

Lấy xác suất phát hiện θ làm ví dụ, chúng ta sử dụng phương pháp Kiểm định Rank Sum để hoàn thành kiểm tra phân phối cho các thuộc tính. Để thu được một đo lường khoảng cách thông tin nghiêm ngặt, chúng ta điều chỉnh I(f, g) thành DI(f, g), được xác định như sau:

b. Đo lường thông tin

Ý tưởng về entropy thông tin ban đầu được giới thiệu như một đo lường mức độ không chắc chắn cho các phân phối rời rạc trong lý thuyết thông tin và nó được phát triển trong ngữ cảnh của cơ học thống kê và các đặc trưng hệ thống. Đối với một biến ngẫu nhiên liên tục X có hàm mật độ f(x) và hàm phân phối F(x), entropy H(X) được xác định như sau:

$$H(X) - E[\log f(X)] = - \int \log f(x) dF(x)$$
(26)

Entropy là một hàm của phân phối. Nó không phụ thuộc vào các giá trị thực tế mà chỉ phụ thuộc vào xác suất của X. Khoảng cách Kullback-Leibler còn được gọi là entropy tương đối, đây là một đo lường thông tin giữa hai hàm mật độ xác suất f(x) và g(x). và được xác định theo biểu thức sau:

$$I(f,g) = \int \log \frac{f(x)}{g(x)} dF(x) = H(G) - H(F)$$
(27)

Từ quan điểm của entropy thông tin, I(f, g) mô tả mức độ tương đồng giữa hai phân phối xác suất chính là cơ sở của kiểm tra tính nhất quán. I(f, g) không có một số tính chất của đo lường khoảng cách và không thể được sử dụng trực tiếp như một đo lường khoảng cách, do đó nó cần được điều chỉnh. Để đạt được một đo lường khoảng cách thông tin chính xác, chúng ta điều chỉnh I(f, g) thành DI(f, g), được định nghĩa như sau:

$$Dl(f,g) = \left| \int g(x) \log \frac{f(x)}{g(x)} dF(x) \right|$$
(28)

DI(f, g) thỏa mãn những tính chất sau:

1. Dl(f,g) = Dl(g,f). 2. $Dl(f,g) \ge 0$ khi và chỉ khi f = g, Dl(f,g) = 0

Dựa trên định nghĩa của đo lường khoảng cách thông tin DI(f, g), miễn là thiết lập được ngưỡng Δ phù hợp, ta có thể hoàn thành kiểm tra tính nhất quán của thông tin mẫu khác nhau bằng cách so sánh mối quan hệ DI(f, g) và Δ .

Chúng ta kết luận về hiệu quả của đo lường thông tin Kullback-Leibler bằng cách trình bày một ví dụ về biến ngẫu nhiên theo phân phối chuẩn.

Xét hai biến ngẫu nhiên X và Y đều tuân theo phân phối chuẩn tiêu chuẩn. Hàm mật độ xác suất liên hợp cho cặp biến ngẫu nhiên (X, Y) với hệ số tương quan ρ được cho bởi:

$$f(x,y) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left[\frac{-(x^2 - 2\rho xy + y^2)}{2(1-\rho^2)}\right]$$
(29)

Trong đó (x,y) $\in \mathbb{R}^2$ và $|\rho| \leq 1$. Đưa tất cả các giả định này vào xem xét, chúng ta có thể kết luận rằng biến ngẫu nhiên có điều kiện X|Y tuân theo phân phối chuẩn $N(\rho Y, (1 - \rho^2))$ Áp dụng một số tính toán đơn giản cho phân phối chuẩn với trung bình μ và phương sai σ^2 , chúng ta có thể thu được kết quả như sau:

$$H(X) = \log\sqrt{2\pi\sigma^2} + \frac{1}{2}$$

(30)

Xét thấy entropy không phụ thuộc vào các tham số trung bình, chúng ta có thể thu được kết quả như sau:

$$H(X) = \log \sqrt{2\pi(1-\rho^2)} + \frac{1}{2}$$
(31)

$$\int f(x|y)\log f(x)dx = -\log\sqrt{2\pi} - \frac{1}{2}(1 - \rho^2 + y^2\rho^2)$$
(32)

$$I(f_{X|y}, f_X) = \frac{1}{2}\rho^2(y^2 - 1) - \log\sqrt{1 - \rho^2}$$
(33)

Từ các hình 6 và 7, có thể thấy rằng đo lường thông tin $I(f_{X|Y}, f_X)$ tăng khi hệ số tương quan ρ tăng lên. Khi hệ số tương quan được cố định và biến Y tăng, đo lường thông tin giữa phân phối có điều kiện X|Y và biến X cũng tăng lên. Hai xu hướng này tương thích với tình huống được kỳ vọng, điều này chứng tỏ tính hiệu quả của phương pháp.







Hình 7. Phân bố của hàm $I(f_{X|Y}, f_X)$ khi thay đổi ρ

So sánh hai phương pháp ta thấy ưu điểm của kiểm định tổng hạng là thao tác trực quan. Nó không cần thiết lập mô hình phân phối của các mẫu trước và có khả năng áp dụng rộng rãi. Ưu điểm của kiểm định đo lường thông tin là kết luận kiểm định dựa trên thông tin mẫu có tính khách quan hơn.

3.2. Xác định trọng số của thông tin

Phân phối trọng số [5] phù hợp cho các thông tin khác nhau là phần quan trọng thứ hai trong quá trình hợp nhất thông tin. Khi thông tin đa nguồn đã qua kiểm tra tính nhất quán, việc xác định trọng số hợp lý là rất quan trọng để đưa ra các kết luận đáng tin cậy trong quá trình ra quyết định. Trong phần này tiêu chí PLT được giới thiệu và phân tích tính hiệu quả của nó trong việc phân bổ trọng số thông tin.

$$\inf G(a_i) = -2\log h^*(a_i) + \frac{\log n_i}{a_i}$$
(34)

$$h^{*}(a_{i}) = \int L(\theta \mid X) L(\theta \mid X_{i})^{a_{i}} \pi_{i}(\theta) d\theta$$
(35)

 a_i là trọng số của X_i theo tiêu chí PLT. Trong quá trình kiểm tra và đánh giá hiệu suất của radar, kích thước mẫu lịch sử thường lớn hơn kích thước mẫu thực địa. Trong điều kiện này, chúng ta muốn ngăn chặn mẫu thực địa bị áp đảo bằng cách giảm trọng số mẫu lịch sử. Các trọng số mẫu được xác định bằng tiêu chí PLT phù hợp với yêu cầu này. Quan điểm này được xác nhận bằng cách giải thích dữ liệu mô phỏng.

Giả sử X có kích thước mẫu là n=100 và $\pi_i(\theta)$ có kích thước mẫu là n_i độc lập với nhau và tuân theo phân bố chuẩn N (θ ,1). Bất kể phân phối ban đầu $\pi_i(\theta)$ cho θ , trọng số mẫu lịch sử được xác định theo tiêu chí PTL được hiển thị trong Bảng 1.
n ₀	10	20	50	100	200	500	1000
a_i^*	0.006	0.049	0.097	0.127	0.166	0.289	0.349

Bảng 1. Trọng số thông tin được thu được bằng PLT

6. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu quy trình tính toán các tham số về nắp chụp anten, thiết bị thu phát nhằm phục vụ cho quá trình thiết kế đầu tự dẫn tên lửa sử dụng radar chủ động, đông thời đề xuất phương pháp đánh giá khả năng chống nhiễu radar chủ động được tích hợp trên đầu tự dẫn tên lửa. Các phương pháp này giúp xác định và đánh giá hiệu suất của hệ thống radar chủ động và khả năng chống nhiễu nó được trang bị trên tên lửa. Những kết quả nghiên cứu và phương pháp tính toán, đánh giá được trình bày trong bài báo này cung cấp một cơ sở cho việc thiết kế hệ thống radar chủ động trong các ứng dụng tên lửa tự dẫn.

Tài liệu tham khảo

- 1. T.T. Taylor, "Design of circular apertures for narrow beam-widths and low side lobes," Trans. IRE, vol. AP-8, Jan. 1960, pp. 17-22
- Redmon, Danny Ray "Tactical missile conceptual design", Monterey, California. Naval Postgraduate School,1980
- 3. PrashantVora et al, "Radio Frequency Seeker Modeling and Seeker Filter Design" Defence Science Journal, Vol. 55, No. 3, July 2005.
- 4. "Monopulse Principles and Techniques", Samuel M. Sherman, Artech House Inc, 1984
- 5. Liu XH, Yang J (2019) Weight empowerment method in information fusion for radarseeker performance evaluation.

The calculation of basic parameters for the design of active radar seeker

Abstract: The content of the article focuses on researching and proposing methods for calculating the basic parameters of seeker missile, such as the radome, antenna, and transceiver components, for seeker active homing system. The calculation process combines computer simulations and proposes a method for evaluating the jamming resistance capability of the active radar integrated on the seeker missile. These methods help determine and evaluate the performance of the active homing system and its jamming resistance capabilities equipped on the missile. The research results, calculation methods, and evaluations presented in this article provide a basis for designing active homing systems in self-guided missile applications

Từ khóa: Radome; anten; missile; seeker; active radaer; evaluate the performance.

Nghiên cứu và khảo sát phương pháp dẫn 3 điểm từ xa cải tiến cho tổ hợp tên lửa phòng không Nguyễn Hữu Huấn^{1*}, Nguyễn Thanh Tùng¹, Hoàng Minh Đắc²

¹Học viện Kỹ thuật quân sự ²Viện Khoa học Công nghệ Quân sự Email: kshkh147@gmail.com; Tel: 0987331070

Tóm tắt

Nội dung bài báo trình bày phương pháp dẫn 3 điểm từ xa cải tiến ứng dụng cho tổ hợp tên lửa phòng không. Phương pháp dẫn 3 điểm từ xa cải tiến được tổng hợp trên cơ sở phương pháp dẫn 3 điểm và bộ lọc Kalman. Các kết quả mô phỏng kiểm chứng thể hiện tính hiệu quả của phương pháp dẫn 3 điểm từ xa cải tiến khi áp dụng cho tổ hợp tên lửa phòng không đã có trong trang bị.

Từ khóa: Phương pháp dẫn 3 điểm từ xa, phương pháp dẫn bắn đón, Bộ lọc Kalman; phương pháp dẫn 3 điểm cải tiến.

1. Đặt vấn đề

Nghiên cứu hoàn thiện các phương pháp dẫn (PPD) từ xa hiện có đối với tên lửa phòng không nhằm mục đích nâng cao hiệu quả chiến đấu, tăng xác suất tiêu diệt mục tiêu. Những nhược điểm mang tính nguyên tắc của các PPD hiện có, bao gồm:

- Những PPD từ xa truyền thống được xây dựng dựa trên lý thuyết điều khiển tối ưu cục bộ, xem tên lửa phòng không như chất điểm chuyển động và yêu cầu sao cho tên lửa (TL) trong mỗi thời điểm tức thời phải nằm trên quỹ đạo tính toán của PPD. Trong khi những thông tin về trạng thái của TL và nhiễu tác động vào nó không được tính tới một cách đầy đủ.

- Những phương trình động hình học (ĐHH) và các quỹ đạo PPD theo nguyên lý ba điểm áp đặt hàng loạt những hạn chế vào vị trí không gian của TL so với đường ngắm đài mục tiêu. Điều đó hạn chế số bậc tự do trong điều khiển quá trình bay của TL theo tiêu chí chất lượng dẫn là độ trượt tại điểm gặp, cũng như làm tăng tổn hao năng lượng của đối tượng được điều khiển do lúc nào chuyển động của nó cũng phải quay về quỹ đạo tính toán trước mọi tác động của nhiễu, đặc biệt là trước sự cơ động ngẫu nhiên của mục tiêu cần tiêu diệt.

Sự hiện diện không tránh khỏi của giai đoạn đưa TL vào quỹ đạo tính toán làm hạn chế giới hạn gần của vùng tiêu diệt và làm giảm vận tốc trung bình của TL.

Sự gia tăng không tránh khỏi của sai số động (SSĐ) vòng điều khiển khi bắn các loại mục tiêu cơ động cao hay tên lửa đạn đạo bởi các lý do:

+ Tính không tương thích của các mô hình tuyến tính ngoại suy góc và cự ly tiếp cận TL-MT so với đài điều khiển và thời gian TL bay tới mục tiêu;

+ Chưa lường hết được quán tính của các quá trình điều khiển TL;

+ Việc áp dụng nhiều thuật toán đã được đơn giản hóa để bù khử SSĐ của VĐK.

Sự gia tăng tuyến tính thành phần ngẫu nhiên độ trượt của tên lửa phòng không điều khiển từ xa khi tăng cự ly bắn do sai số ngẫu nhiên trong tính toán sai lệch TL so với quỹ đạo tính toán tỷ lệ thuận với cự ly bắn.

^{*}Email: kshkh147@gmail.com

Để loại trừ số nhược điểm kể trên của PPD từ xa truyền thống ta thực hiện cải tiến PPD "ba điểm" (TT) đối với tên lửa phòng không trong điều kiện nhiễu tác chiến điện tử chế áp, không có thông tin về cự ly mục tiêu.

2. Phương Pháp

2.1. Phương pháp dẫn 3 điểm từ xa

Phương pháp dẫn ba điểm, còn gọi tắt là "T/T", là phương pháp làm trùng liên tục đường ngắm ĐĐK - TL với đường ngắm ĐĐK - MT trong toàn bộ thời gian dẫn. Tức là tại mọi thời điểm của quá trình dẫn, vị trí yêu cầu của trọng tâm tên lửa luôn phải nằm trên đường ngắm ĐĐK – MT. Như vậy PPD "T/T" chỉ cần có thông tin về tọa độ góc của tên lửa và mục tiêu, không cần thông tin về cự ly của mục tiêu. Chính vì vậy PPD "T/T" có tác dụng chống nhiễu tạp tích cực rất tốt, bởi vì trong trường hợp đối phương gây nhiễu tạp tích cực (nhiễu toàn dải cự ly) ĐĐK không đo được cự ly mục tiêu. Tuy nhiên PPD "T/T" có nhược điểm không thể khắc phục đó là càng gần mục tiêu, QĐĐ của PPD càng tăng độ cong, đồng nghĩa với sự gia tăng sai số dẫn so với các PPD khác.



Hình 1. Động hình học phương pháp dẫn từ xa

Phương trình PPD "T/T" có dạng: ц

$$\begin{cases} \varepsilon_k = \varepsilon_q \\ \beta_k = \beta_q \end{cases}$$
(1)

Trong đó: ε_k , β_k – tương ứng các giá trị góc ngắm yêu cầu đối với tên lửa; ε_u , (β_u) – tương ứng các tọa độ góc của mục tiêu.

Phương trình gia tốc pháp tuyến trong mặt phẳng đứng như sau:

$$W_{pt_yc} = \frac{1}{\cos\eta} r_p . \ddot{\varepsilon}_k + k . \dot{\varepsilon}_k + g . \cos\theta_p$$
(2)

Trong đó:
$$k = 2.V_p - \frac{V_p \cdot r_p}{V_p \cdot cos\eta}$$
; $\eta = \theta_p - \varepsilon_k$

Thay (1) vào (2) ta có biểu thức tính GTPT yêu cầu của PPD "T/T" trong mặt phẳng đứng:

$$W_{pt_yc} = \frac{1}{\cos\eta} r_p . \ddot{\varepsilon}_u + k. \dot{\varepsilon}_u + g. \cos\theta_p \tag{3}$$

Trong đó: $r_p(t)$ – hàm cự ly tên lửa theo thời gian, được tuyến tính hóa bằng hàm R(t); g. $cos\theta_p$ – lượng bù động lực học cố định; $cos\eta \approx 1$ do η nhỏ.

Trong trường hợp mục tiêu cơ động với phương trình chuyển động như sau:

$$r_{u}\dot{\varepsilon}_{u} = V_{u}\sin(\varepsilon_{u} + \theta_{u})$$
⁽⁴⁾

Trong đó: r_{μ} , ε_{μ} , θ_{μ} , V_{μ} – tương ứng với cự ly, góc tà, góc nghiêng quỹ đạo và vận tốc mục tiêu.

Biến đổi biểu thức (4) rồi thay vào (3) ta nhận được GTPT yêu cầu trong mặt phẳng đứng của PPD "T/T" khi mục tiêu cơ động là:

$$W_{yc}^{Y(T/T)} = \frac{r_p W_u^Y}{r_u \cos\eta} + \left(k - \frac{2r_p \dot{r}_u}{r_u \cos\eta}\right) \dot{\varepsilon}_u + g\cos\theta_p \tag{5}$$

Trong đó: $W_{\mu}^{y} = W_{\mu} . cos(\varepsilon_{\mu} + \theta_{\mu})$ - GTPT của mục tiêu trong mặt phẳng thẳng đứng, đặc trưng cho sự cơ động; W_{μ} – gia tốc của mục tiêu.

Từ biểu thức (5) suy ra rằng GTPT yêu cầu của PPD sẽ tăng khi tên lửa tiếp cận mục tiêu và ở điểm gặp sẽ đạt giá trị cực đại. Nếu như đưa ra giả thiết đơn giản hóa: $cos\eta = 1;$ $\dot{r}_u = -V_u;$ $V = V_p + V_u$, thì tại điểm gặp ($r_p = r_u; \Delta r = 0$) GTPT yêu cầu của PPD "T/T" có dang:

$$W_{yc}^{Y(T/T)} = 2V_{u}\dot{\varepsilon}_{u} + W_{u}^{Y} - \dot{V}_{p}tg\eta + gcos\theta_{p}$$
⁽⁶⁾

Phương pháp dẫn "T/T" khá đơn giản khi hiện thực hóa bằng kỹ thuật, nhưng quỹ đạo của tên lửa ở vùng gần mục tiêu có độ cong lớn do gia tốc pháp tuyến của PPD yêu cầu lớn làm tăng sai số dẫn.

2.2. Phương pháp dẫn 3 điểm cải tiến

Khi chọn PPD từ xa cho TL trong điều kiện tác động chế áp của nhiễu tích cực theo góc trong toàn dải cự ly, thông tin đo cự ly mục tiêu không có. Để nâng cao hiệu quả bắn, trong những điều kiện đó ta nên áp dụng PPD ba điểm với sự cải thiện thuật toán dẫn cho phép bù khử tối đa sai số động VĐK. PPD cải tiến sau đây được gọi là PP ba điểm cải tiến (MTT).

Tổng hợp phương pháp dẫn MTT cho ĐKTX được thực hiện với sự ứng dụng lý thuyết điều khiển tối ưu cục bộ. Trên hình 2 là sơ đồ cấu trúc HLL theo PPD MTT.



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc HLL hiện thực hóa PPD MTT

Giải thích những ký hiệu trên H.2:

 α_0 , α_1 , α_2 - các hệ số của bộ lọc Kalman đánh giá trạng thái tương đối của TL so với QĐĐ;

 κ_1, κ_2 - các hệ số của bộ điều khiển tối ưu;

 h_{KB1} - tín hiệu bù khử trọng lượng TL trong mặt phẳng điều khiển Φ_1 ;

 $h_{\kappa \not \! \! \! R 1}\,$ - tín hiệu bù sai số động của VĐK kín trong mặt phẳng điều khiển $\Phi_{\rm l};$

 $h_1(t)$ - độ trượt tức thời của TL so với mục tiêu trong mặt phẳng Φ_1 .

Đánh giá trạng thái tương đối của TL ($\hat{h}_1, \hat{b}_1, \hat{b}_1$) trong HLL này được thực hiện bởi bộ lọc Kalman theo sai lệch thẳng (h₁) của TL so với QĐĐ.

Lệnh điều khiển TL được hình thành dưới dạng tổng các đánh giá (tham số điều khiển) là sai lệch thẳng \hat{h}_1 và các đạo hàm bậc nhất \hat{b}_1 và bậc hai \hat{b}_1 của nó. Việc sử dụng các đạo hàm bậc nhất và bậc hai của đánh giá sai lệch thẳng cho phép nâng cao tính ổn định của VĐK và giảm thiểu SSĐ.

Để giảm tối đa SSĐ trong VĐK kín từ xa còn đưa thêm hai lượng bù là $h_{\kappa \pi 1}$, $h_{\kappa \pi 2}$ tỷ lệ với gia tốc pháp tuyến của TL trong các mặt phẳng điều khiển. Các lượng bù này được tính bằng các công thức sau:

Cho mặt phẳng Φ_1

$$h_{\kappa \mu 1} = \frac{\dot{r}_{p} \dot{\phi}_{\mu 1} + r_{p} \ddot{\phi}_{\mu 1}}{\kappa_{pw}} \approx \frac{\dot{r}_{p} \dot{\phi}_{a1} + r_{p} \ddot{\phi}_{a1}}{\kappa_{pw}}$$
(7)

Cho mặt phẳng Φ_2

$$h_{k,2} = \frac{\dot{r}_{p} \dot{\phi}_{u2} + r_{p} \ddot{\phi}_{u2}}{\kappa_{pw}} \approx \frac{\dot{r}_{p} \dot{\phi}_{a2} + r_{p} \ddot{\phi}_{a2}}{\kappa_{pw}}$$
(8)

Trong đó:

 $r_p\,,\,\dot{r}_p\,$ - cự ly nghiêng của TL và tốc độ thay đổi của nó, đo bởi ĐĐK; h_{kg2}

 $\dot{\varphi}_{u1}, \ddot{\varphi}_{u1}$ - tốc độ và gia tốc góc của mục tiêu thay đổi trong mặt phẳng Φ_1 ; $\dot{\varphi}_{a1}, \ddot{\varphi}_{a1}$ - tốc độ và gia tốc góc quay của anten ĐĐK trong mặt phẳng Φ_1 ; $\dot{\varphi}_{u2}, \ddot{\varphi}_{u2}$ - tốc độ và gia tốc góc của mục tiêu thay đổi trong mặt phẳng Φ_2 ; $\dot{\varphi}_{a2}, \ddot{\varphi}_{a2}$ - tốc độ và gia tốc góc quay của anten ĐĐK trong mặt phẳng Φ_2 ; $\kappa_{pw} = \kappa_p V_p$ - hệ số truyền của TL theo gia tốc pháp tuyến. Lượng bù trọng lượng TL trong VĐK được xác định bằng công thức: Trong mặt phẳng Φ_1

$$h_{\rm KB1} = \frac{g \cos \varepsilon_{\rm p}}{\kappa_{\rm pw}} \cos \left(\gamma_{\rm p} + 45^{\rm o}\right) \tag{9}$$

Trong mặt phẳng Φ_2

$$h_{\kappa B2} = -\frac{g \cos \varepsilon_p}{\kappa_{pw}} \sin (\gamma_p + 45^{\circ})$$
(10)

Giá trị thiết lập của các trọng số bộ lọc Kalman α_0 , α_1 , α_2 được tính thông qua các hằng số thời gian bộ lọc theo phụ thuộc vào tương quan giữa gia tốc góc mục tiêu với cường độ nhiễu tạp trong hệ bám sát góc mục tiêu.

Giá trị thiết lập của các hệ số κ_1 và κ_2 bộ điều khiển được chọn theo yêu cầu độ rộng dải thông và dự trữ ổn định của toàn bộ VĐK kín TL.

3. Kết quả mô phỏng và thảo luận

3.1. Tham số đầu vào

Các tham số của tên lửa: Chiều dài 3996mm, kích thước 160mm, khối lượng 135kg, trọng tâm 2,017m, quán tính Ix = 0,539 kg.m², Iz = 159,35 kg.m², động cơ 12000N, thời gian cháy 1,9s. Tên lửa bắn mục tiêu ở cự ly 21.540m;

Tham số mục tiêu: Vận tốc 500 m/s; bay bằng ở độ cao 8.000m.









Hình 4. Đồ thị quỹ đạo phương pháp dẫn PC

Hình 5. Đồ thị quỹ đạo phương pháp dẫn MTT





Hình 6. Đồ thị quỹ đạo 3 phương pháp dẫn: phương pháp dẫn T/T, phương pháp dẫn P/C, phương pháp dẫn MTT

Dựa vào kết quả mô phỏng của 3 phương pháp dẫn tên lửa (Hình 6) ta thấy với mục tiêu bay bằng ở độ cao 8.000 m, bay với vận tốc 500 m/s đồ thị phương pháp dẫn 3 điểm cải tiến MTT có đồ thị gần như tuyến tính - theo 1 đường thẳng, độ cong quỹ đạo là rất ít do đó gia tốc pháp tuyến sẽ thấp và có thể dẫn tên lửa đi xa hơn, tiêu diệt mục tiêu ở cự ly xa hơn thời gian gặp mục tiêu sớm hơn hai phương pháp dãn PC và TT. Phương pháp bắn đón PC có đồ thị độ cong quỹ đạo cong hơn phương pháp MTT do đó gia tốc pháp tuyến sẽ lớn hơn phương pháp MTT và dẫn tên lửa đi ngắn hơn và tiêu diệt mục tiêu ở cự ly gần hơn. Phương pháp dẫn 3 điểm TT có độ cong quỹ đạo là lớn nhất do đó gia tốc pháp tuyến sẽ lớn nhất và tiêu diệt mục tiêu ở cự ly gần ĐĐK nhất.



Hình 7. Đồ thị gia tốc pháp tuyến

Dựa vào kết quả mô phỏng Hình 7 ta thấy gia tốc pháp tuyến của phương pháp dẫn MTT là đồ thị màu xanh có gia tốc nhỏ nhất điều này chứng minh rằng quá trình chuyển động của tên lửa ít bị thay đổi về phương, hướng do đó quỹ đạo tên lửa sẽ thẳng và ổn định hơn, khả năng bám mục tiêu tốt hơn; tuy nhiên với phương pháp này thì gia tốc pháp tuyến ban đầu lớn và có sự biến đổi liên tục trong khoảng 02s đầu tiên sau đó ổn định trở lại.

Gia tốc pháp tuyến của phương pháp dẫn PC là đồ thị màu cam có gia tốc pháp tuyến lớn hơn gấp 3 lần so với phương pháp dẫn MTT điều này chứng minh rằng quá trình chuyển động của tên lửa sẽ thay đổi nhiều về phương, hướng do đó quỹ đạo tên lửa sẽ cong và ít ổn định hơn, khả năng bám mục tiêu kém hơn phương pháp dẫn MTT; phương pháp này gia tốc pháp tuyến ban đầu lớn nhưng nhỏ hơn phương pháp MTT.

Gia tốc pháp tuyến của phương pháp dẫn TT là đồ thị màu đỏ có gia tốc pháp tuyến lớn nhất so với hai phương pháp dẫn MTT và PC điều này chứng minh rằng quá trình chuyển động của tên lửa sẽ thay đổi nhiều nhất về phương, hướng do đó quỹ đạo tên lửa sẽ cong hơn, không ổn định hơn, khả năng bám mục tiêu kém hơn hai phương pháp trên; tuy nhiên phương pháp này lại có gia tốc pháp tuyến ban đầu nhỏ nhất.



Hình 8. Đồ thị góc tiếp cận mục tiêu của 3 phương pháp dẫn

Xem xét đồ thị Hình 8 ta thấy rằng với phương pháp MTT quỹ đạo bay của TL thẳng hơn 2 phương pháp PC và TT (hay phương pháp dẫn PC và TT có độ cong lớn hơn phương pháp dẫn MTT) nên góc tà tên lửa ở phương pháp dẫn MTT cũng thay đổi đều hơn 2 phương pháp PC và TT, phương pháp dẫn MTT (gần như tuyến tính - theo 1 đường thẳng); hơn nữa Với phương pháp dẫn MTT thì do thời điểm gặp tên lửa sớm hơn 2 phương pháp dẫn PC và TT nên tại điểm gặp góc tà tên lửa và góc tà mục tiêu đều nhỏ hơn phương pháp dẫn PC và TT.



Hình 9. Đồ thị tín hiệu góc tên lửa có nhiễu và tín hiệu qua bộ lọc Kalman

Hình 10. Đồ thị tín hiệu góc mục tiêu có nhiễu và tín hiệu qua bộ lọc Kalman

Xét kết quả mô phỏng Hình 9 và Hình 10 ta thấy tín hiệu đầu ra được xử lý nhiễu qua bộ lọc Kalman là tốt hơn rất nhiều so với tín hiệu đầu vào.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày nội dung tổng hợp phương pháp dẫn 3 điểm từ xa cải tiến trên cơ sở phương pháp dẫn 3 điểm và bộ lọc Kalman. Hiện thực hóa phương pháp dẫn 3 điểm từ xa cải tiến trong thành phần của hệ lập lệnh của đài điều khiển từ xa tên lửa phòng không. Các kết quả mô phỏng kiểm chứng khi so sánh với phương pháp dẫn 3 điểm và phương pháp bắn đón đã chứng minh tính hiệu quả của phương pháp dẫn 3 điểm từ xa cải tiến.

Tài liệu tham khảo

- 1. Lê Anh Dũng, Nguyễn Hữu Độ, Huỳnh Lương Nghĩa. (1998). Lý thuyết bay tập và các hệ thống điều khiển tên lửa phòng không, Học Viện Kỹ Thuật Quân Sự;
- 2. Lê Anh Dũng, Huỳnh Lương Nghĩa. (2003). Bài tập và hướng dẫn thí nghiệm môn "Lý thuyết bay và hệ thống điều khiển tên lửa phòng không", Học Viện Kỹ Thuật Quân Sự;
- Vũ Hỏa Tiễn. (2013). Động học các hệ thống điều khiển thiết bị bay, Học Viện Kỹ Thuật Quân Sự.

Study and survey of the enhanced three-point remote guidance method

for air defense missile systems

Abstract: This paper presents an enhanced three-point guidance method applied to anti-aircraft missile systems. The enhanced three-point guidance method is synthesized based on the conventional three-point guidance method and Kalman filtering. Simulation results validate the effectiveness of the enhanced three-point guidance method when applied to existing anti-aircraft missile systems.

Keyword: The Enhanced Three-Point Remote Guidance method, Lead Pursuit Method, Kalman Filter, the Enhanced Three-Point Remote Guidance method.

Thiết kế mô hình khảo sát đánh giá quỹ đạo bay Tên lửa phòng không tầm thấp khi bắn các dạng mục tiêu khác nhau

Hồ Công Quốc^{1*}, Phạm Xuân Phang¹

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự Email:quochv99@gmail.com; Tel:0974927346

Tóm tắt

Việc thiết kế mô hình khảo sát và đánh giá quỹ đạo bay tên lửa phòng không tầm thấp khi bắn các dạng mục tiêu khác nhau là cấp thiết. Mô hình này cũng tăng cường khả năng dự đoán và đưa ra quyết định chiến lược thông qua việc phân tích tương tác giữa tên lửa và các loại mục tiêu. Mô hình được thiết kế bao gồm việc tính toán và mô phỏng các tham số quan trọng của tên lửa phòng không tầm thấp. Ngoài ra, mô hình cũng xem xét các yếu tố mục tiêu như tốc độ, độ cao, và động học của chúng để đánh giá quỹ đạo bay của tên lửa và hiệu suất trong việc bắn các dạng mục tiêu khác nhau.

Từ khóa: Khảo sát quỹ đạo; tên lửa phòng không tầm thấp; độ trượt.

1. Đặt vấn đề

Tên lửa phòng không tầm thấp đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ các khu vực quan trọng khỏi các mối đe dọa từ không gian và không kích. Tuy nhiên, để đảm bảo hiệu quả và độ tin cậy của hệ thống này, việc khảo sát và đánh giá quỹ đạo bay tên lửa phòng không tầm thấp là một yếu tố quan trọng.

Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng một mô hình khảo sát quỹ đạo bay tên lửa phòng không tầm thấp, nhằm cung cấp thông tin chi tiết về hành trình, hiệu suất và độ chính xác của các tên lửa này trong quá trình tiếp cận mục tiêu. Mô hình sẽ được phát triển dựa trên các phương pháp và thuật toán tin học, nhằm tăng cường khả năng dự đoán và đánh giá độ trượt của tên lửa.

Việc nghiên cứu mô hình khảo sát quỹ đạo bay tên lửa phòng không tầm thấp có ý nghĩa quan trọng trong việc cải thiện hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống phòng không. Nếu mô hình có thể cung cấp thông tin chính xác và đáng tin cậy về quỹ đạo bay của tên lửa, các nhà quân sự và nhà thiết kế hệ thống có thể điều chỉnh và cải tiến các thành phần của hệ thống để nâng cao khả năng tiếp cận mục tiêu và đánh chặn các mối đe dọa.

2. Mô hình toán của hệ thống

Hệ phương trình mô tả chuyển động của tên lửa phòng không tầm thấp trong không gian gồm 16 phương trình [1], [4].

$$m\left(\frac{dV}{dt}\right) = \Sigma F_x = P\cos\alpha\cos\beta - X_a - G\sin\theta$$
(1)

$$m V\left(\frac{d\theta}{dt}\right) = P(\sin\alpha\cos\gamma_a + \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma_a) + Y_a\cos\gamma_a - Z_a\sin\gamma_a - G\cos\theta$$
(2)

$$-mV\left(\frac{d\Psi}{dt}\right)\cos\theta = P(\sin\alpha\,\sin\gamma_a - \cos\alpha\,\sin\beta\,\cos\gamma_a) + Y_a\sin\gamma_a + Z_a\cos\gamma_a \tag{3}$$

^{*} Email: quochv99@gmail.com

$$J_{x}\left(\frac{d\omega_{x}}{dt}\right) = \Sigma M_{x} - (J_{z} - J_{y})\omega_{y}\omega_{z}$$
(4)

$$J_{y}\left(\frac{d\omega_{y}}{dt}\right) = \Sigma M_{y} - (J_{x} - J_{z})\omega_{x}\omega_{z}$$
(5)

$$J_{z}\left(\frac{d\omega_{z}}{dt}\right) = \Sigma M_{z} - (J_{y} - J_{x})\omega_{x}\omega_{y}$$
(6)

$$\frac{dx_{0}}{dt} = V\cos\theta\cos\Psi \tag{7}$$

$$\frac{dy_{o}}{dt} = V\sin\theta \tag{8}$$

$$\frac{dz_{0}}{dt} = -V\cos\theta\sin\Psi \tag{9}$$

$$\frac{d\psi}{dt} = (\omega_y \cos\gamma - \omega_z \sin\gamma) / \cos\vartheta$$
(10)

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_y \sin \gamma + \omega_z \cos \gamma \tag{11}$$

$$\frac{d\gamma}{dt} = \omega_x - tg \,\vartheta(\omega_y \cos\gamma - \omega_z \sin\gamma) \tag{12}$$

$$\sin\theta = \sin\theta \cos\alpha \cos\beta - \cos\theta \cos\gamma \sin\alpha \cos\beta - \cos\theta \sin\gamma \sin\beta$$
(13)

$$\sin\psi\cos\theta = \sin\psi\cos\theta\cos\alpha\cos\beta + \cos\psi\sin\gamma\sin\alpha\cos\beta + \sin\psi\sin\theta\cos\gamma\sin\alpha\cos\beta - \cos\psi\cos\gamma\sin\beta + \sin\psi\sin\theta\sin\gamma\sin\beta$$
(14)

$$\sin \gamma_a \cos \theta = \sin \theta \cos \alpha \sin \beta - \cos \theta \cos \gamma \sin \alpha \sin \beta + \cos \theta \sin \gamma \cos \beta$$
(15)

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{P}{I_e} \tag{16}$$

Trong đó: ψ là góc đổi hướng; ϑ là góc chúc ngóc (góc chúc ngẳng); γ là góc nghiêng (góc xoắn, góc cren) giữa mặt phẳng đối xứng xOy của TL với mặt phẳng thẳng đứng x_gOy_g; γ_a là góc tương tự γ , nhưng thay vì mặt phẳng xOy của hệ tọa độ liên kết là mặt phẳng x_aOy_a của hệ tọa độ tốc độ; α là góc tấn; β là góc trượt (góc trượt cạnh); θ là góc nghiêng quỹ đạo; Ψ là góc hướng quỹ đạo; g là gia tốc trọng trường; V là vận tốc của TL so với mặt đất; m là khối lượng của TL; J_x, J_y, J_z là các mô-men quán tính của TL trong hệ tọa độ liên kết; ΣM_x , ΣM_y , ΣM_z là mô-men nghiêng, mô-men lắc ngang và mô-men chúc ngóc;P, I_e là lực đẩy và xung lượng riêng của động cơ; ω_x , ω_y , ω_z là các vận tốc góc của TL trong hệ tọa độ liên kết;

 X_a là lực cản trong hệ tọa độ tốc độ; Y_a là lực nâng trong hệ tọa độ tốc độ; Z_a là lực dạt sườn trong hệ tọa độ tốc độ.



Hình 1. Động hình học quá trình tự dẫn

Hệ phương trình mô phỏng bộ tọa độ mục tiêu [2]:

$$D = \sqrt{(x_{IIg} - x_{Pg})^2 + (y_{IIg} - y_{Pg})^2 + (z_{IIg} - z_{Pg})^2}$$
(17)

$$\cos(\vec{D}, \overrightarrow{O_g x_g}) = \frac{x_{IIg} - x_{Pg}}{D}$$
(18)

$$\cos(\vec{D}, \overrightarrow{O_g y_g}) = \frac{y_{\text{Lg}} - y_{\text{Pg}}}{D}$$
(19)

$$\cos(\vec{D}, \overrightarrow{O_g z_g}) = \frac{z_{\text{LIg}} - z_{\text{Pg}}}{D}$$
(20)

$$\omega_{\text{Dxg}} = \frac{1}{D} \left[v_{\text{II-Pzg}} \cos(\vec{D}, \overrightarrow{O_g y_g}) - v_{\text{II-Pyg}} \cos(\vec{D}, \overrightarrow{O_g z_g}) \right]$$
(21)

$$\omega_{\mathrm{Dy}_{g}} = \frac{1}{\mathrm{D}} \left[v_{\mathrm{II-Pzg}} \cos(\vec{D}, \overrightarrow{O_{g} x_{g}}) - v_{\mathrm{II-Px0}} \cos(\vec{D}, \overrightarrow{O_{g} z_{g}}) \right]$$
(22)

$$\omega_{\mathrm{Dz}_{g}} = \frac{1}{\mathrm{D}} \left[v_{\mathrm{II-Pyg}} \cos(\vec{D}, \overline{O_{g} x_{g}}) - v_{\mathrm{II-Pxg}} \cos(\vec{D}_{\mathrm{PII}}, \overline{O_{g} y_{g}}) \right]$$
(23)

Trong đó $\vec{D}_{\rm PII}$ [m] là véc-tơ cự ly nối tên lửa với mục tiêu; $\vec{v}_{\rm II-P}$ [m/s] là véc-tơ tốc độ tương đối giữa mục tiêu so với tên lửa; $\vec{v}_{\rm II}$, \vec{v} [m/s]: véc-tơ vận tốc của mục tiêu và tên lửa

trong HTĐ mặt đất cố định $O_g x_g y_g z_g$. Lần lượt chiếu các véc-tơ \vec{v}_{II} và \vec{v}_P xuống các trục HTĐ mặt đất cố định $O_g x_g y_g z_g$ ta sẽ nhận được các thành phần của véc-tơ tốc độ tương đối \vec{v}_{II-P} trên các trục đó là: \vec{v}_{II-Pxg} [m/s], \vec{v}_{II-Pyg} [m/s], \vec{v}_{II-Pzg} [m/s]. x_{IIg} [m], y_{IIg} [m], z_{IIg} [m] và x_{Pg} [m], y_{Pg} [m], z_{Pg} [m] lần lượt là tọa độ của mục tiêu và tên lửa trong HTĐ mặt đất cố định $O_g x_g y_g z_g$.

Sử dụng phương pháp tiếp cận tỷ lệ để dẫn tên lửa: tên lửa phòng không tầm thấp luôn được điều khiển sao cho véc-tơ tốc độ góc $\vec{\omega}_D$ [rad/s] của đường ngắm \vec{D} [m] (véc-tơ đường nối tên lửa – mục tiêu) tiến dần về 0.

Cơ cấu chấp hành (máy lái, động cơ điều khiển bằng khí thuốc) được mô tả thông qua hệ phương trình sau [2]:

$$\varphi_{\rm D} = \begin{cases} \operatorname{arctg}(\omega_{{\rm D}_{z_s}} / \omega_{{\rm D}_{y_s}}) & \operatorname{khi} & \omega_{{\rm D}_{y_s}} > \varepsilon \\ \pi + \operatorname{arctg}(\omega_{{\rm D}_{z_s}} / \omega_{{\rm D}_{y_s}}) & \operatorname{khi} & \omega_{{\rm D}_{y_s}} < \varepsilon \\ \frac{\pi}{2} \operatorname{sign}(\omega_{{\rm D}_{y_s}}) & \operatorname{khi} & \left| \omega_{{\rm D}_{y_s}} \right| < \varepsilon , \quad \operatorname{v\acute{o}i} \quad \varepsilon = 10^{-7} \frac{\mathrm{d}\hat{Q}}{\mathrm{s}} \end{cases}$$
(24)

$$u_{dk}(t) = u_s(t) + u_{tth}(t) = u_{0S} sin (w_{X1}t + j) + u_{otth} sin n(w_{Xt} + j)t$$

$$\delta(t) = \delta_{max} sign u_{dk}(t - \Delta t_{\delta})$$
(25)
(26)

$$k_{\rm dk}(t) = \begin{cases} \operatorname{sign}\left[u(t - \Delta t_{\delta})\right] & \operatorname{khi} & 0 < t \le t_{\rm dk} \\ 0 & \operatorname{khi} & t_{\rm dk} < t. \end{cases}$$
(27)

Trong đó: φ_{D} [độ] là pha tín hiệu điều khiển của tên lửa; $\omega_{Dy_{s}}$, $\omega_{Dz_{s}}$ [độ/s] là hình chiếu của véc-tơ vận tốc góc đường ngắm $\vec{\omega}_{D}$ trên các trục $O_{g}y_{g}$ và $O_{g}z_{g}$ của hệ tọa độ mặt đất cố định $O_{g}x_{g}y_{g}z_{g}$; \mathcal{E} là giá trị vô cùng bé dương (tùy chọn); $u_{dk}(t)$ là tín hiệu tổng hợp cơ cấu chấp hành của tên lửa ; k_{p} là hệ số khuếch đại tín hiệu điều khiển của tên lửa ; $k_{dk}(t)$ là hệ số tín hiệu điều khiển động cơ điều khiển bằng khí thuốc; ω_{x1} [độ/s] là vận tốc góc của tên lửa quanh trục dọc $O_{p}x_{1}$; u_{0s} , u_{0tth} [v] là biên độ của tín hiệu điều khiển và tuyến tính hóa; \mathcal{S}_{max} [độ] là góc lệch cánh lái của tên lửa ; Δt_{δ} [s] là độ trễ lật cánh lái; t_{dk} [s] là thời gian làm việc của động cơ điều khiển bằng khí thuốc; t[s] là thời điểm xét.

Bài báo tiến hành khảo sát với các trường hợp khi mục tiêu không cơ động và khi mục tiêu cơ động, trong mặt phẳng ngang với chu kỳ T và quá tải n thay đổi ở các cự ly khác nhau. Hệ số quá tải của mục tiêu có trị tuyệt đối n không đổi nhưng định kỳ cứ sau khoảng thời gian T/2 lại được đổi dấu một lần, thực hiện cơ động dạng con rắn, hình thang, con rắn và hình thang. Các loại mục tiêu và các dạng cơ động của mục tiêu được xác định bởi việc cho trước các gia tốc thành phần của nó dưới dạng các hàm tường minh theo thời gian.

3. Mô hình hóa và đánh giá kết quả

3.1. Các dữ liệu đầu vào

ſ

Các tham số quán tính, định tâm của tên lửa phòng không tầm thấp Igla sử dụng cho bài toán mô phỏng thể hiện ở bảng 1[3].

KÝ HIÊU	P (N)	m	xG	yG	zG	JxG	JyG	JzG
KI IIIÇU		(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg.mm ²)	(kg.mm ²)	(kg.mm ²)
9M39.00.00.000 (khi rời ống phóng)	4000	10,03	817,9	-0,122	-0,233	6835	1611309	1611258
9M39.00.00.000	2770	7 (0.4	705 704	0.400	0.020	5(20	112(204	110(107
(hết giai đoạn tăng tốc)	2770	/,684	705,724	-0,423	-0,029	5638	1126284	1126187
9M39.00.00.000	750	5 486	656 832	-0 442	-0.405	4489	1035360	1035336
(hết giai đoạn hành trình)	750	5,400	050,052	0,442	0,405		1055500	10555550

Bảng 1. Đặc trưng về khối lượng, momen quán tính, lực đẩy

Trên cơ sở Bảng 1 xác định được các đặc trưng khí động tính toán bằng phần mềm ANSYS/CFX và các kết quả này được đưa trực tiếp vào chương trình dạng bảng dữ liệu.

3.2. Mô hình hóa mô phỏng

Trên cơ sở mô hình toán của động lực học bay của tên lửa đã xây dựng, nhóm tác giả đã lập chương trình mô phỏng trên phần mềm Visual Basic (VB.NET). Với những đặc điểm nổi bật về khả năng dễ dàng tiếp cận cũng như tính chính xác trong lập trình và khả năng can thiệp sâu vào code chương trình của phần mềm VB.NET ta tiến hành mô phỏng quỹ đạo chuyển động bay của tên lửa phòng không tầm thấp.



Hình 2. Lưu đồ thuật toán

THAM SỐ BAN ĐẦU TÊN LỮA



MÔ PHÔNG

Hình 3. Các tham số đầu vào







Hình 5. Đồ thị các tham số tên lửa

3.3. Kết quả khảo sát

Qua quá trình khảo sát đưa ra một số kết quả sau:

Trường họp mục tiêu bay không cơ động với $v_{II} = 280$ m/s $x_{II0} = 5000$ m, $y_{II0} = 200$ m, $z_{II0} = 0$;



Hình 6. Quỹ đạo bay đối với mục tiêu không cơ động

Trường hợp mục tiêu bay dạng cơ động con rắn với $v_{II} = 280$ m/s $x_{II0} = 5000$ m, $y_{II0} = 200$ m,



Hình 7. Quỹ đạo bay với mục tiêu cơ động dạng con rắn

Trường hợp mục tiêu bay dạng cơ động hình thang với $v_{II} = 280$ m/s, $x_{II0} = 5000$ m, $y_{II0} = 200$ m, $z_{II0} = 0$.



Hình 8. Quỹ đạo bay đối với dạng mục tiêu cơ động hình thang

Trường hợp mục tiêu bay dạng cơ động con rắn và hình thang với $\nu_{\mu} = 280$ m/s, $x_{\mu 0} = 5000$ m,



Hình 9. Quỹ đạo bay đối với mục tiêu cơ động dạng con rắn và hình thang

Bảng thống kê độ trượt khi tên lửa phòng không tầm thấp bắn các dạng mục tiêu khác nhau (đơn vị tọa độ và độ trượt là m, còn vận tốc là m/s):

1580

-			-		
Loại mục tiêu	Cự ly x	Cự ly y	Cự ly z	V	Độ trượt
Không cơ động	5000	200	0	280	0,4128
Cơ động con rắn	5000	200	0	280	0,6023
Cơ động hình thang	5000	200	0	280	0,7946
Cơ đông con rắn và hình thang	5000	200	0	280	5,9664

D? .	`	DA		1 (77)	, ,		,	1	,		
Rano	/	+)~ trip	at 11 _	MI	1PNO	vor	cac	nhirano	an	muc fi	011
Dung 1	<u>.</u>	$D_{\mathcal{V}}$ ii ii	Çî I L	1111	ung	101	cuc	phaong	un	mục u	cu

4. Kết luận

Bài báo đã xây dựng mô hình khảo sát đánh giá quỹ đạo bay tên lửa phòng không tầm thấp khi bắn các mục tiêu khác nhau dựa trên cơ sở khoa học về động lực học, động hình học, phương pháp dẫn. Mô hình khảo sát với tham số đầu vào tương ứng với tên lửa Igla. Kết quả của mô hình khi áp dụng vào các tình huống bắn các dạng mục tiêu khác nhau đã cho thấy sự tương đối sát thực so với các tài liệu lý thuyết đã được công bố [5]. Điều này làm tăng tính tin cậy của mô hình và chứng minh khả năng ứng dụng của nó trong việc đánh giá và dự đoán quỹ đạo bay của tên lửa phòng không tầm thấp. Ngoài ra, mô hình này có tiềm năng để nghiên cứu và phát triển, nhằm khảo sát các loại tên lửa phòng không tầm trung và cao. Điều này giúp cung cấp những thông tin quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả chiến đấu.

Tài liệu tham khảo (References)

- Nguyễn Đức Cương (2002), Mô hình hóa và mô phỏng chuyển động của các khí cụ bay tự động, Nhà xuất bản QĐND, Hà Nội.
- Tô Văn Dực, Nguyễn Văn Sơn, Phạm Vũ Uy (2006), Động học bay và nguyên lý dẫn khí cụ bay điều khiển một kênh, Nhà xuất bản KHKT, Hà Nội.
- 3. Nguyễn Đức Cương, Đỗ Quý Thẩm (2002), Mô phỏng số chuyển động của khí cụ bay tự dẫn có hệ thống điều khiển một kênh, Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị cơ học toàn quốc lần thứ bảy, Hà Nội.
- 4. 4. Голубев И. С. и другие (1999), Проектирование зенитных управляемых ракет М., МАИ.
- 5. В. М. Кашин, А. Л. Лифиц, М. И. Ефремов (2014), Основы проектирования переносных зенитных ракетных комплексов, Москва.

Designing a model to assess the trajectory of low-range air defense missiles when engaging various target types.

Abstract: Designing a model to survey and evaluate the trajectory of low-range air defense missiles when engaging different target types is essential. This model enhances predictive capabilities and strategic decisionmaking by analyzing the interaction between the missiles and various targets. The designed model involves computing and simulating the crucial parameters of the low-range air defense missiles. Additionally, it takes into account target factors such as speed, altitude, and dynamics to assess the missile's trajectory and its effectiveness in engaging different target types.

Keywords: Trajectory survey; low-range air defense missiles; miss distance.

1581

Xây dựng mô hình mạng BAYES giải bài toán tự động đánh giá tình huống trên không Nguyễn Xuân Trường¹, Vũ Hỏa Tiễn¹, Nguyễn Quang Thi¹, Bùi Đức Thắng¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Bài báo trình bày phương pháp giải bài toán tự động đánh giá tình huống trên không dựa trên mô hình mạng Bayes, sử dụng kỹ thuật học máy (Machine Learning – ML) để luyện mạng, xác định bộ tham số mạng tối ưu bằng thuật toán ước lượng khả năng tối đa (Maximum Likelihood Estimation – MLE). Mô hình mạng Bayes sau khi luyện được thử nghiệm trên môi trường phát triển Spyder, ngôn ngữ lập trình Python và bộ thư viện pgmpy để tính toán mức nguy hiểm của mục tiêu và đánh giá độ tin cậy. Bằng kết quả thực nghiệm chứng minh, mô hình mạng Bayes đề xuất đã khắc phục được một số nhược điểm của các mô hình mạng Bayes đề xuất trước đó và có khả năng sử dụng để phát triển các mô đun phần mềm trong hệ thống TĐH CH-ĐK phòng không thời gian thực.

Từ khóa: mạng Bayes, học máy, giá trị nguy hiểm, chỉ huy – điều khiển.

1. Đặt vấn đề

Trong hệ thống TĐH CH-ĐK phòng không, việc đánh giá tình huống trên không là một quá trình liên tục, nhằm xác định giá trị tức thời mức nguy hiểm của mục tiêu đường không khi tiếp cận đối tượng mặt đất cần được bảo vệ bởi lưới hỏa lực phòng không [1, 2, 3]. Do thông tin đầu vào của bài toán đánh giá tình huống được thu thập từ nhiều nguồn cảm biến (ra đa) không đồng nhất, không chắc chắn trong bối cảnh tác chiến phòng không phức tạp và bị can nhiễu, nên phương pháp giải bài toán phải có khả năng ước lượng, suy luận đối với nguồn thông tin đầu vào thiếu tin cậy, thậm chí không đầy đủ. Theo truyền thống, việc đánh giá mức nguy hiểm của mục tiêu được thực hiện bởi các chuyên gia phòng không dựa trên kinh nghiệm và phương pháp là định tính trên cơ sở các tham số quỹ đạo của mục tiêu đo được.

Bài báo trình bày phương pháp đánh giá mức nguy hiểm của mục tiêu đường không dựa trên suy luận mạng Bayes. Phương pháp suy luận dựa trên phân tích mối quan hệ giữa giá trị thông tin đầu vào và giá trị mức nguy hiểm của mục tiêu, kết hợp với kinh nghiệm chuyên gia cũng như xác suất thống kê cho trước để tính toán giá trị mức nguy hiểm của mục tiêu. Phương pháp được phát triển trên cơ sở lý thuyết: mạng xác suất Bayes của Pearl năm 1986. Mạng Bayes được N. Okello và G. Thorns sử dụng [4], để đánh giá mức nguy hiểm của mục tiêu. Nó được triển khai trên bộ công cụ mạng Bayes của Murphy với phép tính xấp xỉ Gaussian tuyến tính. Johansson và Falkman [5, 6] áp dụng mạng Bayes cho một kịch bản phòng không (năm 2008). Sushil Kumar và cộng sự [7] xây dựng một mô hình đánh giá mức nguy hiểm của mục tiêu động sử dụng mạng Bayes. Khả năng suy luận mạnh mẽ của mạng Bayes kết hợp với mạng nơ-ron lan truyền ngược (Back-Propagation) được Haiyan Yang và cộng sự [8] sử dụng để tính giá trị mức đe dọa toàn cục bằng cách kết hợp giá trị động và tĩnh.

Mạng Bayes được sử dụng rộng rãi để xây dựng các mô hình đánh giá mức nguy hiểm của mục tiêu. Tuy nhiên, có một số vấn đề vẫn chưa được trình bày cụ thể và giải quyết triệt để trong các công bố đã nêu, đặc biệt là việc xác định các tham số bảng xác suất có điều kiện và các tham số mạng. Các tham số được sử dụng để mô phỏng và đánh giá mạng, đề xuất trong các công bố, đều là giả định. Vì vậy, bài báo đề xuất một phương pháp xây dựng mô hình đánh giá tình huống trên không dựa trên mạng Bayes, sử dụng kỹ thuật học máy (Machine Learning – ML) để luyện mạng, xác định bộ tham số mạng bằng thuật toán ước lượng khả năng tối đa (Maximum Likelihood Estimation - MLE). Mô hình mang Bayes đề xuất được xây dựng và thử nghiệm với các kịch bản phòng không khác nhau, sử dụng bộ thư viên **pgmpy** [9], ngôn ngữ lập trình Python trên môi trường phát triển Spyder và so sánh kết quả với mô hình Lôgic mờ trình bày trong [10].

2. Xây dựng mô hình đánh giá tình huống trên không dựa trên mạng Bayes

2.1. Mô hình toán học bài toán tự động đánh giá tình huống trên không

Bài toán tự động đánh giá tình huống trên không có mục đích chuyển đối giá trị mức độ nguy hiểm của mục tiêu đường không từ định tính thành giá trị định lượng, được gọi là *giá trị mức nguy hiểm của mục tiêu* [3, 5]. Tự động đánh giá tình huống trên không là một quá trình liên tục, theo thời gian thực, nhằm xác định mức độ nguy hiểm của các mục tiêu đối với các đối tượng mặt đất cần bảo vệ. Đây là bài toán phức tạp do có những yêu cầu cao về khả năng xử lý, mức độ tổng hợp thông tin từ nhiều quỹ đạo và yêu cầu đảm bảo thời gian thực. Bài toán tự động đánh giá tình huống trên không được mô tả thông qua tập hợp các biến, tham số cụ thể và minh họa trong Hình 1. Trong đó: $\mathbf{T} = \{T_1, T_2, ..., T_n\}$ là tập hợp mục tiêu được phát hiện bởi các cảm biến (ra đa); $\mathbf{O} = \{O_1, O_2, ..., O_m\}$ là tập hợp các đối tượng cần bảo vệ; V_{ij} giá trị mức nguy hiểm của một mục tiêu đối với một đối tượng cần bảo vệ



Hình 1: Mô hình bài toán tự động đánh giá tình huống trên không

Bài toán đánh giá tình huống trên không là tạo ra hàm f ánh xạ từng cặp mục tiêu và đối tượng cần bảo vệ (T_i, O_j) thành giá trị mức nguy hiểm V_{ij} (trong đó $T_i \in \mathbf{T}$ và $O_j \in \mathbf{O}$. Để thuận tiện, phạm vi giá trị nguy hiểm của mục tiêu V_{ij} xác định trong khoảng [0,1]. Trong đó 0 là giá trị mức nguy hiểm thấp nhất, còn 1 là giá trị nguy hiểm cao nhất. Do đó, cần phải xây dựng một hàm f sao cho:

$$f:\mathbf{T}\times\mathbf{O}\to[0,1] \tag{5}$$

Giá trị mục tiêu V_i có thể được tổng hợp từ các giá trị mức nguy hiểm V_{ij} có tính tới trọng số $\omega \in [0,1]$ phản ánh giá trị mức độ ưu tiên bảo vệ của đối tượng. Khi đó, giá trị mục tiêu V_i được tính ở dạng trung bình có trọng số trong biểu thức (6).

$$V_{i} = \frac{\sum_{j=1}^{m} V_{ij} \omega_{j}}{\sum_{j=1}^{m} \omega_{j}}$$
(6)

2.2. Xây dựng mô hình mạng Bayes đánh giá tình huống trên không

Mô hình mạng Bayes được xây dựng dựa trên kỹ thuật học máy và thuật toán ước lượng khả năng tối đa (MLE - Maximum Likelihood Estimation) [12] để tìm bộ tham số mạng tối ưu, được trình bày theo lưu đồ thuật toán như trong Hình 2. Dữ liệu đầu vào của bài toán gồm: thông tin về quỹ đạo bay của mục tiêu và thông tin về đối tượng cần bảo vệ. Thông tin quỹ đạo bay của mục tiêu bao gồm: Vị trí (Tọa độ) mục tiêu; Vận tốc; Độ cao; Phân loại (địch/ta); Hướng bay; Kiểu loại (tiêm kích, cường kích, trinh sát,...); Tham số bay (CPA - khoảng cách tiếp cận gần nhất của mục tiêu tới khu vực bảo vệ). Thông tin về đối tượng cần bảo vệ gồm: Vị trí; Phạm vi; Hướng bảo vệ. Xây dựng mô hình mạng Bayes theo lưu đồ Hình 2, ta thực hiện theo các bước sau:



Hình 2: Mô hình mạng Bayes đánh giá mức nguy hiểm của mục tiêu

<u>**Bước 1**</u>: Lựa chọn các biến và xác định trạng thái của chúng để đưa vào mô hình, để đánh giá mức nguy hiểm của mục tiêu đối với đối tượng cần bảo vệ, có thể sử dụng nhiều

1584

tham số khác nhau. Trong các tài liệu được công bố [5, 6, 13], tham số sử dụng để đánh giá mức nguy hiểm của mục tiêu được chia thành 3 lớp (Hình 3 a), gồm: tham số khả năng (kiểu loại mục tiêu, khả năng cơ động); tham số ý định (Cự ly, vận tốc, hướng bay) và tham số tiếp cận (khoảng cách tiếp cận d_{CPA}^{ij} , hướng tiếp cận θ_{ij} , thời gian đến điểm tiếp cận T_{CPA}^{ij}). Mô tả tương quan giữa mục tiêu và đối tượng cần bảo vệ trong Hình 3 b.

<u>Bước 2</u>: Xác định mối quan hệ "nhân – quả" giữa các biến, xây dựng mô hình cấu trúc mạng Bayes. Cấu trúc phụ thuộc giữa các biến được biểu diễn bằng các nút (mô tả các biến) và các cạnh có hướng (mô tả mối quan hệ điều kiện) dưới dạng một đồ thị xoay chiều có hướng (DAG - Directed Acyclic Graph). Các nút có quan hệ "Cha – Con" dựa trên sự phụ thuộc và hướng của các cạnh liên kết trong mô hình mạng. Bước này được thực hiện xác định một DAG mô tả tốt nhất các mối quan hệ nhân quả giữa các nút trong mạng, có thể theo hai cách: phương pháp chủ quan (bằng tay) – theo tri thức, kinh nghiệm chuyên gia và quy luật hợp lý khác; phương pháp học cấu trúc (Structure Learning).



Hình 3: a. Phân loại tham số đầu vào của bài toán đánh giá tình huống trên không b. Sơ đồ tương quan mục tiêu và đối tượng cần bảo vệ

Học cấu trúc là một nhiệm vụ đầy thách thức, với n nút, có $O(2^{n^2})$ đồ thị khác nhau, tạo thành một không gian tìm kiếm khổng lồ. Do đó, bài báo lựa chọn phương pháp xây dựng mô hình cấu trúc mạng dựa trên sự tham khảo các công bố [5, 7] và kinh nghiệm chuyên gia. Cấu trúc mô hình mạng Bayes đơn giản được xây dựng như trong Hình 4. Trong đó, giá trị mức nguy hiểm của mục tiêu phụ thuộc vào 2 biến: Kiểu loại; Tham số bay tiếp cận như trong Hình 3a. Do các tham số đầu vào của bài toán được lấy từ thông tin tình báo ra đa chỉ bao gồm các tham số chính: cự ly, vận tốc, độ cao, hướng bay nên biến Kiểu loại sẽ phụ thuộc vào Vận tốc và Độ cao; biến Tham số bay phụ thuộc vào Cự ly và Hướng tiếp cận. Ví dụ: mục tiêu tên lửa hành trình có vận tốc và độ cao thấp; máy bay ném bom chiến lược (B52) có vận tốc và độ cao lớn.



Hình 4: Cấu trúc mô hình mạng Bayes đánh giá tình huống trên không

Các biến – nút của mạng Bayes được xếp hạng theo các mức: High (H) – Cao; Medium (M) – Trung bình; Low (L) – Thấp. Kiểu loại mục tiêu được lựa chọn gồm 3 loại, tương ứng với mức nguy hiểm tăng dần: L – máy bay tiêm kích, máy bay trinh sát; M – tên lửa hành trình, tên lửa đạn đạo; H – máy bay mang vũ khí chính xác cao, máy bay ném bom. Theo giá trị vận tốc, các mục tiêu được phân loại: tốc độ thấp (< 80 m/s); cận âm (< 300 m/s); siêu âm (< 1500 m/s); siêu vượt âm (> 1500 m/s). Phân loại tham số độ cao bay của mục tiêu: cực thấp (< 200m), thấp (200m < h < 1000m), trung bình (1000m < h < 4000m), độ cao lớn > 4000m. Tham số bay được tính từ cự ly và hướng bay theo các công thức lượng giác (Hình 3b), tham số bay càng nhỏ thì mục tiêu càng nguy hiểm.

<u>Bước 3:</u> Sử dụng phương pháp học máy và thuật toán ước lượng khả năng tối đa MLE luyện mạng tìm tham số tối ưu, còn được gọi là học tham số (Parameter Learning - PL), tính các phân phối xác suất có điều kiện dựa vào dữ liệu của từng biến.

Gọi bộ dữ liệu $\mathbf{D} = \{D_1, D_2, ..., D_N\}$ với $D_t = \{x_{1t}^{k_1}, x_{2t}^{k_2}, ..., x_{nt}^{k_n}\}$ là một mẫu của tất cả các nút trong mạng Bayes, tương ứng với các tham số quỹ đạo mục tiêu tại nút đó và giá trị mức nguy hiểm của mục tiêu. Mục đích của việc học tham số (PL) theo thuật toán MLE là tìm các giá trị $\boldsymbol{\theta}$ có thể xảy ra của bộ tham số $\boldsymbol{\theta} = (\theta_1, \theta_2, ..., \theta_N)$ sao cho xác suất để các sự kiện $P(\mathbf{D}, \boldsymbol{\theta})$ xảy ra đồng thời lớn nhất. Khi đó, $P(\mathbf{D}, \boldsymbol{\theta})$ được gọi là khả năng (Likelihood). Các giá trị này phù hợp nhất với tập dữ liệu \mathbf{D} , có thể được định lượng bằng logarit hàm khả năng log $(P(D | \boldsymbol{\theta}), ký$ hiệu là $L_D(\boldsymbol{\theta})$. Giả sử các mẫu được lấy ra độc lập với các phân phối cơ bản và dựa trên các giả định độc lập có điều kiện của mạng Bayes, khi đó hàm hợp lý $L_D(\boldsymbol{\theta})$ đạt giá trị cực đại:

$$L_D(\theta) = \log \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^{q_i} \prod_{k=1}^{r_i} \theta_{ijk}^{n_{ijk}}$$
(5)

trong đó: n_{ijk} cho biết có bao nhiêu phần tử của **D** chứa cả x_i^k và pa_i^j ; r_i là số thành phần rời rạc của biến ngẫu nhiên X_i tại mỗi nút; q_i là số cách gán riêng biệt cho PA_i , nghĩa là:

1586

 $q_i = \prod_{X_i \in PA_i} r_i$; $\boldsymbol{\theta}$ là toàn bộ vectơ tham số $\theta_{ijk} = p(x_i^k | pa_i^j)$, trong đó: $i = 1, ..., n; j = 1, ..., q_i; k = 1, ..., r_i$. Mỗi một j trong pa_i^j xác định một cấu hình cho cha mẹ của X_i . Bộ dữ liệu luyện **D** gồm 200 mẫu như trong Bảng 1, được tạo ra bằng phương pháp mô phỏng và lưu ở định dạng thư mục excel (.*csv*).

STT	Kiểu loại	Cự li (km)	Phương vị (độ)	Độ cao (m)	Vận tốc (<i>m/s</i>)	Hướng bay (độ)	Tham số bay (<i>km</i>)	Mức nguy hiểm
1	3	151.6	35	6800	319	226	28.92	0.4956
2	2	157.97	56	7800	372	246	27.43	0.4968
3	3	150.7	46	6500	411	220	15.75	0.4946
4	1	125.64	68	7100	424	232	34.63	0.5952
5	2	111.99	51	6000	468	210	40.13	0.6926
6	1	131.07	50	7500	275	240	22.76	0.4971
7	3	123.12	42	6100	540	212	21.38	0.6248
8	3	91.42	35	7900	375	248	49.79	0.7362
9	1	81.14	56	3700	472	224	16.87	0.7447

Bảng 1: Mẫu dữ liệu của các biến lựa chọn trong bộ dữ liệu luyện mạng

Nếu tập dữ liệu **D** hoàn chỉnh, phương pháp MLE có thể được mô tả như một bài toán tối ưu hóa có ràng buộc, tức là tối ưu hóa hàm $L_D(\theta)$ theo các ràng buộc đẳng thức:

 $\begin{cases} \forall i = 1, ..., n; \ \forall j = 1, ..., q_i \\ g_{ij}(\theta) = \sum_{k=1}^{r_i} \theta_{ijk} - 1 = 0 \end{cases}$, trong đó, $g_{ij}(\theta) = 0$ bắt buộc các phân phối được xác định cho

từng biến được cung cấp một cấu hình "cha mẹ" tính tổng một trên tất cả các trạng thái biến. Kết quả của quá trình luyện mạng, ta thu được bảng phân phối xác suất có điều kiện của nút giá trị mức nguy hiểm của mục tiêu trong mạng Bayes (Hình 4), được trình bày trong Bảng 2.

<u>Bước 4:</u> Tính toán xác suất chung từ mạng Bayes. Cấu trúc mạng Bayes tạo ra một phân phối xác suất chung, đồng thời từ bảng phân phối xác suất có điều kiện tìm được ở Bước 3 (Bảng 2), ta tính được xác suất mức nguy hiểm của mục tiêu.

$$P(TD/E = e) = \frac{P(E = e/TD) \times P(TD)}{\sum_{TD} P(E = e)}$$
(6)

trong đó, TD – mức nguy hiểm của mục tiêu (Threat degree).

Từ cấu trúc mạng (Hình 4) và bảng xác suất có điều kiện (Bảng 2), ta có thể tính giá trị mức nguy hiểm của mục tiêu ở mức lớn – high, cho một mẫu (một quỹ đạo) có các tham số: kiểu loại mức lớn (high); tham số bay – trung bình (medium), như sau:

$$P(TD = high/E = e) = \frac{P(high) \times P(KL/high) \times P(d_{CPA}/med)}{\sum_{i=low}^{high} P(P(E = e/TD = i) \times P(TD_i))}$$
(7)

trong đó, P(high) là xác suất tiên nghiệm mức độ nguy hiểm cao của mục tiêu; P(KL/high), $P(d_{CPA}/med)$ là các xác suất có điều kiện của biến kiểu loại, tham số bay của mục tiêu tương ứng với các điều kiện ở mức cao, trung bình, giá trị của chúng được lấy trong Bảng 4.3. Tương tự, ta tính được giá trị mức nguy hiểm của mục tiêu ở mức trung bình P(TD = med | E = e); mức thấp P(TD = low | E = e).

Sau tính được xác suất hậu nghiệm của nút giá trị mức nguy hiểm trong mạng bằng (7), ta cần được chuyển đổi thành giá trị mức nguy hiểm cụ thể, bằng biểu thức (8).

 $V_{ii} = 0.9 \times P(TD = high/E = e) + 0.5 \times P(TD = med/E = e) + 0.1 \times P(TD = low/E = e)$ (8)

trong đó, 0.9, 0.5, 0.1 là các giá trị kỳ vọng ứng với mức cao, trung bình, thấp.

3. Thử nghiệm mô phỏng và đánh giá kết quả

Để thử nghiệm mô hình mạng Bayes đánh giá tình huống trên không, ta tiến hành xây dựng và luyện mạng bằng phương pháp học máy ML sử dụng thư viện pgmpy, ngôn ngữ lập trình Python trên môi trường phát triển Spyder. Cấu trúc mạng được xây dựng như trong Hình 4, sử dụng lớp BayesianModel trong thư viện **pgmpy**. Sau khi xây dựng cấu trúc mạng, và tiền xử lý dữ liệu, ta tiến hành luyện mạng (học tham số mạng) bằng thuật toán ước lượng khả năng tối đa – MLE, thu được bảng xác suất có điều kiện của nút mạng giá trị mức nguy hiểm của mục tiêu như trong Bảng 2.

Mức nguy hiểm của mục tiêu	Kiểu loại mục tiêu			Tham số bay			
	Lớn	TB	Nhỏ	Lớn	TB	Nhỏ	
Lớn	0.78	0.12	0.1	0.63	0.2	0.17	
ТВ	0.62	0.25	0.13	0.45	0.3	0.25	
Nhỏ	0.43	0.25	0.32	0.42	0.45	0.13	

Bảng 2: Bảng xác suất có điều kiện của các nút mạng sau khi luyện tham số mạng

Thực hiện mô phỏng thử nghiệm với kịch bản phòng không thống nhất có 10 quỹ đạo mục tiêu với các tham số quỹ đạo tại thời điểm thử nghiệm trong Hình 5, và so sánh với kết quả với mô hình mờ trình bày trong [10], ta có kết quả như trong Hình 6.



Hình 5: Kịch bản phòng không với 10 quỹ đạo mục tiêu để thử nghiệm



Hình 6: Kết quả tính giá trị mức nguy hiểm của mục tiêu trong kịch bản phòng không sử dụng mô hình mạng Bayes và so sánh với mô hình mờ trong [10]

• Đánh giá kết quả thử nghiệm

Trong Hình 6, ta có thể thấy mục tiêu T_5 có giá trị nguy hiểm cao nhất $V_{5j} = 0.683$, mục tiêu T_{10} có giá trị thấp nhất $V_{10j} = 0.202$. Từ kết quả tính giá trị mức nguy hiểm bằng mô hình mạng Bayes, có thể sắp xếp các mục tiêu theo mức nguy hiểm từ cao đến thấp, thuận tiện cho việc giải bài toán lựa chọn phương tiện hỏa lực trong hệ thống TĐH CH-ĐK [11]. Khi so sánh với các mô hình mạng Bayes đề xuất trong [4, 5, 7], mô hình mạng Bayes đã đề xuất với cấu trúc cải tiến như trong Hình 4, sử dụng kỹ thuật học máy để luyện tham số mạng, có thể tính toán trực tiếp giá trị mức nguy hiểm của mục tiêu từ xác suất hậu nghiệm, như trong biểu thức (7), (8) với độ chính xác cao hơn. Tuy nhiên, khi so sánh với mô hình Lôgic mờ đề xuất trong [10], mô hình mạng Bayes đề xuất có độ phức tạp cao hơn, sử dụng nhiều tài nguyên tính toán đặc biệt trong quá trình luyện tham số mạng sử dụng phương pháp học máy. Đồng thời, độ chính xác của kết quả tính toán từ mô hình mạng Bayes đã đề xuất phụ thuộc lớn vào cấu trúc mạng và bộ mẫu dữ liệu dùng để luyện tham số mạng.

4. Kết luận

Bài báo trình bày một phương pháp giải bài toán tự động đánh giá tình huống trên không trong hệ thống TĐH CH-ĐK bằng cách xây dựng một mô hình mạng Bayes đánh giá mức nguy hiểm của mục tiêu. Cấu trúc mạng được xây dựng với các nút phù hợp với suy luận lôgic trong tác chiến phòng không và sử dụng kỹ thuật học máy (Machine Learning) để học tham số, xác định bảng xác suất có điều kiện của mạng bằng thuật toán ước lượng khả năng tối đa (Maximum Likelihood Estimation). Mô hình mạng Bayes sau khi luyện tham số có thể tính toán trực tiếp giá trị mức nguy hiểm của từng mục tiêu với đối tượng cần bảo vệ thống qua các xác suất hậu nghiệm và giá trị kì vọng ở các mức. Mô hình mạng Bayes đề xuất được thử nghiệm trên môi trường phát triển Spyder, ngôn ngữ lập trình Python và bộ thư viện pgmpy để tính toán mức nguy hiểm của mục tiêu và đánh giá độ tin cậy để phát triển các mô đun phần mềm trong hệ thống TĐH CH-ĐK phòng không.

1590

Tài liệu tham khảo

- 1. JN Roux, JH van Vuuren, "Real-time threat evaluation in a ground based air defense environment," *ORiON, ISSN 0529-191-X,* vol. 24, no. 1, pp. 75-101, ISSN 0529-191-X.
- J. Roy, S. Paradis, M. Allouche, "Threat evaluation for impact assessment in situation analysis systems," SPIE: Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition, p. 329–341, 2002.
- Jaco N. Roux, J.H. Van Vuuren, "Threat evaluation and weapon assignment decision support: A review of the state of the art," *ORiON*, vol. 23, no. 2, pp. 151-187, 2007.
- 4. Okello. N and Thorns. G, "Threat Assessment Using Bayesian Networks," in *Proceedings of the Sixth International Conference of Information Fusion* 2, 2003.
- Fredrik Johansson, Goran Falkman, "A Bayesian network approach to threat evaluation with application to an air defense scenario," in 11th International Conference on Information Fusion, Cologne, Germany, 2008.
- 6. Fredrik Johansson and Goran Falkman, "A Comparison between Two Approaches to Threat Evaluation in an Air Defense Scenario," in *DOI: 10.1007/978-3-540-88269-5_11*.
- 7. Sushil Kumara, Bipin Kumar Tripathi, "Modelling of threat evaluation for dynamic targets using bayesian network approach," in *International Conference on Emerging Trends in Engineering, Science and Technology*, doi: 10.1016/j.protcy.2016.05.112, ICETEST 2015.
- 8. Xia Chena, and Tuo Wang, "Threat Assessment of Aerial Target Based on Modified PSO Optimized BP Neural Network," in *International Journal of Control and Automation*, vol. 10, no. 2, pp. 103-114, 2017.
- 9. Ankur Ankan, "Pgmpy: Probabilistic Graphical Models using Python," SciPy 2015, 11 pp. .

Application of improved BAYES network model for air target threat assessment

Abstract: This paper presents a method to solve the problem of automatically evaluating the above problem based calculating the threat value of a air target based on the Bayesian network model, using machine learning (ML) techniques to train the network and determine the optimal set of network parameter, using Maximum Likelihood Estimation algorithm. The proposed model has been tested on the Spyder development environment, using Python programming language and pgmpy library to calculate the threat value of the target and evaluate trustworthiness. By demonstrating practical results, the Bayesian network model maker has solved some of the disadvantages of previously published proposed Bayesian network models and has the potential to be used to develop software modules. in the real-time air defense command and control automation system.

Keywords: Bayesian network, Machine learning, Air target, Threat assessment, Command – control.

Nghiên cứu tổng hợp luật dẫn và điều khiển tích hợp cho tên lửa trên cơ sở điều khiển trượt

Nguyễn Minh Tú^{1*}, Nguyễn Vĩ Thuận¹

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự *Email: minhtu1709@gmail.com; Tel:0966060121

Tóm tắt

Khả năng cơ động của mục tiêu ngày càng đa dạng và phức tạp, đòi hỏi việc tổng hợp luật dẫn và hệ thống điều khiển trên khoang tên lửa phải đáp ứng được các yêu cầu như khả năng di chuyển linh hoạt, liên tục trong các tình huống chiến đấu khác nhau. Để đạt được hiệu quả và độ chính xác trong việc tiếp cận - tiêu diệt mục tiêu cơ động cao, tên lửa phải có hằng số thời gian nhỏ và gia tốc pháp tuyến lớn. Trong một số trường hợp, việc tổng hợp luật dẫn và hệ thống điều khiển tên lửa theo phương pháp thông thường với hai vòng độc lập có hiệu quả chưa cao. Bài báo này nghiên cứu về việc tổng hợp hệ thống dẫn và điều khiển tên lửa tích hợp (Integrated Guidance and Control - IGC) dựa trên cơ sở điều khiển trượt nhằm nâng cao chất lượng vòng điều khiển và ứng dụng cho các loại tên lửa hiện đại với khả năng cơ động cao. Kết quả mô phỏng cho phép đánh giá được ưu, nhược điểm cũng như chất lượng và độ chính xác của hệ thống IGC mới được tổng hợp.

Từ khóa: Điều khiển trượt; hệ thống tích hợp IGC; tên lửa; luật dẫn tên lửa; tự lái; gia tốc pháp tuyến.

1. Đặt vấn đề

Trong xu hướng phát triển ngày càng hiện đại của các mục tiêu trên không, đặc biệt là các mối đe dọa như máy bay tiêm kích, tên lửa hành trình, UAV, ... việc nâng cao hiệu quả bài toán tên lửa đánh chặn mục tiêu đóng vai trò quan trọng. Đối với phương pháp thiết kế hệ thống dẫn và điều khiển tên lửa thông thường sử dụng hai vòng lặp riêng biệt là thiết kế luật dẫn (vòng ngoài) và thiết kế luật điều khiển (vòng trong), sau đó kết hợp hai khâu thành một hệ thống kín (Hình 1). Tuy nhiên, với tính chất mục tiêu cơ động cao, phương pháp tiếp cận này chưa hiệu quả khi phải lặp lại nhiều lần các quá trình thiết kế.





Hình 2. Hệ thống IGC

Một phương pháp thiết kế hệ thống điều khiển tên lửa được đề xuất là thiết kế hệ thống dẫn và điều khiển tên lửa tích hợp (IGC) trên cơ sở điều khiển trượt (SMC). Đây là phương pháp nâng cao hiệu quả đánh chặn mục tiêu của tên lửa bằng cách thiết kế đồng thời hệ thống điều khiển và hệ thống dẫn với yêu cầu độ trượt nhỏ (Hình 2). Với thiết kế như vậy, hệ thống cung cấp sự đồng bộ giữa hai thành phần luật dẫn và luật điều khiển, cho phép sử dụng hiệu quả hơn các thông tin về trạng thái tên lửa trong việc thiết lập bài toán dẫn, thay vì chỉ sử dụng thông tin về gia tốc pháp tuyến của tên lửa khi thiết kế vòng lặp cho luật dẫn riêng biệt.

^{*} Email: minhtu1709@gmail.com

2. Phương pháp điều khiển trượt SMC

2.1. Điều khiển trượt SMC

Phương pháp điều khiển trượt SMC [8] là một trong các phương pháp điều khiển bền vững giải quyết bài toán điều khiển khi hệ thống có những thành phần nhiễu loạn bị chặn không biết trước, thành phần không chắc chắn hoặc chứa tham số bất định.

Mặt trượt được định nghĩa là một mặt phẳng tham số của hệ thống mà nếu tham số của hệ thống nằm trên mặt trượt sẽ thỏa mãn các yêu cầu của bài toán điều khiển. Vấn đề đặt ra là đưa các trạng thái của hệ thống về mặt trượt và duy trì trên đó một cách bền vững đối với các tác động nhiễu loạn.

Tín hiệu điều khiển trượt u có hai thành phần là tín hiệu đưa về mặt trượt u_r và tín hiệu giữ trên mặt trượt u_{eq} . Trong đó, thành phần u_r có tác dụng hiệu chỉnh quỹ đạo các trạng thái của hệ thống tiến về mặt trượt với yêu cầu cần phải biết các chặn trên của các thành phần bất định trong mô hình đối tượng; thành phần u_{eq} có tác dụng điều khiển các trạng thái bám chặt trên mặt trượt khi các trạng thái đã ở lân cận mặt trượt, đồng thời cần phải biết rõ hàm toán học phi tuyến của mô hình đối tượng. Trong thành phần u_r , tồn tại sự không liên tục của tín hiệu điều khiển này gây ra hiện tượng rung "chattering" tần số cao và có một số giải pháp được đề xuất trong tài liệu [8] như thay thế hàm dấu không liên tục bằng các hàm gần đúng ở dạng liên tục (hàm $sat(\sigma)$, $tanh(\sigma/\varepsilon)$),...

Thiết kế bộ điều khiển SMC bao gồm 03 bước: 1) Lựa chọn mặt trượt $\sigma = 0$ để đảm bảo các đặc tính động học mong muốn ổn định của hệ thống trong chế độ trượt; 2) Tính toán tín hiệu điều khiển u_{eq} khi $\dot{\sigma} = 0$ với mô hình động học của hệ thống; 3) Chọn tín hiệu điều khiển tiếp cận mặt trượt u_N để đảm bảo tính ổn định và hội tụ về mặt trượt trong thời gian hữu hạn khi $\sigma \neq 0$.

2.2. Lựa chọn mặt trượt

Đây là một phần quan trọng trong quá trình thiết kế bộ điều khiển trượt. Độ trượt ZEM thường được sử dụng như một mặt trượt để đánh giá hiệu quả của phương pháp dẫn và là một chỉ tiêu tối ưu trong điều khiển tối ưu, nó phụ thuộc vào các tham số của đường ngắm (LOS) và đặc trưng cơ động của tên lửa, mục tiêu.

2.3. Ứng dụng SMC trong xây dựng hệ thống dẫn và điều khiển tên lửa

Phương pháp điều khiển trượt được sử dụng rộng rãi để tổng hợp hệ thống dẫn và điều khiển tên lửa. Luật dẫn tên lửa theo phương pháp tiếp cận tỷ lệ (PN) sử dụng SMC để thiết kế được đề xuất trong tài liệu [3]. Mặt trượt được lựa chọn tỷ lệ với tốc độ góc quay đường ngắm LOS và gia tốc cơ động của mục tiêu được xem là thành phần không chắc chắn bị chặn. Sử dụng phương pháp số để mô phỏng, tính ưu việt hơn của SMG (Sliding mode guidance) so với phương pháp tiếp cận tỷ lệ thông thường PN được đề xuất. Trong tài liệu [7], luật dẫn sử dụng điều khiển trượt thích nghi được xây dựng. Sử dụng việc phân tích và mô phỏng, tính bền vững với các tác động nhiễu loạn và tham số thay đổi được thể hiện rõ với phương pháp này.

Bộ điều khiển và dẫn tích hợp (SMGC – Sliding mode Guidance and Control) được trình bày trong tài liệu [6] được thiết kế từ hệ thống dẫn – điều khiển 2 vòng lặp, sử dụng phương pháp backstepping và điều khiển trượt bậc cao. Vòng lặp ngoài tương đương với khâu động hình học, mặt trượt phụ thuộc vào tốc độ góc LOS được xác định bằng tốc độ góc gật của tên lửa được sử dụng như tín hiệu điều khiển. Vòng lặp trong được thiết kế để thực hiện lệnh tốc độ góc gật của tên lửa và bền vững với sự tồn tại của các thành phần không chắc chắn ở vòng lặp ngoài. Phương pháp số mô phỏng được sử dụng để thể hiện hiệu quả và tính bền vững của hệ thống tích hợp khi bám sát mục tiêu cơ động vòng tránh khi xuất hiện nhiễu loạn khí động hoặc các thành phần không chắc chắn trong khâu động học tên lửa hoặc bộ truyền động lái.

3. Xây dựng mô hình hệ thống

3.1. Các khâu động hình học và động học phi tuyến

a. Mối tương quan động hình học giữa tên lửa - mục tiêu

Xét hệ tọa độ quán tính Descartes $X_I - O_I - Z_I$ (Hình 3), ký hiệu M và T lần lượt biểu diễn cho tên lửa và mục tiêu. Tốc độ, gia tốc pháp tuyến và góc nghiêng quỹ đạo tương ứng là *V*, *a* và γ , cự ly nghiêng tên lửa - mục tiêu là *r*, góc giữa đường ngắm LOS với hướng ban đầu của tên lửa là λ .

Bỏ qua thành phần lực trọng trường, mối quan hệ động hình học tên lửa trong hệ tọa độ cực (r, λ) gắn với tên lửa như sau:

$$\dot{r} = V_r \tag{1}$$

$$\dot{t} = V_{\lambda} / r \tag{2}$$





Hình 3. Động hình học giữa tên lửa - mục tiêu

Hình 4. Mối quan hệ các góc giữa hệ tọa độ liên kết và hệ tọa độ tốc độ tên lửa

Trong đó, vận tốc tiếp cận tên lửa - mục tiêu V_r [2] có giá trị:

$$V_r = -[V_M \cos(\gamma_M - \lambda) + V_T \cos(\gamma_T + \lambda)]$$
(3)

Và vận tốc vuông góc với đường ngắm LOS V_{λ} là:

$$V_{\lambda} = -V_{M}\sin(\gamma_{M} - \lambda) + V_{T}\sin(\gamma_{T} + \lambda)$$
(4)

Thời gian bay còn lại đến mục tiêu t_{go} được xác định:

$$t_{go} = -r / V_r \tag{5}$$

b. Động học của mục tiêu và tên lửa

Giả sử mục tiêu chuyển động với tốc độ không đổi và khâu động học cơ động ngang của mục tiêu bậc nhất, mô tả bởi:

$$\dot{a}_T = (a_T^c - a_T) / \tau_T \tag{6}$$

$$\dot{\gamma}_T = a_T / V_T \tag{7}$$

Trong đó, τ_T là hằng số thời gian của khâu động học của mục tiêu và a_T^c là gia tốc lệnh cơ động của mục tiêu.

Động học tên lửa được mô tả sử dụng hệ tọa độ biểu diễn trên Hình 4, trong đó $X_{br} - M - Z_{br}$ là hệ tọa độ liên kết với X_{br} gắn với trục dọc tên lửa, $X_{bf} - M - Z_{bf}$ song song với hệ tọa độ quán tính $X_I - O_I - Z_I$ với gốc tọa độ là trọng tâm tên lửa.

Động học tên lửa trong mặt phẳng thẳng đứng được biểu diễn với hệ phương trình:

$$\begin{cases} V_{M} = [T \cos \alpha - D(\alpha, \delta)] / m \\ \dot{\alpha} = q - [T \sin \alpha + L(\alpha, \delta)] / (mV_{M}) \\ \dot{q} = M(\alpha, q, \delta) / I \\ \dot{\theta} = q \\ \dot{\delta} = (\delta^{c} - \delta) / \tau_{s} \end{cases}$$
(8)

Trong đó: q là tốc độ góc gật của tên lửa (Hình 5); m và I lần lượt là khối lượng và mô-men quán tính của tên lửa; δ là góc quay cánh lái được điều khiển bởi bộ truyền động lái dạng servo mô tả bởi mô hình động học bậc nhất với hằng số thời gian τ_s ; M là mô-men gật của tên lửa; T là lực đẩy động cơ dọc theo trục dọc tên lửa; L và D lần lượt là lực nâng và lực cản (Hình 6).



Hình 5. Tốc độ góc tên lửa trong các mặt phẳng

Hình 6. Các lực tác động lên tên lửa trong mặt phẳng thẳng đứng

Ký hiệu α và θ lần lượt là góc tấn công và góc gật của tên lửa, có mối liên hệ như sau:

$$\theta = \alpha + \gamma_M \tag{9}$$

$$\Rightarrow \dot{\alpha} = \dot{\theta} - \dot{\gamma}_M = q - \frac{a_M}{V_M} = q - \frac{m a_M}{m V_M} = q - \frac{L_\alpha \alpha + L_\delta \delta}{m V_M}$$
(10)

Với L_{α}, L_{δ} lần lượt là đạo hàm hệ số lực nâng và lực điều khiển theo α, δ .

Phương trình mô-men trong mặt phẳng thẳng đứng:

$$I\dot{q} = M_{\alpha}\alpha + M_{a}q + M_{\delta}\delta \tag{11}$$

Với $M_{\alpha}, M_{\alpha}, M_{\delta}$ lần lượt là đạo hàm mômen theo α, q, δ .

Các lực và mô-men khí động tác động lên tên lửa là phi tuyến, các hàm thành phần liên quan đến các biến α, q, δ . Bỏ qua tác động của lực đẩy và tốc độ của nó thay đổi không đáng kể, hệ phương trình (8) giảm xuống thành mô hình bậc 4 như sau:

$$\begin{cases} \dot{\alpha} = q - L(\alpha, \delta) / (mV_M) \\ \dot{q} = M(\alpha, q, \delta) / I \\ \dot{\theta} = q \\ \dot{\delta} = (\delta^c - \delta) / \tau_s \end{cases}$$
(12)

3.2. Tuyến tính hóa các khâu động hình học và động học

a. Động hình học giữa tên lửa - mục tiêu

Quan hệ động hình học giữa tên lửa và mục tiêu được tuyến tính hóa minh họa trên Hình 7, trong đó trục X dọc theo hướng đường ngắm LOS ban đầu. Giả sử tốc độ của tên lửa và mục tiêu là không đổi, vận tốc $V_r = const$, thời gian tiếp cận $t_f = -r_0 / V_r$ cố định. Do đó, thời gian t_{go} từ phương trình (5) trở thành $t_{go} = t_f - t$.



Hình 7. Quan hệ động hình học tên lửa - mục tiêu tuyến tính hóa

z là độ lệch tương đối giữa mục tiêu và tên lửa vuông góc với hướng LOS ban đầu: $z = z_T - z_M$

Các phương trình chuyển động vuông góc với LOS ban đầu là:

$$\dot{z} = V_T \sin \gamma_T - V_M \sin \gamma_M; \quad z(0) = 0 \tag{13}$$

$$\ddot{z} = a_{TN} - a_{MN}; \ \dot{z}(0) = V_T \sin \gamma_{T0} - V_M \sin \gamma_{M0}$$
 (14)

Trong đó, a_{TN} và a_{MN} lần lượt là gia tốc của mục tiêu và tên lửa vuông góc với LOS, cụ thể:

$$a_{MN} \approx a_M \cos(\gamma_{M0} - \lambda_0) \tag{15}$$

$$a_{TN} \approx a_T \cos(\gamma_{T0} + \lambda_0) \tag{16}$$

Xét tam giác "va chạm", góc đường ngắm LOS λ nhỏ nên được mô tả bằng biểu thức sau:

$$\lambda = \frac{z}{r} \tag{17}$$

Giả thiết rằng gia tốc mục tiêu là không đổi trong quá trình tên lửa tiếp cận mục tiêu, hệ kín của động học tên lửa được xấp xỉ tương đương với hệ bậc nhất với hằng số thời gian τ_M . Xét hàm truyền với gia tốc lệnh trên tên lửa a_M^c (đầu vào) và gia tốc thực tế của tên lửa a_M (đầu ra), ta có:

$$a_M = \frac{1}{1 + s\tau_M} a_M^c \tag{18}$$

Từ biểu thức (14), (18) ta xác định phương trình trạng thái của khâu động hình học trong Hình 7 có dạng như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{z} \\ \ddot{z} \\ \dot{a}_{TN} \\ \dot{a}_{MN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/\tau_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ \dot{z} \\ a_{TN} \\ a_{MN} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/\tau_M \end{bmatrix} a_M^c$$
(19)

Trong đó, vector trạng thái \mathbf{x}_{G} của bài toán dẫn được tuyến tính hóa là:

$$\mathbf{x}_{G} = \begin{bmatrix} z & \dot{z} & a_{TN} & a_{MN} \end{bmatrix}^{T}$$
(20)

Thiết lập bài toán tên lửa tiếp cận mục tiêu được theo phương pháp tiếp cận trò chơi "đuổi-bắt" [6], điều kiện kết thúc bài toán là khi vận tốc tiếp cận tên lửa - mục tiêu đổi dấu.

Hàm chỉ tiêu được sử dụng như sau:

$$J(u,v) = \frac{1}{2}Z^{2}(t_{f}) + \frac{1}{2}\int_{t}^{t_{f}} \alpha u^{2}(\tau) - \beta v^{2}(\tau)d\tau$$
(21)

Trong đó, u(t) là tín hiệu điều khiển của tên lửa, v(t) là tín hiệu điều khiển của mục tiêu, Z(t) là độ trượt ZEM.

Phương trình trạng thái của hệ thống có dạng:

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}u + \mathbf{C}v \tag{22}$$

Sử dụng vector trạng thái \mathbf{x}_{G} từ biểu thức (20), có thể viết lại như sau:

$$\dot{\mathbf{x}}_G = A_G \mathbf{x}_G + B_G a_{MN}^c + G_G a_{TN}^c \tag{23}$$

Cụ thể là:

$$\begin{bmatrix} \dot{z} \\ \ddot{z} \\ \dot{a}_{TN} \\ \dot{a}_{MN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & -1/\tau_T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/\tau_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ \dot{z} \\ a_{TN} \\ a_{MN} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/\tau_M \end{bmatrix} a_{M}^c + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1/\tau_T \\ 0 \end{bmatrix} a_{T}^c$$
(24)

Trong đó:

$$A_{G} = \begin{bmatrix} A_{G11} & A_{G12} \\ [0]_{1\times3} & -1/\tau_{M} \end{bmatrix} \text{v}\acute{o}i \ A_{G11} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1/\tau_{T} \end{bmatrix}, \ A_{G12} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}$$
(25)
$$B_{G} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/\tau_{M} \end{bmatrix}, \qquad G_{G} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1/\tau_{M} \\ 0 \end{bmatrix}$$
(26)

Và a_{TN}^c và a_{MN}^c lần lượt là gia tốc lệnh mục tiêu và tên lửa vuông góc với LOS ban đầu. b. Động học của tên lửa

Động học tên lửa trong mặt phẳng thẳng đứng được mô tả trong hệ phương trình (12):

$$\dot{\mathbf{x}}_{M} = A_{M} \mathbf{x}_{M} + B_{M} \delta^{c} \tag{27}$$

Trong đó: vector trạng thái của hệ thống $\mathbf{x}_M = \begin{bmatrix} \alpha & q & \delta \end{bmatrix}^T$ và các ma trận A_M , B_M

$$A_{M} = \begin{bmatrix} -L_{\alpha} / V_{M} & 1 & -L_{\delta} / V_{M} \\ M_{\alpha} & M_{q} & M_{\delta} \\ 0 & 0 & -1 / \tau_{s} \end{bmatrix}, \quad B_{M} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 / \tau_{s} \end{bmatrix}$$
(28)

Gia tốc pháp tuyến của tên lửa vuông góc với LOS ban đầu trong biểu thức (15) là tín hiệu điều khiển của vòng lặp ngoài cho khâu động hình học đối với hệ thống dẫn và điều khiển tên lửa:

$$a_{MN} = C_M \mathbf{x}_M \tag{29}$$

Trong đó:

$$C_{M} = \begin{bmatrix} L_{\alpha} & 0 & L_{\delta} \end{bmatrix} \cos(\gamma_{M0} - \lambda_{0})$$
(30)

c. Động học tích hợp

Vector trạng thái của bài toán dẫn và điều khiển tên lửa tích hợp IGC như sau:

$$\mathbf{x}_{GC} = \begin{bmatrix} z & \dot{z} & a_{TN} & \alpha & q & \delta \end{bmatrix}^{T}$$
(31)

Phương trình chuyển động cho trường hợp này là:

1598

$$\dot{\mathbf{x}}_{GC} = A_{GC} \mathbf{x}_{GC} + B_{GC} \delta^c + G_{GC} a_{TN}^c$$
(32)

Trong đó:

$$A_{GC} = \begin{bmatrix} A_{G11} & A_{12} \\ [0]_{3\times3} & A_{M} \end{bmatrix} \text{v}\acute{o}i \ A_{12} = \begin{bmatrix} [0]_{1\times3} \\ -C_{M} \\ [0]_{1\times3} \end{bmatrix}$$
(33)

$$B_{GC} = \begin{bmatrix} [0]_{1\times 5} & 1/\tau_s \end{bmatrix}^T, \qquad G_{GC} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1/\tau_T & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T$$
(34)

Với A_{G11}, A_M, C_M được định nghĩa trong biểu thức (25), (28), (30).

3.3. Độ trượt ZEM

a. ZEM đối với bài toán xây dựng luật dẫn độc lập

Các phương trình điều khiển (23) - (26), $\Phi_G(t_f, t)$ là ma trận chuyển đổi cơ sở [1] tương ứng với các khâu động học và được tính toán như sau:

$$\Phi_G(t_f, t) = \Phi_G(t_{go}) = \exp(A_G t_{go})$$
(35)

Với cấu trúc đơn giản của ma trận A_G , xác định được độ trượt ZEM như sau:

$$Z_G \square C_G \Phi_G(t_{go}) \mathbf{x}_G = z + \dot{z}t_{go} + a_{TN} \tau_T^2 \psi(t_{go} / \tau_T) - a_{MN} \tau_M^2 \psi(t_{go} / \tau_M)$$
(36)

Với $C_G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

Hai thành phần đầu tiên của biểu thức (36) được mô tả như một hàm số với biến của khâu động hình học là V_r và λ . Bên cạnh đó, với giả thiết sai lệch nhỏ trong tam giác "va chạm", z vuông góc với LOS ban đầu có thể tính toán xấp xỉ như sau:

$$z \approx (\lambda - \lambda_0) r \tag{37}$$

Đạo hàm hai vế phương trình (37) theo thời gian ta có:

$$z + \dot{z}t_{go} = -V_r t_{go}^2 \dot{\lambda} \tag{38}$$

Độ trượt ZEM từ phương trình (36) và (38) có dạng:

$$Z_G = -V_r t_{go}^2 \dot{\lambda} + a_{TN} \tau_T^2 \psi(t_{go} / \tau_T) - a_{MN} \tau_M^2 \psi(t_{go} / \tau_M)$$
(39)

b. ZEM đối với hệ thống IGC

Từ các biểu thức (32) - (34), ta có:

$$Z_{GC} \Box z + \dot{z}t_{go} + a_{TN}\tau_T^2 \psi(t_{go} / \tau_T) + \psi_\alpha(t_{go})\alpha + \psi_q(t_{go})q + \psi_\delta(t_{go})\delta$$
(40)

Trong đó $\psi_{\alpha}(t_{go}), \psi_{q}(t_{go})$ và $\psi_{\delta}(t_{go})$ là các hàm số của các tham số hệ thống theo thời gian t_{go} . Thay ba thành phần của biểu thức (40) thu được từ ma trận chuyển đổi được tính toán

bằng phương pháp số $\Phi_{GC}(t_{go})$ tương ứng với A_{GC} của biểu thức (33), độ trượt ZEM cho hệ thống IGC có giá trị như sau:

$$Z_{GC} = -V_r t_{go}^2 \dot{\lambda} + a_{TN} \tau_T^2 \psi(t_{go} / \tau_T) + C_{GC} \Phi_{GC}(t_{go}) \overline{\mathbf{x}}_{GC}$$
(41)

Trong đó:

$$\Phi_{GC}(t_{go}) = \exp(A_{GC}t_{go}) \tag{42}$$

$$C_{GC} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
(43)

$$\overline{\mathbf{x}}_{GC} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \alpha & q & \delta \end{bmatrix}^T \tag{44}$$

4. Tổng hợp hệ thống dẫn và điều khiển tên lửa

4.1. Hệ thống IGC sử dụng SMC (SMGC)

Đối với việc thiết kế hệ thống IGC, mô hình động hình học và động học phi tuyến đầy đủ được sử dụng. Đầu vào của hệ thống là lệnh truyền động cánh lái δ^c trong khi gia tốc lệnh của mục tiêu a_{TN}^c được xem như là nhiễu loạn. Độ trượt ZEM Z_{GC} theo biểu thức (41) xác định mặt trượt như sau:

$$\sigma_{GC} = Z_{GC} \tag{45}$$

Chọn hàm Lyapunov và đạo hàm của nó như sau:

$$\mathcal{K}_{GC} = \frac{1}{2}\sigma_{GC}^2 \tag{46}$$

$$\dot{\mathcal{K}}_{GC} = \sigma_{GC} \dot{Z}_{GC} \tag{47}$$

Vi phân hai vế biểu thức (41):

$$\dot{Z}_{GC} = -(\dot{V}_r t_{go} \dot{\lambda} + 2V_r \dot{t}_{go} \dot{\lambda} + V_r t_{go} \dot{\lambda}) t_{go} + [\dot{a}_{TN} \psi(t_{go} / \tau_T) + a_{TN} \psi'(t_{go} / \tau_T) \dot{t}_{go}] \tau_T^2 + C_{GC} [\Phi'_{GC}(t_{go}) \overline{\mathbf{x}}_{GC} \dot{t}_{go} + \Phi_{GC}(t_{go}) \dot{\overline{\mathbf{x}}}_{GC}]$$

$$\tag{48}$$

Ta có:

$$\psi'\left(\frac{t_{go}}{\tau_T}\right) = \frac{\partial\psi(t_{go} / \tau_T)}{\partial t_{go}} = \frac{t_{go} / \tau_T - \psi(t_{go} / \tau_T)}{\tau_T}$$
(49)

Giả thiết ban đầu là tốc độ của mục tiêu và tên lửa không đổi và sử dụng mối quan hệ động hình học từ phương trình (1) - (5) ta thu được:

$$\begin{cases} \dot{V}_{r} = V_{\lambda}^{2} / r + a_{M} \sin(\gamma_{M} - \lambda) + a_{T} \sin(\gamma_{T} + \lambda) \\ \dot{V}_{\lambda} = -V_{\lambda}V_{r} / r - a_{M} \cos(\gamma_{M} - \lambda) + a_{T} \cos(\gamma_{T} + \lambda) \\ \ddot{\lambda} = \dot{V}_{\lambda} / r - V_{\lambda}V_{r} / r^{2} \\ \dot{t}_{go} = -1 + \dot{V}_{r}r / V_{r}^{2} \end{cases}$$
(50)
Các khâu động học thực tế của mục tiêu và tên lửa được giả thiết liên quan xấp xỉ mô hình tuyến tính bậc nhất:

$$\begin{cases} \dot{a}_{TN} = (a_{TN}^{c} - a_{TN}) / \tau_{T} + \Delta_{aTN} \\ \dot{a}_{MN} = (a_{TN}^{c} - a_{TN}) / \tau_{M} + \Delta_{aMN} \end{cases}$$
(51)

Trong đó:

$$\begin{cases} \left| \Delta_{aTN} \right| \le \overline{\Delta}_{aTN} \\ \left| \Delta_{aMN} \right| \le \overline{\Delta}_{aMN} \end{cases}$$
(52)

Thay các phương trình (49) - (51) vào biểu thức (48), sau một số phép biến đổi, đạo hàm của ZEM được tính toán như sau:

$$\dot{Z}_{GC} = -\{V_{\lambda} + a_{TN}\tau_{T}[1 - \exp(-t_{go} / \tau_{T})]\}\dot{V}_{r}r / V_{r}^{2} + \tau_{T}(a_{TN}^{c} + \tau_{T}\Delta_{aTN})\psi(t_{go} / \tau_{T}) - t_{go}a_{MN} + C_{GC}[\Phi'_{GC}(t_{go})\bar{\mathbf{x}}_{GC}\dot{t}_{go} + \Phi_{GC}(t_{go})\dot{\bar{\mathbf{x}}}_{GC}]$$
(53)

Trong đó:

$$\Phi'_{GC}(t_{go}) = \frac{\partial \Phi_{GC}(t_{go})}{\partial t_{go}} = A_{GC} \Phi_{GC}(t_{go})$$
(54)

Xác định $\dot{\alpha}, \dot{\delta}$ trong vector $\dot{\mathbf{x}}_{GC}$ lần lượt trong tài liệu [2] và từ biểu thức (12), ta được:

$$\dot{\alpha} = q - a_M / V_M = q - (\overline{a}_M + \Delta a) / V_M \tag{55}$$

$$\dot{\delta} = \left(\delta^c - \delta\right) / \tau_s \tag{56}$$

Xác định \dot{q} được mô tả như sau:

$$\dot{q} = \bar{M}_{\alpha}^{B} \bar{f}_{3}(\alpha) + \bar{M}_{q} q + \bar{M}_{\delta} \bar{f}_{4}(\alpha + \delta) + \Delta_{q}$$
(50)

Với Δ_q là sai số bị chặn trong phương trình mô-men gật thỏa mãn $\left|\Delta_q\right| \leq \overline{\Delta}_q$.

Thay các biểu thức trên vào phương trình (46), ta có:

$$\dot{Z}_{GC} = \{V_{\lambda} + a_{TN}\tau_{T}[1 - \exp(-t_{go} / \tau_{T})] + C_{GC}\Phi_{GC}(t_{go})\overline{\mathbf{y}}_{GC}\}\dot{V}_{r}r / V_{r}^{2} + \Phi_{GC}^{(1,6)}(t_{go})\delta^{c} / \tau_{s} + \tau_{T}(a_{TN}^{c} + \tau_{T}\Delta_{aTN})\psi(t_{go} / \tau_{T}) + \Delta_{GC}$$

$$(51)$$

Trong đó, $\overline{\mathbf{y}}_{GC} = A_{GC} \overline{\mathbf{x}}_{GC}, \overline{a}_{MN} = -\overline{\mathbf{y}}_{GC}(2)$ (phần tử thứ hai của vector $\overline{\mathbf{y}}_{GC}$) và $\Phi_{GC}^{(1,6)}(t_{go})$ là phần tử thứ (1,6) của ma trận chuyển đổi được tính toán bằng phương pháp số $\Phi_{GC}(t_{go})$. Tất cả các sai số mô hình bị chặn thỏa mãn điều kiện $|\Delta_{GC}| \leq \overline{\Delta}_{GC}$.

Như vậy, bộ điều khiển IGC trên cơ sở điều khiển trượt SMC có dạng:

$$\delta^{c} = \delta^{eq} - \mu_{GC} \operatorname{sgn}(\sigma_{GC}) \tau_{s} / \Phi_{GC}^{(1,6)}(t_{go}) \delta^{c}$$
(57)

Tín hiệu điều khiển giữ trên mặt trượt là:

$$\delta^{eq} = -\left\{ V_{\lambda} + a_{TN} \tau_T [1 - \exp(\frac{-t_{go}}{\tau_T})] + C_{GC} \Phi_{GC}(t_{go}) \overline{\mathbf{y}}_{GC} \right\} \frac{\dot{V}_r r \tau_s}{V_r^2 \Phi_{GC}^{(1,6)}(t_{go})}$$
(58)

Với định nghĩa của tín hiệu điều khiển δ^c , đạo hàm trong biểu thức (47) bị chặn bởi:

$$\dot{\mathcal{K}}_{GC} \leq \left| \sigma_{GC} \right| \left(\mu_{GC} - \overline{\Delta}_{aTNc} - \overline{\Delta}_{aTN\tau} - \overline{\Delta}_{GC} \right)$$
(59)

Bằng cách điều chỉnh thỏa mãn điều kiện $\mu_{GC} > \overline{\Delta}_{aTNc} + \overline{\Delta}_{aTN\tau} + \overline{\Delta}_{GC}$, mặt trượt $Z_{GC} = 0$ trong thời gian hữu hạn. Để hạn chế hiện tượng rung "chattering", thay thế hàm sign() bằng hàm sat().

4.2. Hệ thống dẫn và điều khiển độc lập (SMG-SMC)

Bằng cách tổng hợp tương tự như hệ IGC đã nếu ở phần trước, chọn mặt trượt $\sigma_G = Z_G$. Ta thu được đạo hàm của ZEM ở vòng lặp khâu động hình học như sau:

$$\dot{Z}_{G} = -\mu_{G}\operatorname{sgn}(\sigma_{G}) + \tau_{T}(a_{TN}^{c} + \tau_{T}\Delta_{aTN})\psi(t_{go} / \tau_{T}) - \tau_{M}^{2}\psi(t_{go} / \tau_{M})\Delta_{aMN}$$
(60)

Ta thấy rằng \dot{Z}_{G} gây ra gia tốc lệnh của tên lửa a_{MN}^{c} như sau:

$$a_{MN}^{c} = a_{MN}^{eq} + \frac{\mu_{G} \operatorname{sgn}(\sigma_{G})}{\tau_{M} \psi(t_{go} / \tau_{M})}$$
(61)

Trong đó, thành phần tín hiệu điều khiển a_{MN}^{eq} có giá trị:

$$a_{MN}^{eq} = V_r r / \{V_\lambda + a_{TN} \tau_T [1 - \exp(-t_{go} / \tau_T)] - a_{MN} \tau_M [1 - \exp(-t_{go} / \tau_M]\}$$
(62)

5. Kết quả và thảo luận

Điều kiện của bài toán: Cự ly ngang ban đầu giữa tên lửa và mục tiêu r = 1000m; bộ truyền động cánh lái mũi đặc trưng bởi hằng số thời gian $\tau_s = 0.02s$, tham số mô hình tên lửa: $\overline{L}_{\alpha}^{B} = 1190 m/s^{2}, \quad \overline{L}_{\delta} = 80 m/s^{2}, \quad \overline{M}_{\alpha}^{B} = -234 s^{-2}, \quad \overline{M}_{\delta} = 160 s^{-1}, \quad \overline{M}_{q} = -5 s^{-1}, \quad a_{M}^{\max} = 40 g,$ $\tau_{M} = 0.1 s, V_{M} = 380 m/s$; tham số mục tiêu: $V_{T} = 380 m/s, a_{T}^{\max} = 40 g, \Delta T = 1 s, \Delta \phi \in [0, 1]s$ và $\tau_{T} \in [0.05, 0.2] s$.

Kết quả mô phỏng:

Hình 8 mô tả quỹ đạo bay của mục tiêu và tên lửa, trong đó vector vận tốc ban đầu dọc theo hướng LOS ban đầu. Sau một thời gian ngắn gây ra bởi sai số góc đón ban đầu, hướng LOS gần như không thay đổi trong thời gian tên lửa tiếp cận mục tiêu.

Độ trượt ZEM trong Hình 9 được tính toán bằng công thức (41) cho hệ thống IGC và công thức (39) cho hệ thống độc lập. Sai số góc đón ban đầu lớn dẫn đến độ trượt ZEM ban đầu lớn và được giảm dần khi tên lửa tiếp cận gần mục tiêu. Ngược lại với trường hợp cho hệ thống độc lập, hệ thống IGC không có độ quá chỉnh và bằng 0 sau thời gian 0,5s. Độ quá chỉnh và dao động của hệ thống độc lập xuất hiện do sự cơ động cao của mục tiêu, gây ra bởi mô hình

xấp xỉ bậc nhất của vòng lặp trong (điều khiển) và gây ra các ảnh hưởng đến chất lượng vòng ngoài (động hình học).



Hình 8. Động hình học giữa tên lửa - mục tiêu



Hình 10 thể hiện gia tốc pháp tuyến của tên lửa trong hai trường hợp tương tự nhau về biên độ và hình dạng.

Hình 11 biểu diễn góc quay cánh lái của tên lửa trong quá trình tên lửa tiếp cận mục tiêu. Đối với hệ thống độc lập, góc quay cánh lái dao động nhiều và thời điểm đầu có xuất hiện giá trị bão hòa. Ngược lại, hệ thống IGC cho góc quay cánh lái ít dao động và biên độ nhỏ hơn, tránh xuất hiện hiện tượng bão hòa trong suốt quá trình tên lửa tiếp cận mục tiêu.



Hình 10. Gia tốc pháp tuyến của tên lửa

Hình 11. Góc lệch cánh lái điều khiển tên lửa

6. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu và tổng hợp hệ thống dẫn và điều khiển tên lửa tích hợp IGC trên cơ sở điều khiển trượt SMC. Kết quả cho thấy, khi so sánh với cấu trúc thông thường hai vòng lặp riêng biệt giữa vòng điều khiển và khâu động hình học, hệ thống IGC có chất lượng tốt hơn và có ưu điểm đáng kể trong trường hợp tiêu diệt mục tiêu có tính cơ động cao, đảm bảo cho thời gian tiếp cận mục tiêu của tên lửa không bị trì hoãn như hệ thống dẫn và điều khiển độc lập, độ trượt giảm đáng kể và góc lệch cánh lái ít bị dao động khi sử dụng phương pháp SMC để tổng hợp hệ thống.

Tài liệu tham khảo

- 1. Gutman, S. (1979). On Optimal Guidance for Homing Missiles, Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 3, No. 4, pp. 296–300.
- Kim, H.-G.; Shin, J. (2022) Integrated Autopilot Guidance Based on Zero-Effort-Miss Formulation for Tail-Controlled Missiles. Appl. Sci., 12, 7120. https://doi.org/10.3390/app12147120
- 3. Moon, J., and Kim, Y. (2001). Design of Missile Guidance Law Via Variable Structure Control, Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 24, No. 6, pp. 659–664.
- 4. Shaoming He (2020). Optimal Guidance and Its Applications in Missiles and UAVs, Springer Aerospace Technology, Switzerland, pp 178-179.
- 5. Shashi Ranjan Kumar (2017). Minimum-Effort Intercept Angle Guidance with Multiple-Obstacle Avoidance, Journal of Guidance, Control, and Dynamics.
- 6. Shkolnikov, I., Shtessel, Y. B., and Lianos, D. (2001). Integrated Guidance Control System of a Homing Interceptor: Sliding Mode Approach, AIAA Paper 2001-4218.
- Xu, W., Mu, C., and Zhou, D. (1999). Adaptive Sliding-Mode Guidance of a Homing Missile, Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 22, No. 4, 1999, pp. 589–594.
- 8. Yuri Shtessel (2014). Sliding Mode Control and Observation, Birkhäuser New York, NY.

Research on synthesizing integrated guidance and control system for a missile based on sliding mode control

Abstract: The agility of targets is progressively growing in diversity and complexity, necessitating the integration of guidance laws and control systems on missile platforms to adhere to the requirements of flexible and continuous movement in diverse combat scenarios. Attaining effectiveness and precision in engaging high-mobility targets entails missiles possessing small time constants and significant linear accelerations. The conventional approach of synthesizing guidance laws and missile control systems with two separate loops has proven to be relatively ineffective in certain instances. This article presents a control framework that integrates guidance and control loops for missile systems based on sliding mode control theory to improve the performance of control loops and implement them in modern high-agility missiles. Through numerical simulations, we can evaluate the merits, drawbacks, as well as the effectiveness and precision of the IGC system.

Keywords: Sliding mode control; integrated guidance and control; missile; guidance law; autopilot; normal acceleration.

Nghiên cứu, khảo sát động lực học của bom hàng không khi lắp thêm mô đun cánh tăng tầm

Đinh Ngọc Tú^{1*}, Bùi Văn Tiến¹, Trần Mạnh Tuân²

¹Học viện kỹ thuật Quân sự ²Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự Email: ngoctu.mta.z131@gmail.com; Tel: 0988.600.757

Tóm tắt

Cải tiến bom hàng không thành bom hàng không có điều khiển nhằm tăng hiệu quả chiến đấu là một bài toán có ý nghĩa thực tiễn, đã và đang được các nước trên thế giới thực hiện. Nội dung chính của bài báo là nghiên cứu, khảo sát phương án tăng tầm xa của bom hàng không bằng việc lấp thêm mô đun cánh tăng tầm. Trong bài báo này tiến hành khảo sát, xác định các đặc trưng khí động và phân tích động lực học của bom hàng không khi lấp thêm mô đun cánh tăng tầm. So sánh và phân tích quỹ đạo bay của bom hàng không khi chưa lấp và khi lấp thêm mô đun cánh tăng tầm, từ đó đánh giá hiệu quả của phương án đưa ra. Kết quả của nghiên cứu cho thấy khi lấp thêm mô đun cánh tăng tầm từ đó đánh giá hiệu quả của phương án đưa ra. Kết quả của nghiên cứu cho thấy khi lắp thêm mô đun cánh tăng tầm thì tầm xa hoạt động của bom cải thiện rõ rệt. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu của bài báo cung cấp các thông tin quan trọng cho các nhà nghiên cứu quan tâm trong lĩnh vực cải tiến bom hàng không thành bom hàng không có điều khiển thông qua việc tối ưu khí động của mô đun cánh tăng tầm.

Từ khóa: Bom hàng không; modul cánh tăng tầm; khí động lực học; động lực học.

1. Đặt vấn đề

Đối tượng nghiên cứu của bài báo là bom FAB-500 và bom FAB-500 khi đã lắp mô đun cánh tăng tầm. Trong điều kiện bom FAB-500 không thay đổi kết cấu, hình dáng và tính năng cho trước, việc thiết kế thêm mô đun cánh tăng tầm nhằm mục đích cải thiện khả năng tác chiến xa vị trí thả bom để tránh hỏa lực phòng không của đối phương. Từ các tài liệu tham khảo được, nhóm tác giả đã xây dựng mô hình thiết kế 3D của bom FAB-500 và bom FAB-500 lắp thêm mô đun cánh tăng tầm. Các tham số thiết kế của bom và mô đun cánh tăng tầm được thể hiện qua các Hình 1 và Hình 2 [1]:



Hình 1. Kích thước bao và hình ảnh 3D của bom hàng không FAB-500.

^{*} Email: ngoctu.mta.z131@gmail.com

1605



Hình 2. Kích thước bao và mô hình 3D của Bom FAB-500 khi lắp thêm mô đun cánh tăng tầm

2. Xác định các đặc trưng khí động của bom

Trong bài báo sử dụng phương pháp mô phỏng số để xác định các đặc trưng khí động của đối tượng nghiên cứu. CFD (Computational Fluid Dynamics) là phương pháp cho phép dễ dàng mô phỏng sự chảy, truyền, dòng chất lỏng, phân bố lực thành phần lên sản phẩm. Hiện tại, CFD đã trở nên phổ biến và đóng vai trò quan trọng quá trình sản xuất thiết bị bay nói chung, các loại khí tài bay quân sự nói riêng [2]. Nó cho phép rút ngắn thời gian thực hiện trong quá trình nghiên cứu và phát triển ban đầu. Trong số các phần mềm mô phỏng phổ biến hiện nay, có thể nhắc đến một phần mềm mô phỏng mà không tốn quá nhiều tài nguyên để khai thác là Solidworks Flow Simulator - một phần mềm dựa trên nền Solidworks [3, 4]. Bài báo trình bày quá trình xác định các đặc trưng khí động của bom khi chưa lắp và bom khi lắp thêm mô đun cánh tăng tầm dưới đây bằng phần mềm SolidWorks Flow Simulator [5]. Các bước tiến hành mô phỏng CFD trên phần mềm Solidworks Flow Simulator như sơ đồ được mô tả trên Hình 3.

Các tham số đầu vào được sử dụng để mô phỏng khí động bom hàng không trong cả hai trường hợp khi chưa lắp và khi lắp thêm mô đun cánh tăng tầm được trình bày tại Bảng 1.

TT	Tham số	Giá trị
1	Áp suất khí quyển	10.332 kgf/m^2
2	Nhiệt độ	20,05 °C
3	Tốc độ dòng chảy	200; 300; 400; 500 m/s
4	Góc tấn công	$-5^{0}; 0^{0}; 5^{0}$

Bảng 1. Các tham số điều kiện mô phỏng



Hình 3. Các bước tiến hành khi mô phỏng CFD

Quá trình tính toán và kết quả mô phỏng khí động của bom hàng không khi chưa lắp và khi lắp thêm mô đun cánh tăng tầm bằng phần mềm Flow Simulator được thể hiện trên Hình 4.

Solver: Toc do 300 (Goc tan cong 0 do) (Bom thuong FAB 500.SLDASM)				- 0 X
W Goal plot 1		List of Goals		- • •
Name Current Value Progress Criterion Averaged Value Drag -146.381 kgf Achewed IT x 24803 32.0267 kgf - 148.613 kgf Urt -55.2821 kgf Michewed IT x 24803 32.0267 kgf - 148.613 kgf 28.2706	terators 400	Name Current Valu Drag -146.38 tkg Ltf -5.52821 kg MZ 94.6538 k% Truc X -16.438 tkg Truc X -16.38 tkg	e Progress Criterion Averaged Value [Attimeted (III = 2640)] 32,0267 kpt - 146613 kpt Attimeted (III = 4005, 1,179658 kpt - 56,9323 kpt Achered (III = 4005, 2,179659 kpt - 56,9323 kpt Achered (III = 4005), 1,79659 kpt - 56,9323 kpt	
🇞 Pressure(Front Plane,640x480,Auto Update)		1 Info		
Pressue 0;dtm2)	1999 & igtmr2	Parameter Status Total cells Fluid cells contacting Iterations Last iteration finished CPU time per last iter Travels Iterations per 1 travel Calculation time left Run at Number of cores Warning No warnings	Value	

Hình 4. Kết quả mô phỏng dòng chảy bao quanh bom khi chưa lắp thêm mô đun cánh tăng tầm .

Khảo sát quỹ đạo chuyển động của bom trong mặt phẳng ném. Bỏ qua ảnh hưởng của các yếu tố khí tượng. Hệ số khí động của bom trong hệ tọa độ liên kết phụ thuộc vào góc tấn và góc lệch cánh lái như sau:

1606

$$\begin{cases} C_x = C_{x0} + C_x^{\alpha} \alpha + C_x^{\delta} \delta = C_{x0} + C_x(\alpha) + C_x(\delta) \\ C_y = C_y^{\alpha} \alpha + C_y^{\delta} \delta = C_y(\alpha) + C_y(\delta) \\ m_z = m_z^{\alpha} \alpha + m_z^{\delta} \delta = m_z(\alpha) + m_z(\delta) \end{cases}$$
(1)

Trong đó, C_{x0} là hệ số lực cản khi góc tấn bằng 0 và góc lái bằng 0; C_x^{α} là đạo hàm hệ số lực cản theo góc tấn; C_x^{δ} là đạo hàm hệ số lực cản theo góc quay cánh lái; C_y^{α} là đạo hàm hệ số lực nâng theo góc tấn; C_y^{δ} là đạo hàm hệ số lực nâng theo góc quay cánh lái; m_z^{α} là đạo hàm hệ số mô men chúc ngóc theo góc tấn; m_z^{δ} là đạo hàm hệ số mô men chúc ngóc theo góc tấn; m_z^{δ} là đạo hàm hệ số mô men chúc ngóc theo góc tấn; m_z^{δ} là đạo hàm hệ số mô men chúc ngóc theo góc tấn; m_z^{δ} là đạo hàm hệ số mô men chúc ngóc theo góc lệch cánh lái $\delta = 0^0$.

Các hệ số khí động của bom phụ thuộc vào góc tấn công và góc lệch cánh lái ở các giá trị vận tốc khác nhau. Kết quả xác định các hệ số khí động của bom khi chưa lắp thêm mô đun cánh tăng tầm ở các dải vận tốc và góc tấn công khác nhau được thể hiện thông qua các bảng sau:

Hệ số $C_{x0} + C_x(\alpha)$					Hệ số $C_{y}(lpha)$				Hệ số $m_z(lpha)$				
		V (1	m/s)			V (r	n/s)		V (m/s)				
α	200	300	400	500	200	300	400	500	200	300	400	500	
-10	0,184	0,235	0,546	0,581	-0,759	-0,874	-0,874	-0,914	0,784	0,880	0,704	0,637	
-5	0,188	0,243	0,544	0,570	-0,322	-0,408	-0,399	-0,421	0,261	0,370	0,329	0,282	
0	0,187	0,207	0,507	0,558	0,010	-0,008	-0,006	0,007	-0,024	0,033	0,033	-0,001	
5	0,190	0,247	0,547	0,576	0,337	0,405	0,389	0,424	-0,293	-0,359	-0,277	-0,251	
10	0,190	0,239	0,555	0,590	0,771	0,874	0,867	0,914	-0,815	-0,863	-0,647	-0,589	
5 10	0,190 0,190	0,247 0,239	0,547 0,555	0,576 0,590	0,337 0,771	0,405 0,874	0,389 0,867	0,424 0,914	-0,293 -0,815	-0,359 -0,863	-0,277 -0,647	-(-(

Bảng 2. Hệ số khí động của bom thường theo góc tấn α

Bảng 3. Hệ số khí động của bom khi lắp thêm mô đun cánh tăng tầm theo góc tấn α

	Hệ số	$b C_{x0} +$	$C_x(\alpha)$		Hệ số $\overline{C_y}(lpha)$				Hệ số $m_z(lpha)$				
	V (m/s)					V (m/s)				V (m/s)			
α	200	300	400	500	200	300	400	500	200	300	400	500	
-5	0,470	0,725	1,088	1,129	-1,220	-1,565	-1,225	-1,012	0,423	0,539	0,344	0,500	
0	0,409	0,710	1,021	1,125	0,053	0,139	0,066	0,236	-0,019	-0,107	-0,152	-0,093	
5	0,498	0,768	1,120	1,123	1,283	1,810	1,489	1,462	-0,348	-0,590	-0,590	-0,737	

Bảng 4. Hệ số khí động của bom cánh theo góc lệch cánh lái δ

	H	Iệ số C_x	(δ)			Hệ số ($C_{y}(\delta)$		Hệ số $m_{_{\!z}}(\delta)$			
		V (1	m/s)			V (n	n/s)		V (m/s)			
δ	200	300	400	500	200	300	400	500	200	300	400	500
-15	-0,074	-0,059	-0,070	-0,057	-0,112	-0,138	-0,151	-0,138	0,235	0,293	0,270	0,267
-10	-0,038	-0,033	-0,038	-0,027	-0,075	-0,114	-0,100	-0,092	0,192	0,221	0,189	0,178
-5	-0,015	-0,010	-0,014	-0,011	-0,023	-0,045	-0,043	-0,038	0,101	0,150	0,110	0,092
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	-0,006	0,009	-0,009	-0,010	0,100	0,062	0,072	0,044	-0,068	0,034	-0,056	-0,007
10	-0,023	-0,004	-0,034	-0,030	0,147	0,113	0,110	0,081	-0,122	-0,044	-0,073	-0,047
15	-0,046	-0,032	-0,066	-0,051	0,186	0,176	0,115	0,114	-0,188	-0,133	-0,094	-0,107

3. Khảo sát quỹ đạo bay của bom

Chuyển động của bom từ khi phóng khỏi máy bay là chuyển động rơi tự do của vật rắn từ độ cao H₀ với vận tốc ban đầu là V₀ và góc phóng θ_0 (Hình 5).



Hình 5. Quỹ đạo của bom trong mặt phẳng thẳng đứng

Chuyển động của bom là chuyển động có 6 bậc tự do, tương ứng với đó là vị trí của bom so với hệ tọa độ mặt đất được xác định bởi 6 tham số: 3 tọa độ x_e , y_e và z_e của gốc tọa độ O của hệ tọa độ liên kết và 3 tọa độ góc giữa các hệ tọa độ liên kết và hệ tọa độ mặt đất. Các góc này được xác định như sau:

- Góc hướng ψ là góc giữa trục O_{ex_e} và hình chiếu của trục Ox_b lên mặt phẳng nằm ngang $O_ex_ez_e$;

- Góc tầm θ là góc giữa trục dọc Ox_b so với mặt phẳng nằm ngang $O_{exe}z_e$;

- Góc liệng γ là góc giữa trục Oy_b và mặt phẳng thẳng đứng đi qua trục dọc Ox_b.

Để xác định vị trí của bom trong không gian sử dụng hệ tọa độ mặt đất $O_e x_e y_e z_e$ và hệ tọa độ liên kết $O x_b y_b z_b$.



Hình 6. Hệ tọa độ mặt đất và hệ tọa độ liên kết; Hệ tọa độ vận tốc và hệ tọa độ liên kết

Trong quá trình bom rơi sử dụng hệ tọa độ vận tốc $Ox_w y_w z_w dể xác định vị trí của bom so với vận tốc chuyển động của khối tâm. Hệ tọa độ vận tốc có gốc toạ độ O nằm tại khối tâm bom. Trục <math>Ox_w$ trùng với véc-tơ vận tốc \vec{V} của bom. Mặt phẳng $Ox_w y_w$ trùng với mặt phẳng đối xứng bom. Trục Oz_w vuông góc với mặt phẳng $Ox_w y_w$ tạo thành hệ tọa độ tam diện thuận [9].

Vị trí của bom so với véc-tơ vận tốc chuyển động của khối tâm được xác định bằng các góc trượt cạnh β và góc tấn α . Góc trượt cạnh là góc giữa véc-tơ vận tốc \vec{V} và mặt phẳng đối xứng của bom $Ox_b y_b$. Góc tấn là góc giữa hình chiếu của véc-tơ \vec{V} lên mặt phẳng đối xứng của bom $Ox_b y_b$ và trục dọc của bom Ox_b . Quan hệ giữa các góc của hệ tọa độ liên kết và hệ tọa độ vận tốc được thể hiện trên Hình 6. Khi chuyển các tham số từ hệ tọa độ vận tốc sang hệ tọa độ liên kết sử dụng ma trận cô-sin định hướng như sau:

1608

$$C_{bw} = \begin{bmatrix} \cos\alpha\cos\beta & \sin\alpha & -\cos\alpha\sin\beta \\ -\sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha & \sin\alpha\sin\beta \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix}$$
(2)

Qua các phép biến đổi, ta nhận được hệ gồm 12 phương trình vi phân mô tả chuyển động của bom trong không gian [10] như sau:

$$\dot{V}_{xb} = -\omega_y V_{zb} + \omega_z V_{yb} + F_{xb}/m \tag{3}$$

$$\dot{V}_{yb} = -\omega_z V_{xb} + \omega_x V_{zb} + F_{yb} / m \tag{4}$$

$$\dot{V}_{zb} = -\omega_x V_{yb} + \omega_y V_{xb} + F_{zb}/m$$
⁽⁵⁾

$$\dot{\omega}_{x} = \left\{ M_{x} + \omega_{y} \omega_{z} (J_{y} - J_{z}) \right\} / J_{x}$$
(6)

$$\dot{\omega}_{y} = \left\{ M_{y} + \omega_{z} \omega_{x} (J_{z} - J_{x}) \right\} / J_{y}$$

$$\tag{7}$$

$$\dot{\omega}_z = \left\{ M_z + \omega_x \omega_y (J_x - J_y) \right\} / J_z \tag{8}$$

$$\dot{\psi} = (\omega_y \cos\gamma - \omega_z \sin\gamma) / \cos\theta \tag{9}$$

$$\theta = \omega_{y} \sin \gamma + \omega_{z} \cos \gamma \tag{10}$$

$$\dot{\gamma} = \omega_x - \tan\theta(\omega_y \cos\gamma - \omega_z \sin\gamma) \tag{11}$$

$$\dot{x}_{e} = V_{xb}\cos\psi\cos\theta - V_{yb}(\cos\psi\sin\theta\cos\gamma - \sin\psi\sin\gamma) + V_{zb}(\cos\psi\sin\theta\sin\gamma + \sin\psi\cos\gamma)$$
(12)

$$\dot{y}_{e} = V_{xb}\sin\theta + V_{yb}\cos\theta\cos\gamma - V_{zb}\cos\theta\sin\gamma$$
(13)

$$\dot{z}_{e} = -V_{xb}\sin\gamma\cos\theta + V_{yb}(\cos\psi\sin\gamma + \sin\psi\cos\theta\cos\gamma) +$$
(14)

$$+V_{zb}(\cos\psi\cos\gamma-\sin\psi\sin\theta\cos\gamma)$$

Trong đó: $\overrightarrow{V_b} = [V_{xb} \quad V_{yb} \quad V_{zb}]^T$ là véc-tơ vận tốc của bom trong hệ tọa độ liên kết Ox_{bybzb} ; $\overrightarrow{F_b} = [F_{xb} \quad F_{yb} \quad F_{zb}]^T$ là véc-tơ tổng ngoại lực tác dụng lên bom trong hệ tọa độ liên kết Ox_{bybzb} ; $\overrightarrow{\omega} = [\omega_x \quad \omega_y \quad \omega_z]^T$ là véc-tơ tốc độ góc của bom quay xung quanh các trục của hệ tọa độ liên kết Ox_{bybzb} ; m là khối lượng bom tại thời điểm khảo sát; J là mô men quán tính của bom; J_x, J_y, J_z là mô-men quán tính của bom tương ứng so với các trục của hệ tọa độ liên kết; $\overrightarrow{M} = [M_x \quad M_y \quad M_z]^T$ là mô-men tổng các ngoại lực tác dụng lên bom so với các trục của hệ tọa độ liên kết.

Hệ 12 phương trình trên có biến trạng thái là véc-tơ gồm 12 phần tử:

$$x = [V_{xb}, V_{yb}, V_{zb}, \omega_x, \omega_y, \omega_z, \psi, \theta, \gamma, x_e, y_e, z_e]$$
(15)

Do đó, ở thời điểm *t*, khi biết các tham số khối lượng, quán tính của bom, lực và mô-men tác dụng lên bom có thể giải được hệ phương trình trên và xác định được trạng thái của bom trong không gian. Điều kiện dừng được thiết lập là khi bom chạm đất: $y_e \le 0$.

Tiến hành mô phỏng xác định quỹ đạo và biến thiên vận tốc bom thường và bom có cánh (với góc lệch cánh lái lần lượt là $\delta = 0^{0}$; -5^{0} và -10^{0}) khi ném từ độ cao H₀ = 10 km với vận tốc máy bay khi ném V₀ = 350 m/s và góc ném θ_0 . Kết quả nhận được như các hình sau:

Quỹ đạo và đồ thị của vận tốc phụ thuộc vào thời gian khi $\theta_0 = 0^0$, $\theta_0 = -10^0$ và $\theta_0 = -10^0$ được thể hiện trên Hình 7, Hình 8 và Hình 9.



Hình 7. Đồ thị vận tốc và quỹ đạo của bom có cánh so với bom thường khi $\theta_0 = 0^0$.



Hình 8. Đồ thị vận tốc và quỹ đạo của bom có cánh so với bom thường khi $\theta_0 = 10^0$



Hình 9. Đồ thị vận tốc và quỹ đạo của bom có cánh so với bom thường khi $\theta_0 = -10^0$

Dễ dàng nhận thấy rằng, vận tốc rơi của bom có cánh nhỏ hơn so với bom thường do bom có cánh có khối lượng lớn hơn không đáng kể trong khi hệ số lực cản khí động lớn hơn. Chính điều đó làm cho tầm bay của bom có cánh ngắn hơn so với bom thường ở các giá trị góc lệch cánh lái nhỏ. Khi tăng góc lệch cánh lái sinh ra mô men chúc ngóc làm tăng góc tấn công của bom do đó tầm bay của bom có cánh tăng (do lực nâng tác dụng lên bom có cánh lớn hơn bom thường). Ngoài ra, từ kết quả tính toán khí động chỉ ra tại Bảng 4 ta có thể thấy bom thường có độ ổn định tĩnh cao hơn so với bom cánh. Tuy nhiên đối với bom khi lắp thêm cánh có thể sử dụng cánh lái để thay đổi giá trị lực và mô men điều khiển để làm tăng tầm xa hoạt đông.

4. Kết luận

Bài báo trình bày phương pháp xác định các hệ số khí động của bom thường và bom cánh bằng phần mềm mô phỏng số Solidworks. Giải bài toán chuyển động rơi tự do của bom và xác định được quỹ đạo bay của bom thường và bom khi lắp thêm cánh tăng tầm. Có thể thấy rằng việc lắp thêm mô đun cánh có thể làm tăng khoảng cách ném bom và đảm bảo được độ ổn định của bom khi bay. Việc thay đổi góc lệch cánh lái làm tăng đáng kể tầm bay của bom khi lắp thêm mô đun cánh tăng tầm.

Kết quả của bài báo có thể được sử dụng làm tài liệu tham khảo khi nghiên cứu và xác định các đặc trưng khí động, các đặc trưng quỹ đạo của bom hàng không làm cơ sở cho việc tối ưu thiết kế của mô đun cánh tăng tầm và cải tiến bom hàng không thành bom hàng không có điều khiển.

Tài liệu tham khảo

- 1. Di vadikgg (2015). FAB-500 M62 MPK Modello 3D. Retrieved from https://www.turbosquid.com/it/3d-models/fab500-m62-mpk-3d-model-2085323#.
- 2. Date (2005). Introduction to Computational Fluid Dynamics. Cambridge University Press, New York: Cambridge University Press.
- Andersson, B., Andersson, R., Hakansson, L., Mortensen, M., & van Wachem, B. G. M. (2012). Computational fluid dynamics for engineers. Austin, TX: Engineering Education System, 1989. Retrieved from http://www.csa.com/partners/viewrecord.php?requester=gs&collection=TRD&recid=A95

http://www.csa.com/partners/viewrecord.php?requester=gs&collection=TRD&recid=A95 42450AH.

- 4. Darlis (2016). Improvement of Spiral Flow Aortic Cannulafor Cardiopulmonary Bypass Operation. UniversitiTeknologi Mara: Tesis Doktor Falsafah.
- Zhang, Y., Zhang, Z., Luo, S., & Tian, J. (2009). Aerodynamic Numerical Simulation in the Process of Car Styling. E-Engineering & Digital Enterprise Technology Vii, Pts 1 and 2, 16–19, 862–865. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.16-19.862.
- 6. Sobachkin, A., & Dumnov, G. (2014). Numerical Basis of CAD-Embedded CFD. NAFEMS World Congress 2013, (February), 1–20. https://doi.org/10.1007/s10590-014-9157-9
- 7. Fluent Vs Solid-works Flow Simulation. (n.d.). Retrieved from https://www.cfdonline.com/Forums/main/89831-fluent-vs-solid-works-flow-simulation.html.
- 8. Đặng Ngọc Thanh (2014). Động lực học và mô phỏng chuyển động bay của tên lửa đối hạm. Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- Bộ môn tên lửa (1998). Lý thuyết bay và Hệ thống điều khiển Tên lửa phòng không. Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- 10. Лебедев А.А. Чернобровкин Л.С. (1973). Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. Москва. Издательство Машиностроение.

A study of the flight dynamic of the aerial bomb with range-increasing wing modules

Abstract: Improving aerial bombs into guided aerial bombs to increase combat effectiveness is a problem of practical significance, which has been and is being implemented by countries around the world. This article studies and examines a version to increase the range of aerial bombs by adding a wing module. In this article, we conduct a study, determine the aerodynamic characteristics and analyze the dynamics of aerial bombs when adding a wing. After analyzing the flight trajectory of the original aerial bomb and the aerial bomb with the wing module installed, the article evaluated the effectiveness of the proposed solution. The results of the study show that when adding a wing module, the bomb's operating range is significantly improved. In addition, the research results of the article provide important information for researchers interested in the field of improving aerial bombs into controlled aerial bombs through aerodynamic optimization of the wing module.

Key words: aerial bomb; range-increasing wing modules; aerodynamic characteristics; dynamics flight.

Phương pháp hiệu chỉnh quỹ đạo bằng ma trận động cơ xung và hệ thống định vị toàn cầu (GNSS)

Nguyễn Văn Tuệ^{1*}, Nguyễn Ngọc Điển¹, Nguyễn Văn Khối²

¹Học viện Kỹ thuật quân sự ²Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự Email: top.hqvn@gmaill.com; Tel: 0962392638

Tóm tắt

Nội dung bài viết trình bày các phương pháp hiệu chỉnh quỹ đạo bằng ma trận động cơ xung trên tên lửa sử dụng hệ thống dẫn đường định vị toàn cầu (GNSS). Trong thuật toán điều khiển ma trận động cơ xung, thời gian kích hoạt giữa hai lần xung kế tiếp thay vì là giá trị hằng số cho trước, được xác định theo đặc trưng của tên lửa và tham số quỹ đạo. Kết quả mô phỏng và so sánh giữa các trường hợp cho thấy, phương pháp hiệu chỉnh quỹ đạo đề xuất trong bài báo có ưu điểm hơn các phương pháp còn lại khi yêu cầu số lượng xung và giá trị mỗi xung là nhỏ nhất để đảm bảo sai lệch điểm va chạm nằm trong ngưỡng cho trước.

Từ khóa: tên lửa pháo binh, ma trận động cơ xung; bám sát quỹ đạo, dự đoán điểm va chạm.

1. Đặt vấn đề

Một trong những xu hướng hiện nay trong lĩnh vực nghiên cứu đạn pháo dẫn đường chính xác cho pháo binh là cải thiện tầm bắn và sử dụng hệ thống dẫn đường có chi phí thấp để giảm số lượng đạn tiêu thụ và giảm thiểu thiệt hại cho cơ sở hạ tầng dân sự xung quanh. Một giải pháp điều khiển phù hợp để hiệu chỉnh quỹ đạo đường đạn là sử dụng ma trận động cơ xung ngang thân một lần. Dạng điều khiển này được sử dụng trong một số tên lửa pháo binh như Accular (Israel) và Vilkha (Ukraine). Hệ thống GNSS được sử dụng để xác định vị trí, vận tốc và chuyển động quay xung quanh trục dọc (góc, vận tốc góc) thông qua cấu trúc ăng ten vá đơn [1, 2]. Các nghiên cứu và thử nghiệm đã chỉ ra, sai lệch đo góc quay quanh trục dọc có giá trị nhỏ hơn 5°. Tuy nhiên, nhược điểm của hệ thống GNSS là thời gian khởi động lớn (lên đến vài chục giây) nên do ảnh hưởng của nhiễu động ở thời điểm bắt đầu điều khiển có thể xuất hiện sai lệch lớn so với quỹ đạo tham chiếu.

Vấn đề khó khăn của cơ cấu điều khiển bằng ma trận động cơ xung là hạn chế hạn chế số lượng động cơ. Để khắc phục khó khăn này, đã có nhiều nghiên cứu trên thế giới tập trung vào xây dựng phương pháp điều khiển và được chia theo hai hướng chính: bám sát quỹ đạo tham chiếu và dự đoán điểm va chạm.

Phương pháp hiệu chỉnh bám sát quỹ đạo tham chiếu TT (The reference trajectory tracking method) [3, 4] thực hiện thuật toán kích hoạt động cơ ngang tương ứng với sai lệch vị trí của tên lửa so với quỹ đạo bay đã được xác định, đảm bảo rằng vị trí tên lửa luôn duy trì vị trí trong giới hạn yêu cầu. Mặc dù cách tiếp cận này có hiệu quả, tuy nhiên, điều đó đồng nghĩa với việc phải sử dụng một lượng lớn động cơ xung (ĐCX), đặc biệt là trong giai đoạn đầu của quá trình hiệu chỉnh quỹ đạo, làm tăng chi phí. Để giảm số lượng xung cần thiết cho quá trình hiệu chỉnh quỹ đạo [5, 6] đưa thêm vào cơ cấu điều khiển khâu giảm chấn chủ động để tính toán thời gian hợp lý giữa hai lần xung, tuy nhiên nghiên cứu này chưa khắc phục được nhược điểm của hệ thống GNSS. Để giảm số ĐCX ở giai đoạn hiệu chỉnh ban đầu, tài liệu [7] đã đề

^{*} Email: top.hqvn@gmail.com

xuất phương pháp bám sát quỹ đạo tham chiếu cải tiến MTT (Improved trajectory tracking method), trong đó bổ sung thêm điều kiện kích hoạt ĐCX, tức là tín hiệu điều khiển kích hoạt được hình thành thỏa mãn đồng thời hai điều kiện: giá trị sai lệch vượt ngưỡng và sai lệch này không có xu hướng giảm dần về không ở vị trí mục tiêu. Phương pháp này đã làm giảm đáng kể số lượng xung cần thiết cho quá trình hiệu chỉnh. Phương pháp dự đoán điểm va chạm IPP (The impact point prediction method) dựa trên lý thuyết tuyến tính đường đạn để xác định và điều chỉnh sai lệch giữa điểm va chạm dự báo và vị trí mục tiêu. Hệ phương trình vi phân mô tả chuyển động đạn đạo của tên lửa theo lý thuyết đạn đạo tuyến tính đã được tuyến tính hóa và giản lược, nhằm tối ưu hóa tốc độ tính toán của điểm chạm dự báo [8]. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là:

 Việc điều khiển theo sai lệch của điểm va chạm dự báo so với vị trí mục tiêu cần máy tính đủ mạnh với tốc độ xử lý thông tin nhanh để có thể đáp ứng yêu cầu quá trình điều khiển theo thời gian thực;

- Cần nhiều hơn thông tin từ hệ thống dẫn đường để giải bài toán xác định điểm va chạm dự báo và. Đối với tên lửa pháo binh chỉ sử dụng hệ thống dẫn đường GNSS, để hiệu chỉnh quỹ đạo theo phương pháp này cần sử dụng mô hình tuyến tính đường đạn ở dạng mô hình chất điểm [9, 10].

- Độ chính xác của điểm va chạm dự đoán ngoài phụ thuộc mô hình tuyến tính đường đạn còn phụ thuộc vào độ chính xác xác định điều kiện đầu bằng hệ thống GNSS để giải mô hình tuyến tính đường đạn sau mỗi lần hiệu chỉnh quỹ đạo.

Tuy nhiên, hiện chưa có công bố nào so sánh các phương pháp hiệu chỉnh quỹ đạo bằng ma trận động cơ xung ngang thân có tính đến đặc điểm của hệ thống dẫn đường GNSS. Trong bài báo này, trên cơ sở đối tượng điều khiển kiểu tên lửa Accular và tham số nhiễu mô hình hệ thống GNSS, nhóm tác giả tiến hành:

 Kết hợp thuật toán làm việc của ma trận động cơ xung [6] với phương pháp điều khiển TT [3], MTT [7] và IPP [10] để xây dựng thuật toán hiệu chỉnh quỹ đạo.

- Mô phỏng so sánh phương pháp TT, MTT và IPP (khi không và có kết hợp với kết quả trong [6]) theo các tham số sai lệch điểm gặp mục tiêu và số lượng xung cần kích hoạt trong cùng điều kiện bay, từ đó đưa đề xuất phương pháp hiệu chỉnh quỹ đạo cho tên lửa pháo binh chỉ sử dụng hệ thống dẫn đường định vị toàn cầu GNSS.

2. Phương pháp

2.1. Mô hình bộ điều khiển ma trận động cơ xung

Các ĐCX ngang thân chỉ sử dụng một lần nên bộ điều khiển sẽ chọn kích hoạt vị trí ĐCX thỏa mãn đủ 3 điều kiện [7]:

- ĐCX trước đó chưa được kích hoạt.

Giả sử, S là ma trận điều khiển phát xung, có N_J hàng và M_J cột với N_J – tổng số lượng xung trong một mặt và M_J – tổng số mặt phát xung. Khi đó:

Sij = 0 - xung chưa được kích hoạt;

Sij = 1 - xung đã được kích hoạt.

- Thời gian kích hoạt ĐCX tiếp theo tính từ thời điểm kích hoạt ĐCX gần nhất t^* và ngưỡng Δt_{Thres} :

$$t - t^* > \Delta t_{Thres} \tag{1}$$

- Pha của ĐCX được chọn để kích hoạt phải đảm bảo điều kiện (hình 1):

$$\left|\phi_{ji} + \phi_{\tau} + \phi_{d} - \pi - \gamma\right| \le \delta_{Thres} \tag{2}$$

Độ lệch pha γ được xác định trong hệ tọa độ liên kết theo biểu thức sau:

$$\gamma = \operatorname{mod}((\gamma_p - \gamma_t), 2\pi); \ \gamma = \operatorname{mod}(\phi, 2\pi)$$

trong đó, ϕ – góc quay quanh trục dọc tên lửa.

Pha của ĐCX được chọn được xác định như sau:

$$\phi_{Ji} = \frac{2\pi (i-1)}{N_J} \tag{4}$$

trong đó, NJ – tổng số ĐCX trong một mặt cắt.

Công thức tính góc φ_{τ} được xác định bằng phân nửa góc quay trong thời gian phụt của một ĐCX. Góc φ_d được xác định bởi độ trễ kích hoạt động cơ. Do đó,



Hình 1. Thuật toán điều khiển ma trận động cơ xung

$$\varphi_{\tau} + \varphi_d = \frac{\omega_x(\tau + \tau_d)}{2} \tag{5}$$

trong đó, τ - thời gian phụt một ĐCX; τ_d - thời gian trễ kích hoạt ĐCX.

Khai triển điều kiện (2) thu được:

$$i_1 \le i \le i_2 \tag{6}$$

trong đó,

$$i_{1} = \begin{cases} 1 + \frac{N_{J}}{2\pi} \left(-\delta_{Thres} + \pi + \gamma - \omega_{x} \frac{\tau_{J}}{2} \right) & \text{khi} \quad \gamma \leq \pi \\ 1 + \frac{N_{J}}{2\pi} \left(-\delta_{Thres} - \pi + \gamma - \omega_{x} \frac{\tau_{J}}{2} \right) & \text{khi} \quad \gamma > \pi \end{cases}; i_{2} = \begin{cases} 1 + \frac{N_{J}}{2\pi} \left(\delta_{Thres} + \pi + \gamma - \omega_{x} \frac{\tau_{J}}{2} \right) & \text{khi} \quad \gamma \leq \pi \\ 1 + \frac{N_{J}}{2\pi} \left(\delta_{Thres} - \pi + \gamma - \omega_{x} \frac{\tau_{J}}{2} \right) & \text{khi} \quad \gamma > \pi \end{cases}$$

Theo [6], trong mô hình bộ điều khiển ma trận ĐCX, ngưỡng thời gian kích hoạt thay vì giá trị hằng số ($\Delta t_{Thres} = const$), lúc này là hàm phụ thuộc vào tần số cắt ω_c theo biểu thức:

$$\Delta t_{Thres} = \frac{\pi}{\omega_c} \tag{7}$$

Giá trị tần số cắt ω_c phụ thuộc vào đặc trưng tên lửa (tiết diện đặc trưng S, chiều dài đặc trưng D, mô men quán tính I_z và đạo hàm hệ số mô men gật theo góc tấn công m_z^{α}), vận tốc V và mật độ không khí ρ theo biểu thức [11]:

$$\omega_c = V \sqrt{\frac{-m_z^{\alpha} \rho SD}{2I_z}} \tag{8}$$

2.2. Phương pháp bám sát quỹ đạo tham chiếu (TT)

Sai lệch vị trí và pha của tên lửa so với quỹ đạo bay danh định được xác định theo biểu thức sau [3]:

$$G = \sqrt{\Delta y_c^2 + \Delta z_c^2} \quad ; \quad \gamma_p = \text{mod}\left(a \tan 2\left(\frac{\Delta z_c}{\Delta y_c}\right), 2\pi\right)$$
(9)

Bộ điều khiển kích hoạt ĐCX phù hợp khi độ lớn sai lệch vượt ngưỡng, tức là:

$$G > G_{Thres} \tag{10}$$

trong đó, G_{Thres} - ngưỡng kích hoạt xung.

2.3 Phương pháp bám sát quỹ đạo tham chiếu cải tiến (MTT)

Bộ điều khiển kích hoạt ĐCX phù hợp khi độ lớn sai lệch vượt ngưỡng, đồng thời tên lửa có xu hướng ra xa vị trí mục tiêu (hình 2), tức là:

$$G_{i+1} > G_{Thres} \, \mathrm{va} \, \frac{G_{i+1}}{G_i} > \frac{x_{mt} - x_{c,i+1}}{x_{mt} - x_{c,i}}$$
(11)



Hình 2. Biểu diễn phương pháp bám sát quỹ đạo cải tiến MTT

Trong đó, $x_{c,i}$ và x_{mt} – tọa độ tên lửa, mục tiêu trong hệ tọa bám sát quỹ đạo cải tiến MTT độ phóng [11].

2.4. Phương pháp dự đoán điểm va chạm (IPP)

Mô hình dự đoán điểm va chạm ở dạng chất điểm [8] có dạng sau:

$$\begin{split} \ddot{x}_n &= -\frac{\rho S C_{x0} V_0}{2m} \dot{x}_n, \\ \ddot{y}_n &= -\frac{\rho S C_{x0} V_0}{2m} \dot{y}_n, \\ \ddot{z}_n &= -\frac{\rho S C_{x0} V_0}{2m} \dot{z}_n + g. \end{split}$$

 x_n predicted point of impact x_p, y_p, z_p m_{distg} y_p x_t, y_t, z_t z_n crossrange y_n

Sai lệch vị trí và pha của điểm va chạm dự đoán so với vị *Hình 3. Sai lệch vị trí điểm va* trí của mục tiêu được xác định theo biểu thức sau (Hình 3): *chạm dự đoán*

$$\ddot{x}_{n} = -\frac{\rho S C_{x0} V_{0}}{2m} \dot{x}_{n}, \quad \ddot{y}_{n} = -\frac{\rho S C_{x0} V_{0}}{2m} \dot{y}_{n}, \quad \ddot{z}_{n} = -\frac{\rho S C_{x0} V_{0}}{2m} \dot{z}_{n} + g.$$
(13)

(12)

Trên cơ sở mô hình bộ điều khiển (6) và các phương pháp điều khiển (3), (7) và (8), nhóm tác giả tiến hành mô phỏng các thuật toán không/có kết hợp (6) với (3), (7) và (8), từ đó so sánh các thuật toán với nhau để rút ra kết luận về phương pháp phù hợp hiệu chỉnh quỹ đạo bằng ma trận ĐCX trên tên lửa pháo binh sử dụng hệ thống dẫn đường định vị toàn cầu (GNSS).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Số liệu đầu vào

Đặc trưng cơ bản của tên lửa: Chiều dài 3996mm, kích thước 160mm, khối lượng 135kg, trọng tâm 2,017m, quán tính Ix = 0,539kg.m², Iz = 159,35kg.m².

Các tham số của bộ điều khiển: $G_{Thres} = 5m$; $\delta_{Thres} = 5^{\circ}$.

Tham số làm việc của xung: $N_J = 40$; $M_J = 2$; $T_J = 100 \div 1000N$; $\tau_d = 5ms$; $\tau = 40ms$, thời gian cháy 1,9s.

Mô hình nhiễu của hệ thống dẫn đường GNSS: Tần số cập nhật thông tin 10 Hz, Sai lệch vị trí $3\sigma = 5m$; sai lệch vận tốc $3\sigma = 0,1$ m/s; sai lệch góc $3\sigma = 5^{\circ}$.

3.2. Kết quả mô phỏng và thảo luận

Để mô phỏng thuật toán hiệu chỉnh quỹ đạo của tên lửa, đưa vào mô hình nhiễu là sai lệch góc phóng ban đầu: $\delta \theta_0 = 0, 1^0$; $\delta \psi_0 = 0, 1^0$. Kết quả mô phỏng xác định giá trị sai lệch G và số lượng xung cần kích hoạt cho quá trình hiệu chỉnh quỹ đạo tên lửa theo phương pháp TT, MTT và IPP khi $\Delta t_{Thres} = 1, 0s$ và khi Δt_{Thres} xác định theo biểu thức (7).



3.2.1 Hiệu chỉnh quỹ đạo theo phương pháp TT

Hình 4. Đồ thị sai lệch (TT) khi $\Delta t_{Thres} = 1,0$ (trên) và theo (7) (dưới)

Hình 5. Đô thị sô ĐCX kích hoạt (TT) kh $\Delta t_{Thres} = 1,0 s$ (trên) và theo (7) (dưới)

Ở thời điểm bắt đầu điều khiển (sau 22s) sai lệch so với quỹ đạo tham chiếu lớn, phương pháp TT kéo nhanh sai lệch về ngưỡng (10m) nên gây ra hiện tượng trượt và dao động quanh quỹ đạo tham chiếu. Do đó, tổng số lượng xung (80 ĐCX) cho cả quá trình bám là không đủ. Phương pháp TT kết hợp với (7) làm tăng thời gian bám theo quỹ đạo tham chiếu (hơn 100s). Tuy nhiên, tổng số ĐCX cần thiết cho cả quá trình hiệu chỉnh (hơn 140s) là không đủ.

1618



3.2.2. Hiệu chỉnh quỹ đạo theo phương pháp MTT



Hình 7. Đồ thị số ĐCX kích hoạt (MTT) khi $\Delta t_{Thres} = 1,0s$ (trên) và theo (7) (dưới)

Phương pháp hiệu chỉnh quỹ đạo MTT ứng với cả hai trường hợp $\Delta t_{Thres} = 1,0s$ và khi Δt_{Thres} kết hợp với (7) khi giá trị xung J_T \geq 500N đều cho sai lệch trong ngưỡng (10m), số ĐCX cần thiết cho quá trình hiệu chỉnh nhỏ hơn nhiều so với phương pháp TT.

Số ĐCX cần thiết cho quá trình hiệu chỉnh bằng phương pháp MTT khi kết hợp với (7) nhỏ hơn khi cố định ngưỡng thời gian kích hoạt $\Delta t_{Thres} = 1,0s$, đặc biệt ở xung J_T = 500N.

Ở giá trị xung J_T = 300N, chỉ phương pháp MTT kết hợp với (8) cho sai lệch điểm va chạm trong ngưỡng. Điều này được giải thích như sau: Theo (8), giá trị Δt_{Thres} thay đổi theo thời gian. Ở giai đoạn tiếp cận mục tiêu ta có $\Delta t_{Thres} < 1,0s$ (hình 8), do đó bộ điều khiển ma trận ĐCX sẽ kích hoạt nhiều hơn số ĐCX để giảm sai lệch điểm va chạm.



Hình 8. Đồ thị ngưỡng thời gian kích hoạt ĐCX theo (7)

3.2.3. Hiệu chỉnh quỹ đạo theo phương pháp IPP



Hình 9. Đồ thị sai lệch (IPP) khi $\Delta t_{Thres} = 1,0s$ (trên) và theo (7) (dưới)

Hình 10. Đồ thị số ĐCX kích hoạt (IPP) khi $\Delta t_{Thres} = 1,0s$ (trên) và theo (7) (dưới)

Phương pháp IPP với giá trị ngưỡng thời gian kích hoạt ĐCX $\Delta t_{Thres} = 1,0s$ không đảm bảo sai số điểm va chạm do không đủ số lượng ĐCX cho toàn bộ quá trình hiệu chỉnh. Điều này là do sai số của hệ thống GNSS và của mô hình dự đoán điểm chạm. Kết quả là sau mỗi lần cập nhật, vị trí điểm chạm dự đoán cho giá trị khác nhau nên bộ điều khiển ma trận ĐCX phải thường xuyên hiệu chỉnh sai lệch này (Hình 9).

Phương pháp IPP kết hợp với (7) làm giảm số ĐCX cần thiết cho quá trình hiệu chỉnh (khoảng 55 ĐCX). Tuy nhiên, để đảm bảo độ chính xác vị trí điểm chạm, giá trị xung cần thỏa mãn $J_T \ge 1000$ N. Giá trị này càng lớn càng gây khó khăn cho bài toán thiết kế ĐCX (hình10).

Nhận xét: So sánh các kết quả mô phỏng phương pháp hiệu chỉnh quỹ đạo TT, MTT và IPP nhận thấy, phương pháp MTT khi giá trị ngưỡng thời gian kích hoạt xung xác định theo biểu thức (7) có ưu điểm so với các phương pháp còn lại về độ chính xác, số lượng ĐCX cần kích hoạt cho quá trình hiệu chỉnh và độ lớn xung (T_J).



Hình 11. Đồ thi CEP ở

tầm bắn 20 km





Hình 12. Đồ thị CEP ở tầm bắn 20 km

Hình 13. Đồ thị CEP ở tầm bắn 20 km

Để khẳng định tính hiệu quả của phương pháp được đề xuất, nhóm tác giả thực hiện đánh giá sai số điểm chạm thông qua sai số vòng tròn xác suất tiêu diệt mục tiêu CEP (Circular Error

Probable) ở các khoảng bắn khác nhau. Mô phỏng được thực hiện cho cả hai trường hợp: điều khiển theo phương pháp được đề xuất và điều khiển không kết hợp với (7), với sai số góc phóng ban đầu dao động ngẫu nhiên từ $-0,1^{\circ}$ đến $0,1^{\circ}$ và tác động của gió dao động từ $-1 \text{ m/s} \div 1 \text{ m/s}$. Kết quả mô phỏng được thể hiện trong Hình $11 \div 13$.

4. Kết luận

Dựa trên mô hình toán được xây dựng, bài báo đã trình bày các phương pháp hiệu chỉnh quỹ đạo tên lửa sử dụng hệ thống dẫn đường định vị vệ tinh (GNSS) và thuật toán làm việc của bộ điều khiển ma trận ĐCX.

Bằng cách so sánh kết quả mô phỏng, thấy rằng phương pháp được đề xuất (MTT với ngưỡng thời gian kích hoạt động của ĐCX kết hợp với (7)) đảm bảo rằng sai lệch điểm gặp của tên lửa so với mục tiêu nhỏ hơn 10m, đồng thời yêu cầu sử dụng số lượng ĐCX ít hơn trong quá trình điều khiển so với các phương pháp TT, MTT và IPP. Giá trị CEP tính toán ở các khoảng bắn khác nhau với nhiễu đầu vào là sai số góc phóng ngẫu nhiên và tác động của gió đã khẳng định tính đúng đắn của phương pháp đề xuất (với CEP < 10 m).

Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học để tối ưu hóa bộ điều khiển và các tham số ma trận động cơ xung, đồng thời thiết kế bộ điều khiển ma trận động cơ xung ngang thân dùng một lần trên tên lửa sử dụng hệ thống dẫn đường định vị toàn cầu GNSS.

Tài liệu tham khảo

- 1. Zilong Deng, Qiang Shen and Zhaowei Deng. (2018). Roll angle measurement for a spinning vehicle based on gps signals received by a single-patch antenna. Physical Sensors, 18(10), 3479.
- Luo et al. (2016). Single antenna GPS measurement of roll rate and roll angle of spinning platform. Patent No: US 9429660B2.
- 3. Jitpraphai Thanat, Costello Mark. (2001). Dispersion reduction of a direct fire rocket using lateral pulse jets. Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 38, No. 6, pp. 929-36.
- 4. S.K. Gupta, S. Saxena, Ankur Singhal and A.K. Ghosh. (2008). Trajectory correction flight control system using pulsejet on an artillery rocket. Defence Science Journal, Vol. 58, No. 1, pp. 15-33.
- 5. Ds B. Pavkovic, M. Pavic, and D. Cuk. (2012). Frequency-modulated pulse-jet control of an artillery. Journal of Spacecraft and Rockets 49(2), 286-294.
- 6. B. Pavkovic, M. Pavic and D. Cuk. (2012). Enhancing the precision of artillery rockets using pulsejet control systems with active damping. Scientific Technical Review, 62(2),10–19.
- 7. Nguyễn Văn Khối, Trần Ngọc Quý, Nguyễn Sỹ Long, Vũ Đoàn Kết, Đồng Văn Tấn. (2022). Phương pháp hiệu chỉnh quỹ đạo bay của tên lửa kiểu A bằng ma trận động cơ xung ngang thân dùng một lần. Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số 77.
- 8. Frank Fresconi, Gene Cooper and Mark Costello. (2011). Practical assessment of real-time impact point estimators for smart weapons. Journal of Aerospace Engineering, Vol. 24, No. 1.
- 9. Adrian Szklarski, Robert Głębocki, Mariusz Jacewicz. (2020). Impact point prediction guidance parametric study for 155 mm rocket assisted artillery projectile with lateral thrusters. Archive Of Mechanical Engineering, Vol. 67.
- Robert Głębocki, Mariusz Jacewicz. (2020). Parametric Study of Guidance of a 160-mm Projectile. Aerospace, 7(5), 61.

11. Лебедев А.А, Чернобровкин Л.С. (1973). Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. Изд. 2-е, М, Машиностроение, 616с.

Methods of trajectory correction employing the pulse steering array and global navigation satellite (GNSS)

Abstract: This paper presents methods to correct trajectory of artillery rockets employing the pulsejet control systems and global navigation satellite system (GNSS). In this control algorithm, the minimum time between two consecutive pulsejets depends on physical characteristics of the rocket and trajectory parameters instead of a given constant value. The simulation results and comparison between the cases indicate that the method of trajectory correction proposed in this paper has advantages over the other methods when it requires the least number of pulsejets and the value of each pulsejet to ensure the collision point error is within a given threshold.

Keywords: Artillery missile, Pulse steering array; Trajectory tracking, Impact point prediction.

Xác định góc lệch phương thẳng đứng cho các trục hình trụ nhờ sử dụng thiết bị quán tính

Hoàng Mạnh Tưởng^{1*}

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự Email: hmanhtuong38@gmail.com; Tel: 0986523767

Tóm tắt

Trong bài báo đưa ra phương án xác định góc lệch phương thẳng đứng trục hình trụ nhờ sử dụng thiết bị quán tính. Thiết bị đo này bao gồm giá tạo chuẩn đặt trên mặt đất có gắn hai gia tốc kế đặt vuông góc với nhau và thiết bị đo cầm tay sử dụng ba con quay đo tốc độ góc. Phương thẳng đứng của vật hình trụ được xác định thông qua vector chỉ phương \vec{e} dọc theo trục của nó. Độ lệch so với phương thẳng đứng của vector \vec{e} được xác định là hình chiếu của nó lên các trục ngang của giá tạo chuẩn của thiết bị đo được xác lập sau quá trình hiệu chỉnh nhờ tín hiệu của các gia tốc kế đặt trên nó. Quá trình xác định độ lệch vector chỉ phương \vec{e} được thực hiện khi trượt thiết bị đo trên bề mặt trục hình trụ. Thuật toán xác định góc lệch so với phương thẳng đứng của trục hình trụ được khảo sát trên phần mềm Matlab Simulink.

Từ khóa: Thiết bị quán tính; phương thẳng đứng; trục hình trụ; hiệu chỉnh.

1. Đặt vấn đề

Một số trường hợp khi lắp đặt thiết lập tư thế các ống, trụ hình trụ cần hiệu chỉnh chính xác tư thế của trục của chúng theo phương thẳng đứng trong không gian. Với các bài toán này cần xác định độ lệch của trục các trục hình trụ này so với phương thẳng đứng [1-3]. Để làm được việc này trên thế giới đã sử dụng kết hợp thiết bị quang học với cảm biến gia tốc. Việc sử dụng phương án này có thể cho độ chính xác cao nhưng thiết bị quang học thường yêu cầu bảo dưỡng và không thể hoạt động được trong môi trường dưới nước hoặc môi trường không khí có độ ẩm cao.

Ngày nay để xác định được tư thế của một vật trong không gian như tên lửa, máy bay ...v.v. có thể sử dụng hệ thống dẫn đường quán tính. Hệ thống này sử dụng ba con quay và ba gia tốc kế đặt vuông góc với nhau. Tín hiệu từ các cảm biến quán tính nhận được xử lý để xác định tư thế của vật mang. Các thiết bị quán tính này có thể sử dụng là một thiết bị đa năng để giải các bài toán về xác định tư thế trục trong không gian [5-7]. Trong công bố [9] đưa ra thuật toán cho phép xác định góc tư thế trục hình trụ so với một hệ tọa độ chuẩn gắn với trái đất. Hệ tọa độ chuẩn này có thể là hệ tọa độ bất kỳ được xác định phụ thuộc vào tư thế của giá tạo tư thế chuẩn. Như vậy nếu như xác định được tư thế của hệ tọa độ chuẩn so với hệ tọa độ được định hướng theo phương ngang ta có thể xác định được các góc lệch tư thế của trục so với phương thẳng đứng.

2. Thuật toán xác định góc lệch tư thế trục hình trụ so với phương thẳng đứng

Tư thể của mỗi trục hình trụ được đặc trưng bởi một vector đơn vị \vec{e} và nó chính là vector đơn vị nằm trên trục X_r của hệ tọa độ $X_r Y_r Z_r$ nhận được bằng cách quay hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$ quanh trục Y_T và Z_T các góc ψ_r , ϑ_r tương ứng như trên Hình 1.

^{*} Email: hmanhtuong38@gmail.com



Hình 1. Xác định góc tư thế rulo hình trụ trong không gian 1- Trục hình trụ; 2 – Thiết bị đo; 3 – Giá xác lập hệ tọa độ cơ sở; 4 – Chốt định hướng

Vector chỉ phương \vec{e} cũng có thể xác định thông qua hai vector pháp tuyến \vec{n}_1, \vec{n}_2 của bề mặt vật hình trụ nhờ công thức

$$\vec{e} = \frac{\left[\vec{n}_1 \times \vec{n}_2\right]}{\sin(\vec{n}_1, \vec{n}_2)} \tag{1}$$

Để xác định các vector \vec{n}_1 , \vec{n}_2 sử dụng thiết bị đo mà trong đó ba con quay đo tốc độ góc có trục nhạy vuông góc với nhau. Tín hiệu nhận được từ các con quay đo tốc độ góc này cho phép xác định góc hướng của thiết bị đo so với vị trí ban đầu của nó. Để xác lập vị trí ban đầu cho thiết bị đo một giá kim loại đặt cố định trên mặt đất mà trên đó sử dụng các chốt định hướng sao cho khi đặt thiết bị đo dọc theo các chốt này hệ tọa độ của thiết bị đo $X_P Y_P Z_P$ trùng với hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$ như trên hình 1. Dựa vào thuật toán xử lý tín hiệu nhận được từ các con quay góc tư thế của hệ tọa độ gắn với thiết bị đo $X_P Y_P Z_P$ so với hệ tọa độ $X_T Y_T Z_T$ luôn được xác định. Điều này có nghĩa là ta có thể xác định được vector chỉ phương \vec{e}_y của trục Y_P trong hệ tọa độ $X_T Y_T Z_T$. Thiết bị đo được thiết kế có mặt phẳng đo song song với mặt phẳng $X_T Z_T$ nên vector \vec{e}_y cũng chính là vector pháp tuyến của hai mặt phẳng này. Khi đặt thiết bị đo lên mặt trục hình trụ mặt phẳng đo của nó sẽ tiếp xúc với mặt trụ này. Do đó ở vị trí đặt vector pháp tuyến của mặt phẳng đo chính là vector pháp tuyến của hai vector pháp tuyến \vec{n}_1 , \vec{n}_2 trong hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$. Sau khi xác định được tọa độ hai vector pháp tuyến \vec{n}_1 , \vec{n}_2 trong hệ

Từ công thức (1) sai số của việc xác định vector đơn vị e theo công thức (1) có thể xác định như sau

$$\delta \vec{e} \approx \frac{\left[\delta \vec{n}_1 \times \vec{n}_2\right] + \left[\vec{n}_1 \times \delta \vec{n}_2\right]}{\sin(\vec{n}_1, \vec{n}_2)} \tag{2}$$

ở đây, $\delta \vec{n}_1$ và $\delta \vec{n}_2$ là vector sai số xác định vector \vec{n}_1, \vec{n}_2 tương ứng.

Ta có bất đẳng thức

$$\left|\frac{\left[\delta\vec{n}_{1}\times\vec{n}_{2}\right]+\left[\vec{n}_{1}\times\delta\vec{n}_{2}\right]}{\sin(\vec{n}_{1},\vec{n}_{2})}\right| \leq \left|\frac{\left[\delta\vec{n}_{1}\times\vec{n}_{2}\right]}{\sin(\vec{n}_{1},\vec{n}_{2})}\right| + \left|\frac{\left[\vec{n}_{1}\times\delta\vec{n}_{2}\right]}{\sin(\vec{n}_{1},\vec{n}_{2})}\right| \leq \frac{\left|\delta\vec{n}_{1}\right|+\left|\delta\vec{n}_{2}\right|}{\left|\sin(\vec{n}_{1},\vec{n}_{2})\right|}$$
(3)

Từ bất đẳng thức (3) ta thấy nếu góc giữa vector \vec{n}_1 và \vec{n}_2 bằng 90⁰ thì sai số xác định góc hướng vector e luôn nhỏ hơn $|\delta \vec{n}_1| + |\delta \vec{n}_2| \le 2\delta_0$. Trong đó δ_0 - độ lớn sai số cực đại khi xác định vector \vec{n}_1, \vec{n}_2 nhờ thiết bị đo.

Tư thế góc hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$ được định hướng nhờ giá tạo chuẩn. Nếu trục X_T, Z_T của hệ tọa độ chuẩn nằm trong mặt phẳng ngang thì độ lệch phương thẳng đứng của trục hình trụ có thể được xác định là hình chiếu của vector \vec{e} lên các trục này. Do đó độ lệch của trục hình trụ so với phương thẳng đứng có thể được xác định bằng công thức

$$\Delta x = \vec{e} \begin{pmatrix} 1\\0\\0 \end{pmatrix}; \quad \Delta z = \vec{e} \begin{pmatrix} 0\\0\\1 \end{pmatrix} \tag{4}$$

Để xác định tư thế của giá tạo chuẩn so với mặt phẳng ngang sử dụng tín hiệu từ hai gia tốc kế. Các góc lệch tư thế của giá tạo chuẩn so với mặt phẳng ngang được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Tư thế của hệ tọa độ gắn với giá tạo chuẩn so với hệ tọa độ địa lý địa phương Các góc của hệ tọa độ giá tạo chuẩn có thể được xác định bằng các công thức sau:

$$\alpha = \arctan\frac{a_z}{g} \cong \frac{a_z}{g}; \ \beta = \arctan\frac{a_x}{g} \cong \frac{a_x}{g}.$$
(5)

Trong đó a_x , a_z - là tín hiệu đầu ra gia tốc kế đặt dọc theo trục X_T , Z_T tương ứng của giá tạo chuẩn.

Sau khi xác định được các góc lệch α, β của hệ tọa độ giá chuẩn so với hệ tọa độ địa lý địa phương thực hiện xoay nó sao cho các góc này tiến tới giá trị bằng không.

Sai số hiệu chỉnh tư thế giá tạo chuẩn phụ thuộc vào sai số gia tốc kế và có thể xác định bằng công thức:

$$\delta \alpha = \frac{\Delta a_z}{g}; \, \delta \beta = \frac{\Delta a_x}{g} \tag{6}$$

Trong đó Δa_x , Δa_z là độ trôi các gia tốc kế đặt trên các trục x, z của giá tạo chuẩn.

3. Mô phỏng thuật toán xác định góc hướng trục hình trụ

Giai đoạn hiệu chỉnh giá tạo chuẩn được thực hiện bằng việc điều chỉnh các vít sao cho góc lệch α, β tiến tới không. Ở giai đoạn này sai số phụ thuộc vào độ trôi gia tốc kế và thuật toán được thực hiện đơn giản dựa vào công thức (5). Do đó khi mô phỏng khảo sát thuật toán ta không quan tâm đến bước này mà giả định rằng giá tạo chuẩn đã được hiệu chỉnh sao cho các trục X_T, Z_T nằm trong mặt phẳng ngang. Ngoài ra, như đã chứng minh ở trên việc sử dụng tích có hướng để xác định tư thế trục hình trụ có sai số tỷ lệ với sai số thiết bị đo. Do đó, để kiểm tra đánh giá độ chính xác của phương án đưa ra ta chỉ cần mô phỏng thuật toán xác định vector chỉ phương n_i.

Quá trình thực hiện đo đạc xác định các góc tư thể trục hình trụ diễn ra theo ba giai đoạn: Giai đoạn xác định tốc độ góc tuyệt đối hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$, giai đoạn di chuyển thiết bị đo, giai đoạn thực hiện đo.

Ở giai đoạn đầu tiên thiết bị đo được đặt lên giá và nhờ các chốt định hướng trục nhạy của các con quay đo tốc độ góc dọc theo các trục hệ tọa độ $X_P Y_P Z_P$ trùng với trục tương ứng của hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$. Đầu ra của con quay đo tốc độ góc cho phép xác định vector tốc độ góc tuyệt đối của hệ tọa độ cơ sở $\hat{\omega}_{\oplus}^T$. Tín hiệu đầu ra của con quay ở giai đoạn này phụ thuộc vào vĩ độ vị trí đặt giá φ và các góc tư thế của hệ tọa độ cơ sở $\psi_0, \vartheta_0, \gamma_0$ so với hệ tọa độ địa lý địa phương theo biểu thức

$$\omega_{\oplus}^{T} = \begin{pmatrix} \cos\theta_{0}\cos\psi_{0} & \sin\theta_{0} & -\cos\theta_{0}\sin\psi_{0} \\ -\cos\gamma_{0}\cos\psi_{0}\sin\theta_{0} + \sin\gamma_{0}\sin\psi_{0} & \cos\gamma_{0}\cos\theta_{0} & \cos\gamma_{0}\sin\psi_{0}\sin\theta_{0} + \sin\gamma_{0}\cos\psi \\ \sin\gamma_{0}\cos\psi_{0}\sin\theta_{0} + \cos\gamma_{0}\sin\psi_{0} & -\sin\gamma_{0}\cos\theta_{0} & -\sin\gamma_{0}\sin\psi_{0}\sin\theta_{0} + \cos\gamma_{0}\cos\psi \\ \omega_{\oplus}\cos\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \omega_{\oplus}\cos\varphi \\ \omega_{\oplus}\cos\varphi \end{pmatrix}$$

Giai đoạn hai bắt đầu được tính khi thuật toán xác định phương được thực hiện. Thuật toán định phương cho thiết bị đo thực hiện nhờ việc giải hệ phương trình vi phân sau [4, 5, 8]

$$\begin{aligned} 2\dot{P}_{I} &= P_{I} \circ \omega_{aP}^{P} \\ 2\dot{T}_{I} &= T_{I} \circ \omega_{aT}^{T} \\ P_{T} &= \tilde{T}_{I} \circ P_{I} \end{aligned} \tag{7}$$

Với ω_a^P – vận tốc chuyển động tuyệt đối của thiết bị đo; P_T – quaternion đặc trưng cho chuyển động tương đối của thiết bị đo; P_I – quaternion đặc trưng cho chuyển động trong không gian tuyệt đối của thiết bị đo; T_I – quaternion đặc trưng cho vị trí hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$ trong không gian quán tính; $\omega_{aT}^T = \omega_{\oplus}^T$ – vận tốc góc tuyệt đối của trái đất trong hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$ có thể được tính thông qua ma trận chuyển C_N^T chuyển từ hệ tọa độ địa lý địa phương sang hệ tọa độ cơ sở theo công thức $\omega_{\oplus}^T = C_N^T \omega_{\oplus}^N$ và ω_{\oplus}^N là hình chiếu của vận tốc quay trái đất lên hệ tọa độ địa lý địa phương.

1626

Giai đoạn thực hiện đo bắt đầu khi đặt thiết bị đo lên mặt trục hình trụ. Ở giai đoạn này vị trí góc hệ tọa độ $X_p Y_p Z_p$ gắn với thiết bị đo được xác định bởi hai góc γ và $\Delta \psi$ so với hệ tọa độ trục hình trụ $X_r Y_r Z_r$ như trên Hình 1. Tốc độ góc tuyệt đối của thiết bị đo ω_a^B được xác định bằng tổng tốc độ góc tương đối của nó so với vật thể hình trụ và tốc độ góc do chuyển động quay trái đất. Do đó vận tốc quay tuyệt đối ở thiết bị đo được tính theo biểu thức

$$\omega_a^P = \begin{pmatrix} \dot{\gamma} \cos \Delta \psi \\ \Delta \dot{\psi} \\ \dot{\gamma} \sin \Delta \psi \end{pmatrix} + C_r^P C_T^r \omega_{aT}^T$$
(8)

Trong đó C_r^T , C_T^r , C_N^T tương ứng là các ma trận chuyển từ hệ tọa độ trục hình trụ $X_r Y_r Z_r$ sang hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$, ma trận chuyển từ hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$ sang hệ tọa độ trục hình trụ $X_P Y_P Z_P$ và hệ tọa độ địa lý địa phương NEUp sang hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$.

Sơ đồ mô phỏng thuật toán xác định các góc tư thế trục hình trụ nhờ cảm biến con quay đo tốc độ góc được thể hiện trên Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ mô phỏng thuật toán xác định góc lệch so với phương thẳng đứng của trục hình trụ

Trong mô hình mô phỏng khối Model IMU sử dụng là khối đo vector vận tốc con quay với các con quay có độ trôi bằng $0,36^0 / h$. Để giải phương trình vi phân (6) trong khối Thuật toán định hướng sử dụng phương pháp Rungekuta.

Việc mô phỏng hoạt động của thiết bị đo khi xác định tư thế trục được thực hiện trong điều kiện sau: Vị trí thực hiện đo đạc có vĩ độ $\varphi = 60^{\circ}$, hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$ trùng với hệ tọa độ địa lý địa phương $\psi_0 = 0$, $\mathcal{G}_0 = 0$, $\gamma_0 = 0$. Trong quá trình di chuyển thiết bị đo trượt trên bề mặt trục với quy luật thay đổi góc $\gamma = 0, 2t$ và góc $\Delta \psi$ là đại lượng ngẫu nhiên. Việc xác định vector pháp tuyến \vec{n}_1 với mặt trục được thực hiện ở ngay thời điểm ban đầu của giai đoạn đo (t=0). Vector pháp tuyến \vec{n}_2 với mặt trục được xác định trong khoảng thời gian thiết bị đo trượt

trên mặt của nó ($t \neq 0$). Trong giai đoạn đo nhờ sử dụng thuật toán tính toán (4) mà ta có thể xác định được góc lệch của trục so với phương thẳng đứng.

Trong trường hợp $\psi_r = 0$; $\vartheta_r = 90^\circ$, trục của hình trụ trùng với phương thẳng đứng tức $\Delta x = 0$ và $\Delta z = 0$. Do đó sai số đánh giá độ lệch phương thẳng đứng được xác định bằng giá trị đánh giá $\Delta \hat{x}, \Delta \hat{z}$. Độ lớn sai số giá trị đánh giá có thể được xác định thông qua căn bậc hai của tổng bình phương sai số $\Delta \hat{x}, \Delta \hat{z}$ theo công thức:

$$D_{xz} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta z^2} \tag{9}$$

Sau khi mô phỏng, kết quả sai số đánh giá các góc hướng của vector \vec{e} được thể hiện trên Hình 4.



Hình 4. Sai số xác định góc tư thế vector \vec{e}

Kết quả mô phỏng cho ta thấy ở giai đoạn đầu góc tạo bởi giữa vector \vec{n}_1 và \vec{n}_2 nhỏ sẽ làm cho sai số xác định vector \vec{e} theo công thức (1) lớn. Khi trượt thiết bị đo trên mặt trụ góc giữa các vector \vec{n}_1 và \vec{n}_2 tăng dần làm cho sai số giảm mạnh. Tuy nhiên sai số này sẽ không giảm về không mà phụ thuộc vào sai số tích lũy của thuật toán định phương. Ở dải góc γ nhất định sai số xác định góc tư thế trục hình trụ ít phụ thuộc vào góc tạo bởi giữa vector \vec{n}_1 và \vec{n}_2 mà phụ thuộc phần lớn vào sai số thuật toán định phương sử dụng trên thiết bị đo. Như đã chỉ ra ở trên sai số khi xác định phương thẳng đứng sẽ phụ thuộc vào sai số xác định các vector \vec{n}_1 và \vec{n}_2 . Trong trường hợp mô phỏng với mô hình con quay được sử dụng có thể xác định được độ lệch so với phương thẳng đứng của trục hình trụ với độ chính xác vào khoảng 5×10^{-5} rad.

4. Kết luận

Trong bài báo đưa ra phương án xây dựng thiết bị đo góc lệch của trục hình trụ so với phương thẳng đứng. Thiết bị đo này gồm ba con quay đo tốc độ góc đặt vuông góc với nhau và trên đó xác lập mặt phẳng đo. Nhờ sử dụng thuật toán định phương vector pháp tuyến của mặt phẳng đo luôn được xác định so với hệ tọa độ cơ sở và từ đó xác định được vector pháp tuyến với mặt phẳng trục hình trụ. Khi biết hai vector pháp tuyến với mặt trục cho phép xác định vector chỉ phương trục của nó. Sai lệch so với phương thẳng đứng được tính toán chính là hình chiếu của vector chỉ phương lên hai trục nằm ngang của giá tạo chuẩn. Việc chỉnh theo phương ngang của giá tạo chuẩn được thực hiện nhờ việc sử dụng thông tin từ hai gia tốc kế đặt trên nó. Thực hiện mô phỏng đánh giá độ chính xác của thuật toán đưa ra. Kết quả mô phỏng xác định phương thẳng đứng của trục hình trụ với độ chính xác vào khoảng $5x10^{-5}$ rad với độ trôi con quay được sử dụng trong mô hình bằng $0,36^0 / h$. Với độ chính xác này thiết bị đo có thể được sử dụng trong các bài toán hiệu chỉnh trục trong các nhà máy thủy điện dạng đứng, hiệu chỉnh các trụ trong các công trình biểnv.v.

Tài liệu tham khảo

- 1. https://acoem.us/blog/shaft-alignment/vertical-shaft-alignment-process/.
- 2. Jeffery Carl Jones. Vertical shaft alignment tool. Patent US No. 7111407B2.
- 3. J.E. Petermann, Allis-Chalmers Mfg, Roy C. Harvision. Alignment plumbing and bearing.
- Salychev O.S. "MEMS-based Inertial Navigation: Expectations and Reality". Moscow: BMSTU Press, 2012.
- 5. Лобусов .Е.С. Использование средств инерциальной навигации для определения пространственного углового положения цилиндрических тел. Мехатроника, автоматизация, управление 2012.- № 8.- С. 31 35.
- Овчинникова Е.В. Определение параллельности валов при помощи. Paralign @. Российский научно-технический журнал MEGATECH – новые технологии в промышленной диагностике и безопасности. 2011. С 88-89.
- 7. Хоанг Мань Тыонг. Повышение точности измерения геометрических параметров и углового расположения объектов инерциальными средствами на основе кинематического подхода: диссертация кандидата Технических наук: 05.13.01 / Хоанг Мань Тыонг ;[Место защиты: Московский государственный технический университет имени Н.Э Баумана], 2016.
- Челноков Ю.Н. Кватернионные и бикватернионные модели и методы механики твердого тела и их приложения. Геометрия и кинематика движения. М.: ФИЗМАЛИТ, 2006. 512с.
- Hoàng Mạnh Tưởng, Lê Tuấn Anh. Xác định góc tư thế trục rulo hình trụ nhờ sử dụng cảm biến con quay đo tốc độ góc. Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số Đặc san Hội thảo Quốc gia FEE, 12 -2022. DOI: <u>https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2022.58-64</u>.

Determine the vertical angle misalignment for the cylindrical shaft using inertial devices

Abstract: In the article, a plan to determine vertical angle misalignment for the cylindrical shaft using inertial devices is proposed. This measuring device includes a ground-based reference stand with two accelerometers placed perpendicular to each other and a hand-held measuring device that uses three gyroscopes to measure angular speed. The vertical direction of a cylindrical object is determined through the direction vector \vec{e} along its axis. The deviation from the vertical direction of vector \vec{e} is defined as its projection onto the horizontal axes of the reference plane. The standard horizontal direction of the measuring device is established

after the calibration process, thanks to the signals from the accelerometers placed on it. The process of determining the direction vector deviation \vec{e} is performed while sliding the measuring device on the cylindrical shaft surface. The algorithm for determining the angle of deviation from the vertical of the cylindrical axis is investigated using Matlab Simulink software.

Keywords: vertical angle; angle misalignment; cylindrical shaft; inertial device.

Nghiên cứu cải tiến mô hình YOLO phát hiện mục tiêu cho đối tượng quân sự

Bùi Nam Tiến^{1*} Bùi Đức Thắng¹, Trương Xuân Tùng¹

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự Email: Onyxcapiti@gmail.com

Tóm tắt

Bài báo đề xuất mô hình YOLORepX thông qua việc đưa phần tử RepConv vào trong lớp BackBone và khối RepC3 vào lớp Head của mô hình YOLOv6-s3 nguyên bản nhằm tăng cường khả năng tốc độ xử lý khung hình trên giây (FPS) trong khi vẫn đảm bảo được độ chính xác phát hiện mục tiêu cao cùng với tiết kiệm năng lượng và độ gọn nhẹ thích hợp cho các máy tính nhúng AI, ứng dụng trong phát hiện đối tượng cho robot tự hành thông minh, UAVs. Kết quả thí nghiệm cho thấy mô hình YOLORepX tiết kiệm năng lượng, tối ưu về tốc độ xử lý khung hình trên giây và độ chính xác so với mô hình YOLOv6-s3 nguyên bản, tạo cơ sở làm tăng khả năng tự định vị và dẫn đường cho robot tự hành, UAVs.

Từ khóa: Học sâu; thị giác máy tính; robot tự hành; UAVs; YOLO; phát hiện đối tượng.

1. Mở đầu

Trong thời đại hiện nay, UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) và robot thông minh tự hành đã trở thành những thiết bị gần gũi với cuộc sống hàng ngày và có vai trò quan trọng trong lĩnh vực quân sự. Sự ưu việt của chúng trong việc giảm tải cường độ lao động, nâng cao hiệu suất và giảm rủi ro đặc biệt trong an ninh quốc phòng. Từ cuộc chiến tranh hiện đại gần đây nhất là chiến tranh Nga - Ukraine, sự linh hoạt và khả năng thực hiện các nhiệm vụ có mức độ khó cao một cách bí mật mà không gây nguy hiểm cho quân nhân được thể hiện trong các nhiệm vụ như: trinh sát, thu thập thông tin tình báo, vẽ bản đồ kiểm soát khu vực, vũ khí tấn công từ xa, hỗ trợ các lực lượng mặt đất cho đến triển khai tấn công cấp chiến lược, chiến dịch là những ứng dụng quan trọng của UAVs, robot tự hành trong môi trường quân sự.

Sự bùng nổ của trí tuệ nhân tạo (AI) đang có những tác động sâu sắc đến các ngành công nghiệp hiện đại. Kết hợp sự linh hoạt của UAVs nói riêng và hệ thống robot nói chung với kỹ thuật học máy của trí tuệ nhân tạo mở ra những khả năng mới cải thiện hiệu quả của các hoạt động quân sự và nâng cao an ninh quốc gia. UAVs được trang bị thuật toán học máy để tự động nhận diện mục tiêu, dự đoán hành vi và thích ứng với môi trường. Khả năng tự động hóa qua học máy giúp UAVs nhanh chóng thích ứng với các tình huống phức tạp và biến động trên chiến trường. Trong robot thông minh, cảm biến quang ảnh là một trong những cảm biến quan trọng nhất. Cảm biến này thu thập hình ảnh môi trường theo chuỗi thời gian và sử dụng các thuật toán để xây dựng mối quan hệ giữa môi trường và cảm biến. Dựa vào mối quan hệ này, robot có thể nhận diện môi trường xung quanh khi di chuyển, tính toán và xác định vị trí. Để robot có thể nhận diện môi trường xung quanh chính xác, cần xây dựng thuật toán có khả năng nhận dạng và hiển thị chính xác các đối tượng trong môi trường. Công nghệ thị giác máy tính là một mảnh ghép quan trọng để giải quyết

^{*} Email: Onyxcapiti@gmail.com

vấn đề này. Những năm gần đây, phương pháp học sâu đã trở thành phương pháp chủ đao trong phát hiện đối tương và nhân diện môi trường. Xuất phát từ môi trường quân sự phức tạp, đối mặt với thách thức của dữ liêu lớn và đa dang, khả năng xử lý dữ liêu thời gian thực là quan trong để đảm bảo tính linh hoat trong các tình huống chiến đấu. Nghiên cứu về xử lý dữ liêu, tối ưu hóa thuật toán là một nhiệm vụ cần thiết. Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu và cách tiếp cân đã được thực hiện để tối ưu hóa hiệu suất của các mô hình phát hiện đối tượng. Dựa vào học sâu, các thuật toán phát hiện đối tượng đã đạt được các kết quả vượt bậc so với các thuật toán truyền thống về độ chính xác và khả năng xử lý đa mục tiêu. Điển hình như thuật toán R-CNN (regions with CNN features) và Fast-RCNN [1], hai thuật toán này trong quá trình phát hiện đối tương phân ra làm hai giai đoan. Giai đoan một là cắt hình ảnh thành nhiều ảnh nhỏ, sử dung thuật toán học sâu để trích xuất đặc trưng của từng ảnh nhỏ này. Giai đoan hai sử dung các thuật toán hồi quy để tiến hành phân loại, từ đó đưa ra vi trí và loại của đối tương. Thuật toán YOLO [2] không cần tao trước các ảnh nhỏ mà trực tiếp dự đoán vi trí và phân loại của mục tiêu trên hình ảnh. Do đó, tốc đô phát hiện của thuật toán này nhanh hơn nhiều so với R-CNN. Chính vì vậy, YOLO được rất nhiều chuyên gia về học sâu trên thế giới nghiên cứu và ứng dụng trong nhiều bài toán phát hiện hiện đại. Tùy vào từng mục đích và đối tương phát hiện mà các phiên bản YOLO khác nhau từ đó cũng được ra đời, nâng cao tốc độ và độ chính xác phát hiện đối tượng.

Những một thập kỷ trở lại đây, các kỹ thuật học sâu đã trở thành xương sống trong các bài toán phát hiện đối tượng và nhận diện môi trường. YOLOv6-s3 [3] cải thiện được nhiều nhược điểm của các phiên bản trước đó về thời gian, độ chính xác và tính ổn định, đặc biệt là tốc độ xử lý khung hình trên giây (FPS). Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng dữ liệu hình ảnh về các đối tượng mang tính đặc thù quân sự để tạo tập dữ liệu huấn luyện và một tập dữ liệu chuẩn để làm thang đo đánh giá hiệu năng giữa các mô hình. Thuật toán YOLOv6-s3 được cải tiến thông qua thông qua việc đưa phần tử RepConv vào trong lớp BackBone và khối RepC3 vào lớp Head của mô hình YOLOv6-s3 nguyên bản nhằm tăng cường khả năng tốc độ xử lý khung hình trên giây (FPS) trong khi vẫn đảm bảo độ chính xác phát hiện mục tiêu cao cùng với tiết kiệm năng lượng và gọn nhẹ thích hợp cho các máy tính nhúng AI. Cuối cùng, bằng cách so sánh với các phiên bản YOLO khác để đánh giá hiệu suất của phương pháp đề xuất.

2. Phương pháp

2.1. Tái tham số mô hình

Kỹ thuật tái tham số hóa mô hình có thể coi là một kỹ thuật tổ hợp và có thể chia nó thành hai loại, tức là tổ hợp mức mô-đun và tổ hợp mức mô hình. Có hai phương pháp phổ biến cho tái tham số hóa mức mô hình để có được mô hình suy luận cuối cùng. Một là huấn luyện nhiều mô hình giống nhau với dữ liệu huấn luyện khác nhau và sau đó lấy trung bình trọng số của nhiều mô hình đã được huấn luyện. Phương pháp khác là thực hiện trung bình có trọng số của các trọng số của các mô hình tại các số vòng lặp khác nhau. Tái tham số hóa mức mô-đun là một vấn đề nghiên cứu phổ biến hơn gần đây. Loại phương pháp này chia một mô-đun thành nhiều nhánh mô-đun giống nhau hoặc khác nhau trong quá trình huấn luyện và tích hợp nhiều nhánh mô-đun thành một mô-đun hoàn tương đương trong quá trình suy luận. Tuy nhiên, không phải tất cả các mô-đun được tái tham số hóa được đề xuất có thể được áp dụng hoàn hảo cho các kiến trúc khác nhau. Theo [4] công nghệ tái tham số mô hình sẽ hợp nhất các thành phần tính toán vào trong một bước suy luận. Nói cách khác, với công nghệ này cho phép mô hình có cấu trúc phức tạp (trong khi huấn luyện) sẽ có thể biến đổi trở nên một cấu trúc đơn giản hơn nhiều (dùng trong quá trình chạy thực tế). Bản chất của công nghệ này nằm ở việc làm thế nào để biến đổi bộ trọng số của cấu trúc sử dụng trong quá trình huấn luyện để có thể dùng cho cấu trúc khi chạy thực. Nhằm mục đích để mô hình thu được sau cùng, sẽ có độ chính xác tốt do đã được huấn luyện và học được những đặc trưng sâu nhưng tốc độ của mô hình cũng sẽ được tăng lên bởi cấu trúc của mô hình đã được giản lược đi nhiều.

Trong khuôn khổ bài báo, chúng tôi đã kế thừa công nghệ này từ [4] và sử dụng trong hai module nhỏ là RepConv và RepC3 để đưa vào cải tiến kiến trúc YOLOv6-s3.0 (mô hình YOLO đang có tốc độ xử lý khung hình trên giây FPS nhanh nhất hiện tại).

2.2. Kiến trúc và nguyên lý hoạt động của RepConv

RepConv là một khối convolution được thiết kế để cung cấp tính linh hoạt và giảm số lượng tham số trong mạng nơ-ron tích chập. Kiến trúc của RepConv được thể hiện ở Hình 1.



Hình 1. Kiến trúc của một RepConv



Hình 2. So sánh Feature Map của Conv và RepConv

Theo như kiến trúc đề xuất của RepConv ta có đầu vào được tách thành 2 nhánh song song với mỗi nhánh là một CBS, kết thúc quá trình ta sẽ có phép cộng toán tử thay vì hàm Concatenate (Concat) thông thường. Chính điều này dẫn đến thực tế RepConv đang thực hiện tái tham số hóa mô hình feature map theo cách mới để model học được tốt hơn. Cụ thể, RepConv đang tăng cường các weight có giá trị cao và làm nổi bật hơn nhiều so với các weight có giá trị giá trị thấp. Do vậy, thực chất quá trình này là đang tô đậm lại các features đã có mà không hề suy diễn sâu hơn về chúng. Điều này có ru điểm là có thể làm nổi lên một số đặc trưng của đối tượng từ rất sớm trong cùng một khoảng thời gian tính toán như với một CBS thông thường từ đó giúp model rút ngắn thời gian suy luận. Nhưng điều này cũng có nhược điểm đó là trong số các weight có giá trị thấp

đôi khi vẫn còn thông tin có ích thì sẽ không được làm nổi bật lên mà từ đó model có thể sẽ bỏ qua các thông tin này dẫn đến mất mát thông tin như Hình 2.

Ta xét một lớp tích chập với 4 thông số (C_{out} , C_{in} , h, w). Trong đó, C_{out} là số kênh đầu ra, C_{in} là số kênh đầu vào, h là chiều cao của feature map, w là chiều rộng của feature map. Đối với RepConv, bốn tham số trên lần lượt là ($C_{out} / \beta, C_{in} * \beta, h, w$). Theo [5] việc tăng số lượng kênh đầu vào là một trong những điều kiện để tăng chất lượng feature map đầu ra. Tham số β là tham số thể hiện điều đó. Tuy nhiên, feature map mà RepConv cho ra lại chỉ có số kênh ít đi, như vậy lại gây mất mát thông tin cho các lớp tích chập phía sau của RepConv này. Để khắc phục điều này RepConv thực hiện thêm một phép lặp. Feature map cuối cùng sau khi xử lý xong sẽ được lặp lại β^2 lần, như vậy đầu ra cuối của khối RepConv là feature map với số kênh là $C_{out} * \beta$.



Hình 3. Phép nhân tích chập thông thường

Xem xét về chi phí tính toán, trong một bước lan truyền tiến với lớp tích chập (C_{out} , C_{in} , h, w), tổng chi phí tính toán mà ta sẽ tiêu tốn cho bước này là:

$$\operatorname{Cost} = h^* w^* C_{out} * C_{in} \tag{1}$$



Hình 4. Thuật toán nhân tích chập của RepConv

Cũng trường hợp đó, nếu sử dụng RepConv thì chi phí tính toán ta bỏ ra sẽ là:

$$\operatorname{Cost}_{\operatorname{RepConv}} = h^* w^* (C_{out} / \beta)^* (C_{in}^* \beta) = h^* w^* C_{out}^* C_{in}$$

$$\Rightarrow \operatorname{Cost}_{\operatorname{RepConv}} = \operatorname{Cost}$$

$$(2)$$

Như vậy, với cùng một chi phí tính toán RepConv đã cho ta lượng thông tin hữu ích lớn hơn so với lớp tích chập thông thường.

2.3. Module RepC3

Module RepC3 là phiên bản cải tiến dựa trên module C3 gốc của YOLOv5 [6] (Ultralytics). Theo đó, thành phần Bottleneck được thay thế thành RepConv với ý tưởng áp dụng kỹ thuật tái tham số mô hình.



Hình 5. Cấu trúc của module RepC3

2.4. Mô hình YOLORepX

Như đã phân tích ở trên RepConv giảm bớt độ phức tạp của mô hình và tối ưu hóa quá trình học. Tuy nhiên, trong quá trình thực nghiệm chúng tôi nhận thấy rằng không phải tuyệt đại đa số các trường hợp RepConv có được kết quả tốt mà chúng tôi mong đợi. Xem xét Hình 3 và Hình 4, chúng ta đều nhận ra đầu vào của RepConv có số chiều lớn hơn lớp tích chập thông thường. Như vậy nếu $\beta = 1$, khi đó đầu vào của RepConv sẽ có số chiều là C_{in} (y như đầu vào của lớp tích chập), lúc này RepConv hoạt động không khác gì một lớp tích chập thông thường thậm chí lại có phần cồng kềnh hơn. Tóm lại, RepConv đòi hỏi feature map cần phải có số chiều nhất định hay phải có một lượng thông tin nhất định, chứ bản thân nó không thể hoàn toàn thay thế được các lớp tích chập thông thường để xử lý dữ liệu từ đầu đến cuối. Qua đó, chúng tôi cho rằng RepConv chỉ thực sự phát huy được hiệu quả tốt nhất khi nó đứng sau một hay một số lớp tích chập nhất định.

Tổng hợp những lý thuyết và các module cải tiến chúng tôi đã trình bày trong các phần trên, chúng tôi đề xuất kiến trúc mô hình YOLORepX (như Hình 6).

YOLORepX được xây dựng dựa trên kiến trúc của YOLOv6-s3 với sự góp mặt của module RepConv được đưa vào phần Backbone thay cho các Conv thông thường ở một số lớp nhất định, phần Neck chúng tôi sử dụng ConvTranspose để up-scale các feature map thay vì sử dụng nn.Upsample cùng với đó là sự góp mặt của module RepC3.

Với mục tiêu ban đầu đề xuất là một mô hình phát hiện đối tượng quân sự cho UAVs, đặc thù của ảnh đầu vào là đối tượng nhỏ và đồng nhất với môi trường xung quanh do vậy chúng tôi sử dụng ConvTranspose để up-scale khi đó việc up-scale các feature map sẽ mềm dẻo hơn việc sử dụng các phép nội suy (như khi dùng nn.Upsample) điều này có lợi trong việc phát hiện đối tượng nhỏ dù rằng ta cần đánh đổi một chút ít về tốc độ.



Hình 6. Kiến trúc YOLORepX

Khi đó, với công nghệ tái tham số mô hình trong các module RepConv và RepC3 sẽ giúp kiến trúc giải quyết vấn đề tốc độ qua đó đạt hiệu suất tốt hơn so với mô hình gốc.

3. Kết quả và thử nghiệm

Chúng tôi đã thực hiện đánh giá hiệu năng của các mô hình YOLOv8n, YOLOv6-s3, YOLOv5n và YOLORepX trên 2 tập Datasets: VisDrone Datasets và Drone Customs Datasets (do nhóm tác giả thu thập từ các nguồn khác nhau) và thu được một số kết quả như sau:

3.1. Thực nghiệm trên tập Drone custom datasets

Phần cứng được sử dụng là một máy tính được trang bị chip xử lý Ryzen 5600H 2.8GHz, 16 Gb RAM; card đồ họa NVIDIA GeForce RTX 3060, 8 Gb VRAM. Tổng số bức ảnh được sử dụng là 3982 ảnh, chia thành tập huấn luyện gồm 3798 ảnh và tập đánh giá gồm 184 ảnh. Các kỹ thuật xử lý dữ liệu cho tăng cường học gồm có: Cut out (3 boxes with 10% size), Blur, Rotation, Bounding Box: Noise (Up to 10% of pixels), Mosaic. Tốc độ học ban đầu là 0,001, sau đó giảm dần qua các vòng lặp, kích thước bộ dữ liệu mỗi lần xử lý là 16, số lần lặp là 200.


Hình 6. Tập Drone custom datasets



Hình 7. Bảng thông số huấn luyện mạng YOLORepX trên tập Drone custom datasets



Hình 8. So sánh độ chính xác và FPS giữa YOLORepX với các mô hình YOLO khác

Sau khi quá trình train hoàn tất, nhóm tác giả đã chạy thử test mô hình với một video đầu vào 30 FPS cho 4 mô hình YOLOv8n, YOLOv6-s3n, YOLOv5n và YOLOrepX cho ra đồ thị như Hình 8 và tiếp tục chạy inference cho cả 4 mô hình với 10 lần độc lập khác nhau thu được kết quả trung bình như trong Bảng 1.

	Độ chính xác trung bình	FPS trung bình	Parameter	Layer	GFLOPs
	0.6755	18.0190	3011043	225	8.9
YOLOv8n	$(\downarrow 7.5\%)$	(† 30.07%)	(↓10.36%)	(† 5.7%)	(↓17.98%)
YOLOv6-s3n	0.5721	19.5189	4238243	195	13.1
	(↑9.12%)	$(\uparrow 20.08\%)$	(↓36.31%)	(† 22.05%)	$(\downarrow 44.27\%)$
	0.5551	20.0465	7235389	262	7.8
YOLOv5n	(†12.47%)	(†16.9%)	$(\downarrow 62.7\%)$	$(\downarrow 9.16\%)$	$\left(\downarrow 6.41\%\right)$
YOLORepX	0.6243	23.4437	2699235	238	7.3

Bảng 1. Độ chính xác, FPS trung bình và số lượng tham số giữa các mô hình

	m A P (50-95)	Thời gian chạy (ms/im)
Bång	2. Benchmark trên VisDrone Datasets, GPU	U NVIDIA Tesla T4 (trên Google Colab)

	mAP (50-95)		Thời gian chạy (ms/im)			
	Pytorch	Torchscript	Onnx	Pytorch	Torchscript	Onnx
	0.1750	0.1732	0.1732	8.5	7.11	137.24
YOLOv8n	$(\downarrow 6.5\%)$	(↓ 5.77%)	(↓ 5.77%)	(↓ 30.05%)	(↓19.69%)	(↓12.69%)
	0.1064	0.1066	0.1066	7.38	7.89	178.43
YOLOv6-s3n	(† 53.76%)	(† 53.1%)	(† 53.1%)	(↓19.78%)	(↓ 27.63%)	(↓ 32.85%)
	0.1588	0.1588 0.1584 0.1584	0.1584	10.67	7.63	146.65
YOLOv5	(† 3.02%)	(† 3.03%)	(† 3.03%)	(↓ 44.52%)	(↓ 25.16%)	(↓18.3%)
YOLORepX	0.1636	0.1632	0.1632	5.92	5.71	119.82

4. Kết luận:

Bài báo đã đề xuất một mô hình YOLORepX cải tiến trên cơ sở kiến trúc của YOLOv6-s3 và kỹ thuật tái tham số mô hình với hai module là RepConv và RepC3. Qua thực nghiệm với tập dữ liệu được xây dựng và tập dữ liệu chuẩn cho thấy mô hình cải tiến này có độ chính xác và tốc độ xử lý khung hình trên giây cao hơn trong khi tham số tính toán lại ít hơn so với mô hình YOLOv6-s3 nguyên bản cũng như với một số phiên bản YOLO khác. Đây là cơ sở để tăng khả năng phát hiện và bám sát mục tiêu cũng như đáp ứng được yêu cầu về khả năng Real-time trong thực tế.

Tài liệu tham khảo

- 1. Girshick, R. (2015). Fast r-cnn. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 1440-1448).
- 2. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 779-788).
- Chuyi Li, Lulu Li, Yifei Geng, Hongliang Jiang, Meng Cheng, Bo Zhang, Zaidan Ke, Xiaoming Xu, Xiangxiang Chu. (2023). YOLOv6 v3.0: A Full-Scale Reloading. arXiv:2301.05586
- 4. Chien-Yao Wang, Alexey Bochkovskiy, H. Liao. (2022). YOLOv7: Trainable Bag-of-Freebies Sets New State-of-the-Art for Real-Time Object Detectors. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*.
- Xulong Shi, Zhi Qi, Jiaxuan Cai, Keqi Fu, Yaru Zhao, Zan Li, Xuanyu Liu, Hao Liu. (2022). RepBNN: toward a precise Binary Neural Network with Enhanced Feature Map via Repeating. *arXiv:2207.09049*.

- 6. Glenn Jocher, Ayush Chaurasia, Alex Stoken, Jirka Borovec, NanoCode012, Yonghye Kwon, Kalen Michael, TaoXie, Jiacong Fang, imyhxy, Lorna, Zeng Yifu, Colin Wong, Abhiram V, Diego Montes, Zhiqiang Wang, Cristi Fati, Jebastin Nadar, Laughing, ... Mrinal Jain. (2022). ultralytics/yolov5: v7.0 YOLOv5 SOTA Realtime Instance Segmentation (v7.0). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.7347926
- 7. Wang, Z., Wu, L., Li, T., & Shi, P. (2022). A smoke detection model based on improved YOLOv5. *Mathematics*, 10(7), 1190.
- 8. Yao, J., Qi, J., Zhang, J., Shao, H., Yang, J., & Li, X. (2021). A real-time detection algorithm for Kiwifruit defects based on YOLOv5. *Electronics*, 10(14), 1711.
- 9. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- 10. Teng, S., Fu, A., Lu, W., & Li, Z. (2023). TCM Syndrome Classification Using Graph Convolutional Network. *European Journal of Integrative Medicine*, 102288.
- 11. Wang, X., Cai, L., Zhou, S., Jin, Y., Tang, L., & Zhao, Y. (2023). Fire Safety Detection Based on CAGSA-YOLO Network. *Fire*, 6(8), 297.
- 12. Dongxian Wu, Yisen Wang, Shu-Tao Xia, James Bailey, Xingjun Ma. (2020). Skip Connections Matter: On the Transferability of Adversarial Examples Generated with ResNets. *arXiv:2002.05990*.

RESEARCH ON IMPROVING YOLO MODELS FOR TARGET DETECTION IN MILITARY OBJECTS.

Abstract: The proposed article suggests the YOLORepX model by incorporating the RepConv element into the Backbone layer and the RepC3 block into the Head layer of the original YOLOv6-s3 model. This aims to enhance the processing speed in frames per second (FPS) while ensuring high accuracy in object detection. Additionally, it aims to save energy and maintain lightweight properties suitable for AI embedded systems, particularly applications in object detection for intelligent autonomous robots and UAVs. Experimental results demonstrate that the YOLORepX model is energy-efficient, optimized for processing speed in FPS, and maintains accuracy compared to the original YOLOv6-s3 model. This lays the groundwork for improving self-localization and navigation capabilities for autonomous robots and UAVs.

Keywords: Deep learning; computer vision; autonomous robots; UAVs; YOLO; object detection.

Nghiên cứu nâng cao chất lượng phát hiện các vật thể nhỏ bằng thuật toán YOLO v5 cải tiến

Hồ Khánh Trung^{1*}, Hoàng Mạnh Tưởng¹, Vũ Quốc Huy²

¹Học viện Kỹ thuật quân sự ²Viện Tự động hoá Kỹ thuật quân sự Email: trung54366723@gmail.com; Tel: 0818892727

Tóm tắt

Phát hiện đối trợng là một bài toán quan trọng trong lĩnh vực thị giác máy tính, có nhiều ứng dụng thực tế như nhận diện khuôn mặt, phân loại xe cộ, theo dõi đối tượng, v.v. Hiện nay có nhiều thuật toán khác nhau được ứng dụng vào để giải quyết vấn đề này, trong đó YOLO được xem là một trong những thuật toán tiên tiến nhất. Các phiên bản YOLO gần đây đều hướng đến việc nâng cao tốc độ và độ chính xác phát hiện đối tượng trong thời gian thực. YOLO v5 đã cải thiện được nhiều nhược điểm của các phiên bản trước đó về thời gian, độ chính xác và tính ổn định. Tuy nhiên vẫn còn những khó khăn, thách thức trong xử lí ảnh có sự biến dạng, che khuất, hay khác biệt về kích thước và hình dạng của các đối tượng. Bài báo này nghiên cứu giải pháp cải thiện thuật toán YOLO v5 nhằm nâng cao khả năng phát hiện các đối tượng nhỏ, bị che khuất một phần. Kết quả nghiên cứu của bài báo sẽ góp phần vào việc phát triển các hệ thống thu nhận và xử lí ảnh trong thời gian thực.

Từ khóa: Học sâu; robot; YOLO; phát hiện đối tượng.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, công nghệ thị giác máy tính đang được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực. trong đó có nhận dạng và phát hiện đối tượng. Bài toán nhận dạng và phát hiện đối tượng đã được nghiên cứu từ lâu, với những thuật toán truyền thống như HOG [1], SIFT [2]. Ngày nay với sự ra đời và phát triển của thuật toán học sâu, ứng dụng của nó trong lĩnh vực thị giác máy tính trở nên phổ biến. Ứng dụng thuật toán học sâu, các thuật toán phát hiện đối tượng đã đạt được nhiều kết quả nổi trôi hơn so với các thuật toán truyền thống về đô chính xác phát hiện cũng như khả năng phát hiện nhiều mục tiêu. Ví dụ một số thuật toán điển hình như thuật toán R-CNN và Fast-RCNN [3]. Đây là các thuật toán phát hiện qua hai giai đoạn. Giai đoạn đầu tiên thuật toán sẽ cắt ảnh đầu vào thành nhiều ảnh nhỏ, sau đó sẽ sử dung mô hình học sâu để trích chọn đặc trưng của các ảnh nhỏ này. Giai đoạn tiếp theo các đặc trưng vừa được trích chọn sẽ được đựa qua bộ phân loại, từ đó đựa ra nhãn và vi trí của đối tượng ở trong ảnh. Hiện nay thuật toán phát hiện một giai đoạn YOLO [4] chỉ cần đưa ảnh đầu vào, sau khi xử lí qua một mạng duy nhất đưa ra dự đoán vị trí và phân loại được đối tượng trên ảnh. Có thể thấy tốc đô phát hiện của thuật toán YOLO nhanh hơn nhiều lần so với thuật toán R-CNN do chỉ cần xử lí qua một giai đoạn. Vì lí do đó mà thuật toán YOLO đã có được nhiều sự quan tâm và được nghiên cứu, áp dụng trong nhiều công nghệ hiện đại. Các phiên bản khác nhau của YOLO cũng từ đó được nghiên cứu, phát triển, ra đời, với các cải tiến khác nhau nâng cao được đô chính xác phát hiện và phân loại đối tượng. Dong và cộng sự [5] đưa ra các phương pháp cải tiến các mô đun C3Ghost và Ghost trong thuật toán YOLO v5, thông qua các thử nghiệm với bộ dữ liệu chuẩn cho thấy phương pháp của họ làm tăng độ chính xác của thuật toán thêm 3,2%. Nhóm nghiên cứu của Guo [6] đưa ra một phương pháp cải tiến thuật toán YOLO v5s bằng cách thay

^{*} Email: trung54366723@gmail.com

thế mạng backbone truyền thống bằng mạng MobileNetV3 nhằm giảm kích thước của mô hình. Ngoài ra, thuật toán phân cụm K-Means được sử dụng để lọc khung đối tượng làm cho khung phù hợp hơn với tập dữ liệu của họ. Kết quả thí nghiệm cho thấy độ chính xác được cải thiện 2,5%. Nhóm của Wang [7] đề xuất một mô hình mạng kim tự tháp đặc trưng để thay thế cho mạng feature pyramid ban đầu trong YOLO v5. Kết quả thử nghiệm mở rộng trên bộ dữ liệu Tsinghua-Tencent 100K chứng minh rằng so với một số phương pháp tiên tiến nhất, phương pháp của họ ưu việt hơn. Wang và các cộng sự [8] đưa ra một phương pháp cải tiến dữ liệu huấn luyện, so với phương pháp truyền thống, thuật toán của họ có độ chính xác cao hơn 4,4%.

Trong những năm trở lại đây với sự phát triển của các thiết bị tính toán, cũng như sự phong phú đa dạng của các bộ dữ liệu huấn luyện, các phương pháp học sâu đã được tạo nhiều điều kiện để phát triển hơn, trở thành phương pháp chủ đạo trong phát hiện đối tượng và nhận diện môi trường. Với tốc độ nhanh của mình thuật toán YOLO với các phiên bản cải tiến đã được ứng dụng rộng rãi. Phiên bản YOLO v5 là phiên bản cải thiện được nhiều nhược điểm của các phiên bản trước đó về thời gian, độ chính xác và tính ổn định. Vì vậy trong bài báo này chúng tôi sẽ sử dụng mô hình YOLO v5 được cải tiến thông qua một mạng ResFocus mới, với bộ dữ liệu hình ảnh về các đối tượng cơ bản bao gồm người, ô tô, xe đạp và xe máy để huấn luyện mô hình. Cuối cùng, bằng cách so sánh độ chính xác với thuật toán YOLO v5 cơ bản để đánh giá hiệu quả của phương pháp đề xuất.

2. Giới thiệu về thuật toán YOLO v5

Thuật toán YOLO v5 là mạng phát hiện một bước (một giai đoạn). Nó là sự kết hợp giữa thuật toán YOLO v3 và YOLO v4, đồng thời cải thiện tốc độ phát hiện, tăng tính ổn định. Thuật toán YOLO v5 xây dựng trên ý tưởng về các hộp neo, tốc độ nhanh hơn so với thuật toán RCNN, dùng thuật toán phân cụm Kmeans theo kích thước của đối tượng để thu được các đối tượng tốt hơn. Thuật toán YOLO v5 gồm mạng khác nhau gồm YOLO v5n, YOLO v5s, YOLO v5m, YOLO v5l và YOLO v5x. Về cơ bản cấu trúc của các thuật toán này là như nhau, chỉ khác nhau về độ sâu của các lớp mạng. Hình 1 thể hiện sơ đồ cấu trúc mạng của thuật toán YOLO v5s, bao gồm bốn mạng lớn: đầu vào, lớp Backbone, lớp Neck và đầu ra [9].

Mạng đầu vào bao gồm ba phần: Phần tăng cường dữ liệu, phần xử lý kích thước hình ảnh và tự động điều chỉnh khung hình. Phương pháp tăng cường dữ liệu Mosaic được sử dụng để chia tỷ lệ, cắt và sắp xếp ngẫu nhiên và chập ảnh lại với nhau, từ đó làm tăng độ phong phú cho tập dữ liệu, có tác dụng phát hiện tốt hơn trên các vật thể nhỏ, che khuất.

Mạng Backbone bao gồm cấu trúc Focus và cấu trúc CSP được thể hiện trong Hình 1. Focus có chức năng là cắt hình ảnh đầu vào thành nhiều ảnh nhỏ. Hình ảnh gốc được mạng đầu vào xử lý thành một kích thước thống nhất là $608 \times 608 \times 3$. Focus chia cắt hình để đạt được bản đồ đối tượng là $304 \times 304 \times 12$, sau đó phép toán tích chập được thực hiện để tạo thành 32 hình đặc trưng. Hai cấu trúc CSP, gồm các lớp tích chập CBL hoặc lớp Res unit xếp đan xen vào nhau. Thuật toán YOLO v5 dựa trên cấu trúc lớp Backbone để khả năng học tập của mạng tích chập, giảm chi phí bộ nhớ và có thể giảm được sự thắt nút cổ chai khi tính toán. Trong mạng này, thuật toán YOLO v3 và YOLO v4 sử dụng cùng cấu trúc FPN + PAN (FPN là từ trên xuống và PAN là dưới cùng của hình chóp), nhưng thuật toán YOLO v5 sử dụng CSP2 dựa trên CSPNet để tăng cường khả năng kết hợp đặc trưng. Mạng Neck sử dụng cấu trúc FPN + PAN. FPN lấy các mẫu lớn nhất để tiến hành hợp nhất đối tượng từ đó tạo ra các bản đồ đặc trưng. Mạng đầu ra của thuật toán YOLO v5 sử dụng GIOU_Loss làm hàm tổn hao, điều này sẽ tốt hơn hàm GIOU_nms sẽ tốt hơn nms truyền thống trong các trường hợp đối tượng chồng chéo.

Ngoài ra, YOLO v5 sử dụng freebie và specials để điều chỉnh tối ưu, tăng cường khả năng nhận diện mục tiêu nhỏ và bị che khuất.



Hình 1. Cấu trúc mạng YOLO v5s.

3. Cải tiến thuật toán YOLO v5 nâng cao chất lượng phát hiện các vật thể nhỏ

Trong mô hình YOLO v5s trước khi cải tiến, ảnh đầu vào sẽ được đưa vào modul Focus trong phần Backbone của mạng [13]. Modul này sẽ chia dữ liệu ảnh đầu vào thành nhiều phần vào các khối slice. Ở mỗi kênh, dữ liệu ảnh sẽ được chia làm 4 phần. Tiếp theo dữ liệu sẽ được đưa vào khối Concat để kết nối lại với nhau và dùng mạng tích chập để trích chọn đặc trưng ban đầu. Có thể thấy mạng Focus hoạt động tương tự như mạng tích chập đặc trưng. Tuy nhiên, khi trong ảnh có các đối tượng nhỏ, việc thông qua mạng Focus cắt hình đôi khi sẽ làm mất đi đặc trưng của mục tiêu ở những phần rìa, từ đó dẫn đến việc bỏ sót phát hiện đối tượng, ảnh hưởng đến độ chính xác của mô hình.

Ngoài ra, trước đây trong các mạng nơ ron truyền thống, các nhà nghiên cứu đều cho rằng, bằng cách xếp nhiều lớp nơ ron nối tiếp với nhau, mô hình mạng càng sâu thì sẽ học được nhiều đặc trưng của đối tượng. Tuy nhiên, trên thực tế huấn luyện cho thấy, điều này hoàn toàn ngược lại. Trong quá trình huấn luyện mô hình thường xuất hiện tham số tối ưu gradient thường bị biến mất hoặc tăng đột biến, dẫn đến quá trình suy giảm trong huấn luyện. Đã có nhiều phương pháp cải tiến vấn đề này, tuy nhiên kết quả không khả quan. Đến những năm gần đây, với phát hiện của He và các cộng sự [10] trong công bố tại hội nghị thị giác máy tính thế giới đã giảm thiểu được đáng kể các tác động tiêu cực của mạng học sâu trong quá trình huấn luyện. Trong công bố này, nhóm tác giả đã đưa ra 2 phương pháp để giải quyết các vấn đề tồn tại trên. Thứ nhất, sử dụng mạng Batch Normalization (BN) để giảm thiểu quá trình suy giảm huấn luyện. Thứ hai, đề xuất mạng ResNet để ổn định tham số tối ưu gradient. Kết quả này đã mở ra cuộc cách mạng mới về học sâu. Hiện tại, hầu hết các mô hình học sâu đều sử dụng phương pháp này để lập cấu trúc mô hình.



Hình 2. Cấu trúc module ResFocus.

Trong nghiên cứu này, nhằm tăng cường khả năng trích xuất đặc trưng cho modul Focus, chúng tôi đã đưa mạng ResNet kết hợp với mạng Focus, gọi là mô đun ResFocus, cụ thể được biểu diễn trong Hình 2. Ở đây, chúng tôi thiết lập một mạng song song gồm một mạng Focus và một mạng tích chập, để tạo thành cấu trúc ResNet. Mạng tích chập 1×1 được sử dụng để tạo ra dữ liệu phi tuyến tính của ảnh, tăng cường tính ổn định của mạng học sâu. Lớp Batch Normalization (BN) để giảm thiểu quá trình suy giảm huấn luyện. Dùng hàm kích hoạt ReLU sau quá trình kết nối hai mạng với nhau tăng cường phi tuyến tính cho dữ liệu. Quá trình kết hợp này làm giảm tính tổn hao của dữ liệu, làm tăng cường độ chính xác cho mô hình đặc biệt với những đối tượng nhỏ, bị che khuất một phần. Với việc đưa module ResFocus vào cấu trúc mạng YOLO v5s, chúng tôi đặt tên mạng mới là YOLO v5sRF.

4. Thực nghiệm

4.1. Bộ dữ liệu huấn luyện

Bộ dữ liệu sử dụng được chúng tôi thu thập từ các nguồn trên mạng internet, bao gồm một phần của bộ dữ liệu chuẩn COCO, bao gồm 2463 bức ảnh. Đây là bộ dữ liệu chuẩn đã được sử dụng phổ biến trên thế giới, bao gồm nhiều đối tượng khác nhau trong đời sống hàng ngày với các ảnh được chụp trong thực tế. Vì vậy, chúng tôi sử dụng làm bộ dữ liệu cho huấn luyện. Các ảnh trong bộ dữ liệu có các đối tượng quan tâm, điều kiện thời tiết, hoàn cảnh, độ sáng tối, độ lớn và các góc cạnh khác nhau. Trong bộ dữ liệu có gắn nhãn 4 lớp đối tượng chính: người, xe đạp, xe máy và ô tô. Bộ dữ liệu được chia thành hai tập: tập huấn luyện với 1847 ảnh và tập kiểm tra gồm 616 ảnh. Thuật toán YOLO sử dụng một số phương pháp tăng cường dữ liệu ảnh như che khuất một phần bức ảnh, gây nhiễu, biến đổi phóng thu giữ nguyên tỉ lệ ảnh gốc. Các phương pháp này làm tăng khả năng tối ưu của mô hình trong nhiều điều kiện thực tế. Phần mềm gắn nhãn Labelmg được sử dụng để tiến hành gắn nhãn đối tượng.

4.2. Thiết lập mô hình huấn luyện

Chúng tôi sử dụng cấu trúc YOLO v5sRF để thiết lập mô hình huấn luyện. Phần cứng được sử dụng là một máy tính được trang bị chip xử lý Core i5 11400F @2.6GHz, 16 Gb RAM; card đồ họa NVIDIA GeForce RTX 3060, 12 Gb VRAM. Phần mềm bổ trợ CUDA 11.1.1, khung Pytorch 1.9, ngôn ngữ lập trình Python 3.8.

Tổng số bức ảnh được sử dụng là 2463, chia thành tập huấn luyện gồm 1847 ảnh và tập đánh giá gồm 616 ảnh. Tốc độ học ban đầu là 0,001, sau đó giảm dần qua các vòng lặp. Kích thước bộ dữ liệu mỗi lần xử lý là 16 để phù hợp với phần cứng sử dụng. Số lần lặp được sử dụng là 300. Ban đầu khi huấn luyện mô hình chúng tôi sử dụng 100 lần lặp nhưng kết quả

1643

không đảm bảo nên chúng tôi tăng dần số lần lặp. Khi số vòng lặp huấn luyện quá 300 thì kết quả huấn luyện thay đổi không đáng kể nữa nên số lần lặp được chọn như trên.

Để đánh giá được hiệu suất của mô hình, chúng tôi sử dụng các chỉ tiêu bao gồm độ chính xác P (Precision), tỉ lệ triệu hồi R (Recall), độ đo đánh giá mô hình nhận diện thực thể IoU (Intersection over Union) [11], [12].

Đối với một mẫu bất kỳ N ta có:

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \tag{1}$$

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \tag{2}$$

$$IoU = \frac{C \cap G}{C \cup G} \tag{3}$$

Trong đó:

- TP (True Positive): Số đối tượng ở lớp Positive (dương tính) được mô hình phân loại vào lớp Positive (dự đoán đúng).

 - FP (False Positive): Số đối tượng ở lớp Negative được mô hình phân loại vào lớp Positive (dự đoán sai) – Sai lệch tuýp I.

 - FN (False Negative): Số đối tượng ở lớp Positive được mô hình phân loại vào lớp Negative (dự đoán sai) – Sai lệch tuýp II.

 IoU là tỉ lệ giữa diện tích phần giao và diện tích phần hợp của hai tập C, G. Bản chất vật lý của IoU chính là độ trùng lặp của "khung hình dự đoán" và "khung hình thực"; tình huống lý tưởng là hai hình chồng khít hoàn toàn, nghĩa là tỷ lệ này là 1.

Thông thường, trong các bài toán phát hiện đối tượng, nếu IoU \ge 0,5 thì được cho là chính xác. Nhưng nếu muốn chặt chẽ hơn, có thể đặt IoU cao hơn, chẳng hạn như một số lớn hơn 0,6 hoặc lớn hơn, IoU càng cao thì đối tượng đóng khung càng chính xác.

4.3. Kết quả

Cùng một tập dữ liệu đã tạo, chúng tôi huấn luyện mô hình cho YOLO v5s và YOLO v5sRF riêng biệt, sau đó chúng tôi dựa vào kết quả huấn luyện để đánh giá hiệu suất của YOLO v5sRF so với YOLO v5s. Hình 3 là kết quả quá trình huấn luyện của hai mô hình này. Do bộ dữ liệu có các ảnh chứa đối tượng phức tạp, nhiều kích thước, nên quá trình huấn luyện ở giai đoạn đầu không ổn định, xuất hiện một số đoạn phân rã, tuy nhiên càng về sau thì cả hai mô hình ổn định hơn, các tham số chỉ tiêu có độ hội tụ khá tốt. Dựa vào hình 3 có thể thấy rằng, độ ổn định của thuật toán YOLO v5sRF là tốt hơn. Điều này có được một phần do mô đun ResFocus mang lại. Các khung ảnh đi sau khi đi qua mô đun này giảm tiểu tối đa khả năng mất các đặc trưng từ đối tượng nhỏ, do đó có độ phát hiện cao hơn so với mô hình truyền thống, nó cũng làm cho quá trình lan truyền ngược gặp ít lỗi hơn khi cập nhật các trọng số, từ đó quá trình huấn luyện tham số sẽ ổn định hơn.



Hình 3. Kết quả quá trình huấn luyện của mỗi mô hình.



Hình 4. So sánh kết quả thu được thực tế giữa 2 mô hình.

Hình 4 thể hiện kết quả phát hiện đối tượng thực tế giữa mô hình YOLO v5sRF và YOLO v5s. Chúng ta có thể thấy, v5sRF phát hiện đối tượng ở một số vị trí tốt hơn v5s, đặc biệt là các đối tượng nhỏ hoặc bị che một phần. Trong hình 4A có thể thấy đối tượng người đi xe máy và ô tô được phát hiện bởi v5sRF tương ứng vị trí mũi tên còn trong hình 4B sử dụng mô hình YOLO v5s thì không. Tương tự như trong hình 4C, người và xe ở giữa ảnh được phát hiện bởi v5sRF, với đối tượng ô tô bị che khuất một phần, còn trong hình 4D sử dụng mô hình YOLO v5s thì không phát hiện được.

Bảng 1 thể hiện kết quả so sánh giữa hai mô hình YOLO v5s và YOLO v5sRF, trong đó, mAP@.5 là độ chính xác trung bình với IoU-0.5; mAP@0.5:.95 là độ chính xác trung bình của IoU từ 0.5:0.95 với số bước là 0,05. Kết quả trên cho thấy mô hình YOLO v5sRF có độ chính xác R, P hay mAP vượt trội hơn so với thuật toán YOLO v5s nguyên bản. Cụ thể, độ chính xác mAP@.5 của v5sRF cao hơn 3% so với v5s, và mAP@.5:.95 của v5sRF cao hơn 2,7% so với thuật toán v5s. Bảng 2 cho thấy số lượng trọng số của hai mô hình, có thể thấy số lượng trọng số cơ bản tương đương, tuy nhiên YOLOv5sRF cho kết quả độ chính xác cao hơn. Kết quả trên đã chứng minh được tính hiệu quả của phương pháp đề ra trong bài báo này, từ đó giúp cho bài toán phát hiện đối tượng có độ chính xác cao hơn, làm tăng khả năng phán đoán dẫn đường của robot tự hành.

Mô hình	Р	R	mAP@.5	mAP@.5:.95		
YOLO v5s	96,00	85,90	89,20	73,20		
YOLO v5sRF	96,50	89,20	92,20	75,90		
Bảng 2. So sánh số lượng trọng số của hai mô hình						
Mô hình			Số lượng parameters			
YC		7235389				
YOL		7235487				

Bảng 1. So sánh kết quả của hai mô hình YOLO v5s và YOLO v5sRF

5. Kết luận

Bài báo đã đề xuất một phương pháp cải thiện thuật toán YOLO v5s bằng cách sửa đổi module Focus nằm trong mạng backbone của mô hình. Qua thí nghiệm với bộ dữ liệu được xây dựng cho thấy mô hình được cải thiện có độ chính xác cao hơn so với mô hình sử dụng thuật toán YOLO v5s nguyên bản. Đây là cơ sở để nâng cao khả năng nhận dạng và phát hiện đối tượng, góp phần vào việc phát triển các hệ thống thu nhận và xử lí ảnh trong thời gian thực. Đối với UAV, robot tự hành, việc tăng độ chính xác trong phát hiện đối tượng sẽ làm giảm khả năng dự đoán sai đối tượng, từ đó giúp UAV, robot đưa ra được những quyết định chính xác hơn trong các tình huống.

Tài liệu tham khảo

- 1. Karami, E., Shehata, M., & Smith, A. (2017). Image identification using SIFT algorithm: performance analysis against different image deformations. arXiv preprint arXiv:1710.02728.
- N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05), San Diego, CA, USA, 2005, pp. 886-893 vol. 1, doi: 10.1109/CVPR.2005.177.
- 3. Girshick, R. (2015). Fast r-cnn. In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision (pp. 1440-1448).
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 779-788).
- 5. Dong, X., Yan, S., & Duan, C. (2022). A lightweight vehicles detection network model based on YOLOv5. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 113, 104914.
- 6. Guo, G., & Zhang, Z. (2022). Road damage detection algorithm for improved YOLOv5. Scientific reports, 12(1), 15523.
- Wang, J., Chen, Y., Dong, Z., & Gao, M. (2023). Improved YOLOv5 network for real-time multi-scale traffic sign detection. Neural Computing and Applications, 35(10), 7853-7865.
- 8. Wang, Z., Wu, L., Li, T., & Shi, P. (2022). A smoke detection model based on improved YOLOv5. Mathematics, 10(7), 1190.
- 9. Yao, J., Qi, J., Zhang, J., Shao, H., Yang, J., & Li, X. (2021). A real-time detection algorithm for Kiwifruit defects based on YOLOv5. Electronics, 10(14), 1711.
- 10. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 770-778).
- 11. Teng, S., Fu, A., Lu, W., & Li, Z. (2023). TCM Syndrome Classification Using Graph Convolutional Network. European Journal of Integrative Medicine, 102288.
- 12. Wang, X., Cai, L., Zhou, S., Jin, Y., Tang, L., & Zhao, Y. (2023). Fire Safety Detection Based on CAGSA-YOLO Network. Fire, 6(8), 297.
- Qi, J., Liu, X., Liu, K., Xu, F., Guo, H., Tian, X., ... & Li, Y. (2022). An improved YOLOv5 model based on visual attention mechanism: Application to recognition of tomato virus disease. *Computers and electronics in agriculture*, 194, 106780.

Research on improving the quality of small object detection using the improved **YOLOv5** algorithm

Abstract: Object detection is a crucial task in computer vision, with a wide range of practical applications such as face recognition, vehicle classification, object tracking, and more. Various algorithms have been developed to address this problem, with YOLO emerging as one of the most advanced approaches. Recent versions of YOLO prioritize enhancing real-time object detection speed and accuracy. While YOLOv5 has significantly improved upon its predecessors in terms of speed, accuracy, and stability, challenges remain in handling images with distortion, occlusion, or variations in object size and shape. This paper investigates an improved YOLOv5 algorithm to enhance the detection of small and partially occluded objects. The research findings contribute to the development of real-time image acquisition and processing systems.

Keywords: Deep learning; YOLO; object detection.

Nhận dạng hệ số lực nâng máy bay sử dụng mô hình nơron phản ứng đột biến và thuật toán lan truyền ngược sai số đột biến với tốc độ học thích nghi

Nguyễn Văn Tuấn^{1*}, Trương Đăng Khoa¹, Phạm Trung Dũng¹

¹Học viện kỹ thuật quân sự. Email: tuannguyen.mtak44@gmail.com

Tóm tắt

Bài báo đề xuất phương pháp nhận dạng hệ số lực nâng của máy bay dựa trên dữ liệu ghi lại từ chuyến bay thực tế, sử dụng mạng nơron đột biến theo mô hình nơron phản ứng đột biến và thuật toán lan truyền ngược sai số đột biến với tốc độ học thích nghi. Kết quả nhận dạng được so sánh với kết quả khi sử dụng thuật toán lan truyền ngược sai số đột biến, cho thấy sai số trung bình bình phương nhỏ hơn 5% và tốc độ hội tụ nhanh hơn thông qua số lần luyện mạng nhỏ hơn. Kết quả nhận được là cơ sở để có thể áp dụng mạng SNN với các mô hình nơron và tổng hợp thuật toán luyện mạng khác trong nhận dạng các hệ số khí động của thiết bị bay trong các chế độ cơ động khác nhau.

Từ khóa: Thiết bị bay; Mạng nơron đột biến; Lan truyền ngược sai số đột biến, Mô hình phản ứng đột biến

1. Mở đầu

Các hệ số khí động là những tham số quan trọng cho phép đánh giá được hiệu quả của thiết bị bay. Các tham số này là các chỉ tiêu được đặt ra và được quan tâm trong suốt quá trình thiết kế, thử nghiệm và khai thác sử dụng thiết bị bay (TBB). Việc nhận dạng các tham số khí động có thể được thực hiện theo các phương pháp truyền thống như phương pháp hồi quy, các phương pháp Maximum Likelihood, sai số đầu ra, và sai số phương trình [1] theo các dữ liệu nhận được từ mô hình mô phỏng [2-4] hoặc từ các chuyến bay thử nghiệm [5, 6].

Hiện nay, việc nghiên cứu, ứng dụng mạng nơron nhân tạo trong nhận dạng hệ số khí động thiết bị bay đã phát triển mạnh mẽ [1, 7] và thể hiện những ưu điểm nhất định đối với mô hình phi tuyến của các hệ số khí động. Các nghiên cứu về mạng nơron đột biến (SNN) gần đây đã chứng tỏ độ chính xác và hiệu quả cao trong việc nhận dạng các hệ động học phức tạp [8, 9].

Trong nghiên cứu này, các tác giả đề xuất một cấu trúc mạng mô hình phản ứng đột biến (SRM) cho bài toán nhận dạng hệ số khí động của TBB. Để luyện mạng noron phản ứng đột biến nhiều lớp, có nhiều thuật toán tương tự như thuật toán lan truyền ngược được thiết kế cho các mạng noron truyền thống (SpikeProp) đã được ứng dụng trong nhận dạng hệ số lực nâng [10]. Tuy nhiên, thuật toán SpikeProp tồn tại một số hạn chế nhất định như chỉ kích hoạt một đột biến duy nhất. Để khắc phục một số hạn chế của thuật toán này, đồng thời cải thiện độ chính xác và tốc độ hội tụ cho mạng, các tác giả đã ứng dụng thuật toán SpikeProp với tốc độ học thích nghi để thay thế cho thuật toán Spikeprop ban đầu.

^{*} Email: tuannguyen.mtak44@gmail.com

Cấu trúc của bài báo được tổ chức như sau: Phần 1 giới thiệu tổng quan về tầm quan trọng của các hệ số khí động của thiết bị bay và các phương pháp nhận dạng chúng. Phần 2 xây dựng mô hình chuyển động máy bay trong kênh độ cao. Phần 3 đề xuất cấu trúc mô hình mạng nơron phản ứng đột biến. Phần 4 đề xuất thuật toán SpikeProp với tốc độ học thích nghi cho SNN. Phần 5 thực hiện nhận dạng hệ số lực nâng của máy bay theo mô hình và thuật toán đề xuất. Phần 6 kết luận, đánh giá các kết quả nhận được.

2. Mô hình động học máy bay trong kênh độ cao

Trong hệ tọa độ liên kết của máy bay Oxyz ở hình 1 [11]: α, β - góc tấn công và góc trượt; V - tốc độ máy bay; X, Y, Z các thành phần lực khí động; V_x, V_y, V_z - các thành phần tốc độ; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ - các thành phần tốc độ góc; M_x, M_y, M_z - các thành phần mômen khí động.

Trong kênh độ cao, chuyển động của máy bay được mô tả bằng hệ phương trình phi tuyến [12]:



Hình 1. Hệ tọa độ liên kết của máy bay và các ký hiệu

trong đó \mathcal{P} - góc gật; C_L, C_D - hệ số lực nâng khí động, hệ số lực cản khí động; m_y - hệ số mômen khí động theo kênh chúc ngóc; I_y – mômen quán tính theo trục Oy.

Các hệ số khí động học này phụ thuộc vào nhiều yếu tố: $\alpha, \omega_y, \delta_e, V \dots$ sơ đồ khí động, tham số hình học của thân và cánh (góc mũi tên cánh, profile).

Các hệ số lực nâng, hệ số lực cản và hệ số mômen trong (1) được xác định trong hệ tọa độ tốc độ, khi chuyển qua hệ tọa độ liên kết, các hệ số này được xác định như sau [12]:

$$\begin{cases} C_x = \frac{1}{q_V S} (ma_x - P); \ C_z = \frac{ma_z}{q_V S}; \ m_y = \frac{1}{q_V S b_A} I_y \dot{\omega}_y \\ C_L = C_x \sin \alpha - C_z \cos \alpha; \ C_D = -C_x \cos \alpha - C_z \sin \alpha \end{cases}$$
(2)

Mô hình hệ số lực nâng của **máy bay** viết dưới dạng các hệ số khí động đối với thành phần phi tuyến [12]:

$$C_{L} = C_{L_{0}} + C_{L_{-}\alpha}\Delta\alpha + C_{L_{-}\omega_{y}}\frac{\omega_{y}b_{A}}{2V_{0}} + \frac{1}{2} \left[C_{L_{-}\alpha^{2}}(\Delta\alpha)^{2} + 2C_{L_{-}\alpha_{-}\omega_{y}}\left(\Delta\alpha\frac{\omega_{y}b_{A}}{2V_{0}}\right) + C_{L_{-}\omega_{y}^{2}}\left(\frac{\omega_{y}b_{A}}{2V_{0}}\right)^{2} \right] + \cdots$$
(3)

ở đây: C_{L_0} – hệ số lực nâng khi $\alpha = \alpha_0, V = V_0, q = 0$.

Việc xác định thành phần hệ số khí động học tương ứng với các thành phần phi tuyến là cực kỳ phức tạp. Trong bài báo này, tác giả đề xuất sử dụng xấp xỉ sự phụ thuộc phi tuyến này bởi mô hình mạng noron đột biến Izhikevich.

3. Mô hình phản ứng đột biến của noron

Một cấu trúc của mạng nơron đột biến được giới thiệu trong [13] như trong Hình 2a. Khác với mạng nơron truyền thống, hai nơron liên kết chỉ bằng một khớp nối, trong SNN, hai nơron có thể được mô hình hóa bằng nhiều khớp nối (Hình 2b). Nơron đột biến sau khớp nối có thể xử lý nhiều đột biến đầu vào từ các nơron đột biến trước khớp nối, đồng thời cũng có thể kích hoạt nhiều đột biến đầu ra tương ứng [13,14].



Hình 2. a) Cấu trúc SNN. b) Liên kết của một nơronHình 3. Chuỗi đột biến trước khớp nối, sau khớp nốitrước và sau khớp nối.và đầu ra giữa hai nơron

Mạng được giả sử có kết nối đầy đủ, một noron trong một lớp l bất kỳ được kết nối với tất cả các noron trong lớp l + 1 trước đó (các lớp được đánh số theo trình tự ngược lại bắt đầu từ lớp đầu ra, được ký hiệu là lớp số 1) [13]. Do đó, noron $j (\in \{1, 2, ..., N_l\})$ trong lớp l là noron sau khớp nối đối với N_{l+1} noron trước khớp nối trong lớp l + 1, trong đó N_l là số noron trong lớp l. Mỗi noron $i (\in \{1, 2, ..., N_{l+1}\})$ trước khớp nối được kết nối với noron j sau khớp nối thông qua K khớp nối. Số K là hằng số đối với hai noron bất kỳ. Trọng số của khớp nối thứ $k (k \in \{1, 2, ..., K\})$ giữa các noron i và j được ký hiệu là w_{ij}^k . Giả sử rằng noron i trước khớp nối kích hoạt chuỗi G_i đột biến và đột biến thứ $g (g \in [1, G_i])$ được kích hoạt tại thời điểm $t_i^{(g)}$ (Hình 3), khớp nối thứ k lan truyền đột biến thứ g đến noron sau khớp nối tại thời điểm $t_i^{(g)} + d^k$, trong đó d^k là độ trễ liên quan đến khớp nối thứ *k*. Mô hình của các khớp nối giống hệt nhau đối với tất cả các noron và khớp nối thứ *k* giữa hai noron bất kỳ có cùng độ trễ, d^k . Theo cùng một ký hiệu, đầu ra của noron *j* sau khớp nối là một chuỗi các đột biến G_j , trong đó đột biến thứ g ($g \in$ [1, G_i]) được kích hoạt tại thời điểm $t_i^{(g)}$ (Hình 3).

Về mặt toán học, trạng thái bên trong $x_j(t)$ của nơron *j* sau khớp nối trong lớp *l* tại thời điểm *t* được mô hình hóa như [13, 15]:

$$x_{j}(t) = \sum_{i=1}^{N_{l+1}} \sum_{k=1}^{K} \sum_{g=1}^{G_{i}} w_{ij}^{k} \mathcal{E}(t - t_{i}^{(g)} - d^{k}) + \eta(t - t_{j}^{(f)})$$
(4)

$$\varepsilon(s) = \left[\exp(-\frac{s}{\tau_1}) - \exp(-\frac{s}{\tau_2}) \right] H(s)$$

$$s = t - t_i^{(g)} - d^k$$
(5)

trong đó $\mathcal{E}(s)$ là hàm phản ứng đột biến; τ_2 là hằng số thời gian của sườn lên, τ_1 là biến thời gian phân rã để thay đổi thời lượng tác động của hàm phản ứng đột biến, thực tế thiết lập: $\tau_2 = 5 \text{ms}; \tau_1 = 10 \text{ms} [15]; H(s)$ biểu thị hàm bước Heavyside: H(s) = 1 nếu s > 0 và H(s) = 0nếu $s \le 0; \eta$ là hàm phục hồi điện thế hoạt động của noron về giá trị điện thế nghỉ sau khi noron kích hoạt một đột biến, bằng các phân tích trong [13, 15] tác giả chọn hàm η có dạng như sau:

$$\eta = \begin{cases} -2\mathscr{G}e^{-\frac{s}{\tau_R}} & \text{if } s > 0\\ 0 & \text{if } s \le 0 \end{cases}$$
(6)

trong đó \mathcal{G} là ngưỡng kích hoạt của nơron và τ_R là hằng số phân rã theo thời gian xác định hình dạng lan truyền của hàm phục hồi. Không mất tính tổng quát, trong bài báo chúng tôi giả sử $\eta = 0$ để quá trình tính toán được đơn giản hơn.

4. Thuật toán lan truyền ngược sai số đột biến với tốc độ học thích nghi

Trong thuật toán lan truyền ngược sai số đột biến [10, 16], các thời điểm kích hoạt đầu ra t_{out} đối với từng nơron *j* xác định khi điện áp đầu ra của các nơ ron lớp *i* đạt mức ngưỡng $(u(t_{out}) = u_{ng})$. Hình 4 biểu diễn thời điểm kích hoạt.



Hình 4. Đồ thị biểu diễn thời điểm kích hoạt khi $u(t) = u_{ng}$

Thuật toán SpikeProp có nguồn gốc từ [10], sử dụng phương pháp cập nhật trọng số tương tự như lan truyền ngược lỗi:

$$\Delta w_{ij}^{k} = -\mu \frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{k}} \tag{7}$$

Ở đây η là tốc độ học, được giữ không đổi trong suốt quá trình đào tạo [10]. Hiệu suất của thuật toán có thể được cải thiện nếu tốc độ học được phép thay đổi trong quá trình huấn luyện. Ngoài ra, để cải thiện khả năng hội tụ và vượt qua các cực tiểu cục bộ, động lượng được sử dụng kết hợp với tốc độ học thích nghi.

$$w_{ij}^{k}(n+1) = w_{ij}^{k}(n) - \mu_{ij}^{k}(n+1)\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ij}^{k}(n)} + \alpha \Delta w_{ij}^{k}(n-1)$$
(8)

trong đó α là hệ số động lượng. Tốc độ học thích nghi μ_{ij}^k được lập chỉ mục bởi n +1 thay vì n để chỉ rằng quá trình cập nhật của nó xảy ra trước khi cập nhật w_{ij}^k . Tốc độ học thích nghi, được thực hiện để đáp ứng với độ phức tạp của bề mặt lỗi, nên cố gắng giữ kích thước bước học càng lớn càng tốt trong khi vẫn giữ cho việc học ổn định. Sau đây, quy tắc delta-bar-delta được sử dụng để điều chỉnh tốc độ học một cách thích nghi.

Quy tắc delta-bar-delta được xác định bởi các hàm sau [17]:

$$\Delta \mu_{ij}^{k}(n) = \begin{cases} a & if \quad S_{ij}^{k}(n-1)D_{ij}^{k}(n) > 0\\ -b\mu_{ij}^{k}(n) & if \quad S_{ij}^{k}(n-1)D_{ij}^{k}(n) < 0\\ 0 & otherwise \end{cases}$$
(9)

$$D_{ij}^{k}(n) = \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ij}^{k}(n)}$$
(10)

$$S_{ij}^{k}(n) = (1 - \xi) D_{ij}^{k}(n) + \xi S_{ij}^{k}(n-1)$$
(11)

trong đó *a*, *b* và ξ là toàn bộ tham số. Các giá trị cụ thể như sau: $10^{-4} \le a \le 0.1, 0.1 \le b \le 0.5$, và $0.1 \le \xi \le 0.7$.

Trong quy tắc delta-bar-delta, tốc độ học tăng tuyến tính và giảm theo cấp số nhân. Tăng tuyến tính tránh tốc độ tăng quá mức. Và việc giảm theo cấp số nhân khiến tỷ lệ học tập giảm rất nhanh nhưng vẫn tích dương.

- Quy tắc cập nhật trọng số đối với lớp đầu ra:

$$\Delta w_{ij}^{k} = -\mu y_{i}^{k} (t_{j}^{a}) (t_{j}^{a} - t_{j}^{d}) \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_{i}} \sum_{k=1}^{K} w_{ij}^{k} (\partial y_{i}^{k} (t_{j}^{a}) / \partial t_{j}^{a})} = -\mu y_{i}^{k} (t_{j}^{a}) \delta_{j}$$
(12)

- Quy tắc cập nhật trọng số đối với lớp ẩn:

$$\Delta w_{hi}^{k} = -\mu y_{h}^{k}(t_{i}^{a})\delta_{i} = -\mu \frac{y_{h}^{k}(t_{i}^{a})\sum_{j=1}^{N_{j}} \delta_{j} \sum_{k=1}^{K} w_{ij}^{k} \frac{\partial y_{i}^{k}(t_{j}^{a})}{\partial t_{i}^{a}}}{\sum_{h=1}^{N_{H}} \sum_{l=1}^{L} w_{hi}^{l}(\partial y_{h}^{l}(t_{i}^{a}) / \partial t_{i}^{a})}$$
(13)

Lưu đồ tổng quan cho thuật toán lan truyền ngược sai số đột biến như Hình 5:



Hình 5. Lưu đồ tổng quát quá trình nhận dạng hệ số lực nâng

5. Kết quả và thảo luận

5.1. Dữ liệu phục vụ nhận dạng

Với mục đích nhận dạng các hệ số khí động trong kênh độ cao cho một dạng máy bay, bài báo này sử dụng bộ tham số theo thuyết minh kỹ thuật và dữ liệu được ghi lại trong chuyến bay của máy bay Su–30. Các tham số đặc trưng [10] và điều kiện bay tương ứng bộ dữ liệu bao gồm:

- Lực đẩy động cơ: $P = 74600$ N	- Độ cao bay: $H = 4000 \text{ m}$
- Khối lượng: $m = 24900 \text{ kg}$	- Tốc độ máy bay: $V = 139$ m/s
- Diện tích cánh nâng: $S = 65 \text{ m}^2$	- Áp suất khí động: $q = \frac{\rho V^2}{2}$ N/m ²
- Såi cánh: $l = 14,1$ m	- Gia tốc trọng trường: $g = 9.8 \text{ m/s}^2$
- Sải cánh lái độ cao: $l_c = 9,8 \text{ m}$	- Mômen quán tính theo trục $Oy: I_y = 62010 \text{ kg.m}^2$
- Cung khí động: $b = 4,6$ m	

Các tham số đo được trong kênh độ cao:

Khi cơ động theo kênh độ cao, các tham số chuyến bay đo được phục vụ nhận dạng bao gồm: góc tấn công α , góc gật θ , tốc độ góc gật ω_v , góc lệch cánh lái độ cao δ_e , gia tốc theo trục đứng a_z .

4.2. Kết quả nhận dạng

Quá trình tính toán nhận dạng được viết theo phần mềm MATLAB. Kết quả nhận dạng các tham số khí động kênh độ cao bằng mô hình mạng nơron phản ứng đột biến (hai lớp ẩn 10 nơron), với thuật toán SpikeProp có tốc tộc học thích nghi được so sánh với thuật toán SpikeProp có tốc độ học cố định về sai số trung bình bình phương như hình 6 và tốc độ hội tụ như Hình 7.



Hình 6. Kết quả nhận dạng khi sử dụng thuật toán SpikeProp với tốc độ học thích nghi



Hình 7. Kết quả nhận dạng khi sử dụng thuật toán SpikeProp nguyên bản



Hình 8. Sai số trung bình bình phương của hai thuật Hình 9. Thời gian luyện mạng và thời gian hội tụ của toán mạng

Rõ ràng, có thể thấy thuật toán SpikeProp với tốc độ học thích nghi cho kết quả nhận dạng chính xác và thời gian ngắn hơn hơn so với thuật toán SpikeProp ban đầu, cụ thể như sau:

- Sai số trung bình bình phương MSE của thuật toán SpikeProp với tốc độ học thích nghi chỉ mất 8 epochs để có thể tiến tới 0, so với 18 epochs của SpikeProp bản gốc như Hình 8.

- Thời gian luyện mạng của thuật toán SpikeProp với tốc độ học thích nghi và SpikeProp bản gốc không chênh lệch nhiều khi tổng thời gian luyện mạng lần lượt là 0.85s và 0.95s. Tuy nhiên thời gian mạng bắt đầu hội tụ hoặc MSE tiến về 0 thì có sự chênh lệch lớn, cụ thể 0.2s cho thuật toán SpikeProp với tốc độ học thích nghi và gần 0.5s cho SpikeProp bản gốc như Hình 9.

6. Kết luận

Mô hình mạng nơron phản ứng đột biến với thuật toán luyện mạng SpikeProp có tốc độ học thích nghi là một công cụ hữu ích có khả năng nhận dạng hệ số lực nâng của máy bay theo mô hình phi tuyến thiết bị bay dựa trên các dữ liệu thu nhận được trong các chuyến bay. Kết quả nhận được được cho thấy:

- Hệ số lực nâng nhận dạng được đáp ứng độ tin cậy và tốc độ hội tụ cho phép;

- So sánh với kết quả nhận dạng bằng thuật toán SpikeProp bản gốc cho thấy kết quả tốt hơn, tiệm cận đến giá trị thực của hệ số lực nâng,

Trong tương lai cần thực hiện nhận dạng trên nhiều tập dữ liệu khác nhau, trong cá điều kiện bay khác nhau, đông thời nghiên cứu, xác định khoảng tin cậy đối với các hệ số khí động sau khi nhận dạng được để có thể khẳng định sự hiệu quả của thuật toán.

Tài liệu tham khảo

- S. L. Juntao Liu, Xizhen Song, Chenxi Wang, 2017, "Influence of Linear and Nonlinear Aerodynamic Models on Parameter Identification for Aircraft," *International Conference* on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), pp. 227-232, DOI:10.1109/ICCAIS.2017.8217581
- 2. M. Y. M. A. Loai A. El-Mahdy, Mahmoud Y. M. Ahmed, Mahmoud Y. M. Ahmed, 2017,

"A Comparative Study of Prediction Techniques for Supersonic Missile Aerodynamic Coefficients," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 14(1), pp. 33-55, DOI:10.2514/6.2017-1205

- 3. W. C. Pawat Chusilp, and Navapan Nutkumhang, 2011, "A Comparative Study on 6-DOF Trajectory Simulation of a Short Range Rocket using Aerodynamic Coefficients from Experiments and Missile DATCOM," *The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering*. Defence Technology Institute, Pakkred, Nonthaburi, Thailand
- 4. A. P. H. Y. M. Prof. Kamil I. AL-Doulaimi, Asst. Prof Hussain Y. M, 2006, "Prediction of aerodynamic coefficients of missile using panel method," *Journal of Engineering*, vol. 12, pp. 389-404, Art. no. 2
- 5. Marie Albisser, "Identification of aerodynamic coefficients from free flight data," *Automatic Control Engineering*
- 6. D. N. Karolina Krajček, Anita Domitrović, 2015, "AIRCRAFT PERFORMANCE MONITORING FROM FLIGHT DATA," *Tehnički vjesnik, DOI:10.17559/TV-*20131220145918
- Q. X. Jinyong Yu, Yue Zhi, 2011, "A Self-adaptive Region Fuzzy Guidance Law Based on RBF Neural Network for Attacking UAV," *IEEE*, pp. 426-430, DOI:10.1109/ICCRD.2011.5763938
- 8. N. Đ. Thành, "Ứng dụng mạng nơron nhận dạng các tham số khí động kênh độ cao nhằm nâng cao hiệu quả thiết kế thiết bị bay," *Tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học công nghệ Quân sự, Hà Nội*.
- 9. R. A. Ahmed A. Abusnaina, 2014, "Spiking Neuron Models: A Review," *International Journal of Digital Content Technology and its Applications(JDCTA)*, vol. 8
- Nguyen Văn Tuan, Truong Dang Khoa, Pham Trung Dung, "Identifying aircraft lift coefficient during take-off phase using spike neural network with Izhikevich neural model and Spikeprop deep learning algorithm". Journal of Science and Technique, vol 18, no 2, pp. 93-105, Le Quy Don Technical University, 2023.
- 11. N. Q. VInh, Duc Thanh, N., Minh Dac, H., & Dang Khoa, T., 2020, "Identify aerodynamic derivatives of the airplane attitude channel using a spiking neural network," *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace,* vol. 7, DOI:10.15394/ijaaa.2020.1490
- 12. E. A. M. Vladislav Klein, 2006, "Aircraft System Identification Theory and Practice," *American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.*
- 13. Ghosh-Dastidar, S., Adeli, H.: A new supervised learning algorithm for multiple spiking

neural networks with application in epilepsy and seizure detection. Neural Netw. 22(10), 1419-1431 (2009)

- 14. Ghosh-Dastidar, S., Adeli, H, "Improved spiking neural networks for EEG classification and epilepsy and seizure detection," Integr Comput. Aided Eng. 14(4), pp. 187–212, 2007
- 15. Xiurui Xie, Hong Qu, Guisong Liu, Malu Zhang, Jürgen Kurths, "An efficient supervised training algorithm for multilayer spiking neural networks," Department of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, 611731, Chengdu, Sichuan, China, 2016, PLoS ONE 11(4): e0150329
- 16. Bohte, S.M., Kok, J.N., La Poutré, H, "Error-backpropagation in temporally encoded networks of spiking neurons," Neurocomputing 48(1–4), 17–37, 2002
- Yuling Luo., Qiang Fu., Junxiu Liu., Jim Harkin., Liam McDaid., Yi Cao.: An Extended Algorithm Using Adaptation of Momentum and Learning Rate for Spiking Neurons Emitting Multiple Spikes. Faculty of Electronic Engineering, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China, 569-579 (2017)

Lift coefficient identification of airplane by using the spiking neural network model and spikeprop algorithm with the adaptive learning rate

Abstract: This paper proposes a method to identify the lift coefficient of an aircraft based on data recorded from actual flights, using a spike neural network according to the spike response model and the spike error backpropagation algorithm with an adaptive learning rate. The identified results are compared with the results using the mutation error backpropagation algorithm, showing that the mean square error is less than 5% and the convergence speed is faster through a smaller number of network training times. The results obtained are the basis for applying SNN networks with neural models and synthesizing other network training algorithms in identifying aerodynamic coefficients of aircraft in different maneuvering modes.

Keywords: Flying vehicle; Spiking neural network; SpikeProp algorithm; Spike Response Model.

Ứng dụng phương pháp điều khiển trượt trên mô hình ổn định hai bậc tự do Hồ Sĩ Vinh^{1*}

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt (Abstract)

Trong thực tế hệ thống điều khiển cần phải có sự linh hoạt, có khả năng điều khiển đa hướng, trong đó hệ thống điều khiển hai bậc tự do (viết tắt là 2DOF) là một hệ thống phổ thông và tổng quát. Mục tiêu chính của điều khiển 2DOF là khả năng bám sát theo cả hai hướng và loại bỏ nhiễu loạn. Các bộ điều khiển 2DOF khác nhau và các phép biến đổi tương đương của nó đã và đang được các nhà nghiên cứu quan tâm và được đề xuất sử dụng rất nhiều trong nhiều lĩnh vực như công nghiệp, y tế...

Phương pháp điều khiển trượt mặc dù đã được xuất hiện từ rất sớm (1950)[1] nhưng mãi đến sau này hệ tư tưởng của điều khiển trượt mới được phổ biến rộng rãi, từ đó càng ngày càng được hoàn thiện, nâng tầm tổng quát về cả lý thuyết cũng như ứng dụng. Phương pháp điều khiển trượt là một phương pháp điều khiển phi tuyến, có khả năng chịu được các nhiễu loạn và thay đổi của tham số hệ thống trong một giới hạn cho phép. Phương pháp này dựa trên việc tạo ra một mặt trượt (sliding surface) sao cho khi hệ thống chuyển động trên bề mặt này, các biến số trạng thái của hệ thống đạt được các yêu cầu mong muốn, như ổn định, chính xác, tối ưu, v.v.

Bài báo này nêu các bước nghiên cứu và ứng dụng phương pháp điều khiển trượt cho mô hình ổn định hai bậc tự do, mục đích là điều khiển bề mặt ổn định của mô hình luôn nằm theo phương song với mặt đất khi có tác động của nhiễu loạn và thay đổi của tham số hệ thống trong một giới hạn cho phép.

Mô hình sử dụng cảm biến gia tốc gyroscope để đo đạc góc sai lệch, tín hiệu sai lệch sau đó được thu thập và biểu diễn trên phần mềm debug một cách trực quan để dễ dàng hơn trong việc phân tích và đưa ra tham số cho bộ điều khiển.

Từ khóa: Mô hình ổn định hai bậc tự do, Two degree of freedom control, Điều khiển trượt, SMC;

1. Đặt vấn đề

Điều khiển trượt (SMC) là một kỹ thuật điều khiển phi tuyến có nhiều ưu điểm nổi trội như độ chính xác, mạnh mẽ, dễ dàng hiệu chỉnh tham số (tuning) bộ điều khiển và dễ ứng dụng, tích hợp cho nhiều hệ thống khác nhau.

Điều khiển trượt đưa hệ thống vào trạng thái trong đó động lực học của nó có thể được mô tả bằng phương trình vi phân có bậc tự do thấp hơn, trong trường hợp đó về mặt lý thuyết, hệ thống hoàn toàn độc lập với những thay đổi trong tham số và một số tác động nhiễu loạn bên ngoài.

Theo đó, điều khiển trượt có vẻ như là một phương pháp điều khiển hoạt động tốt và mạnh mẽ, nhưng bên cạnh đó vẫn có những hạn chế nghiêm trọng trong việc triển khai thực tế. Vấn đề lớn nhất đó là sự rung lắc (chattering)[1], đây là hiện tượng hệ thống dao động tần số cao xung quanh bề mặt trượt. Hiện tượng này làm cho tín hiệu điều khiển động chiều liên tục với tần số cao, với đối tượng điều khiển là động cơ điện một chiều thì điều này làm giảm đáng kể hiệu suất và độ bền của động cơ cũng như của hệ thống.

Sử dụng mô hình cụ thể trong việc xây dựng bộ điều khiển phi tuyến giúp cho việc thiết kế và xây dựng bộ điều khiển trở nên dễ dàng và hiệu quả hơn. Bằng cách sử dụng mô hình chúng ta có thể tối ưu hóa các thông số của bộ điều khiển trượt để đạt được hiệu suất tốt nhất, sát với

^{*} Email: hsvprofessor@gmail.com

nhất với thực tế. Ngoài ra, việc sử dụng mô hình cụ thể cũng giúp cho việc kiểm tra và đánh giá hiệu suất của bộ điều khiển trở nên dễ dàng hơn.

Mục đích của bài báo này sử dụng các công cụ mô phỏng để diễn đạt hiện tượng rung, biện pháp sử dụng hàm thay thế để khắc phục hiện tượng rung và để nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển với đối tượng cụ thể là mô hình ổn định hai bậc tự do.

2. Mô phỏng và thực nghiệm

Ý tưởng là sử dụng vi điều khiển (MCU) để thu thập tín hiệu sai số và chuyển đổi tín hiệu điều khiển thành động lực ổn định cho mô hình, tín hiệu sai số được thu thập và tín hiệu điều khiển được tạo ra và quan sát trên công cụ labVIEW, sơ đồ chức năng như sau:



Hình 1: Sơ đồ chức năng tổng quát của thực nghiệm

2.1. Cấu tạo, thành phần, sơ đồ kết nối của mô hình:



Hình 2. Hình ảnh bên ngoài của mô hình hai bậc tự do.

Mô hình bao gồm một mặt cân bằng (1) ghép nối với phần thân trụ (3) bằng 2 khớp truyền động tự do (2) theo hai hướng x, y.



Hình 3. Cấu tạo cơ cấu điều khiển truyền động của mô hình.

Mô hình sử dụng hai động cơ bước (NEMA 17) điều khiển hai khớp truyền động cân bằng theo hai phương x, y.



Hình 4. Cảm biến góc MPU6050.

Mô hình sử dụng cảm biến gia tốc góc MPU6050, gắn chặt với mặt cân bằng để đo đạt giá trị góc hiện thời của mặt cân bằng. Giá trị góc được thu thập bằng mạch vi điều khiển STM32F407 Discovery, sau đó được truyền lên phần mềm labVIEW thông qua truyền thông USB CDC.

2.2. Hàm truyền và tham số động cơ

Các tham số của động cơ được giả định theo bảng sau:

() Ou trị Testi, Testi, Testi tương ứng với 5 ượng có ượn một chiếu khúc thiếu.					
Tham số	Ý nghĩa	Giá trị Test1 ^(*)	Giá trị Test2 ^(*)	Giá trị Test3 ^(*)	
Ra	Điện trở phần ứng	2 Ω	$0.6 \ \Omega$	1 Ω	
La	Điện cảm	0.5 mH	0.8 mH	0.2 mH	
Kt	Hằng số mô-men xoắn	0.1	0.2	0.2	
Kv	Suất điện động phản	0.1 V	0.2 V	0.8 V	
J	Mô-men quán tính	0.2 kgm^2	0.9 kgm ²	0.4 kgm^2	
В	Hệ số ma sát	0.02	0.7	0.5	

(*) Giá trị Test1, Test2, Test3 tương ứng với 3 động cơ điện một chiều khác nhau.

Bảng 1. Tham số động cơ điện một chiều

Hàm truyền đặc tính cơ, điện của động cơ điện một chiều có thể được tạo bởi công cụ Construct Transfer Function Model VI.



Hình 5. Mô hình hóa tham số động cơ điện một chiều trên labVIEW

Hàm truyền giữa tốc độ quay và điện áp đặt vào của động cơ:

$$G(s) = \frac{K_t}{(Ls+R)(Js+B) + K_t K_v}$$
(1)



Hình 6. Kết quả kiểm tra mô hình động cơ với bộ tham số khác nhau.

2.3. Thiết kế bộ điều khiển trượt

Bước đầu tiên trong thiết kế bộ điều khiển trượt là xác định bề mặt trượt, được biểu diễn như sau:

$$s = \left(\frac{de(t)}{dt} + C \cdot e(t)\right)^{n-1}$$
(2)

Trong đó:

s là bề mặt trượt, *C* là hằng số dương dùng để xác định băng thông của hệ thống (trong một số tài liệu ký hiệu là λ), *n* là bậc của hệ thống và *e* là tín hiệu sai số.

Đối tượng điều khiển là động cơ. Hàm truyền của động cơ là hàm bậc hai. Khi động cơ thay đổi tốc độ, mặt trượt được biểu diễn như sau:

$$s = \frac{d\omega_e(t)}{dt} + C \cdot \omega_e \tag{3}$$

Tốc độ quay ω_e là tín hiệu sai số được định nghĩa là sự khác biệt giữa tín hiệu tham chiếu và biến quá trình. Sau khi mặt trượt đã được xác lập, bước tiếp theo là tạo ra tín hiệu điều khiển để hệ thống tiến đến mặt trượt và ổn định trên mặt trượt đó. Điều này phụ thuộc vào điều kiện sau:

$$s \cdot \dot{s} > 0 \tag{4}$$

Để thỏa mãn điều kiện này, bộ điều khiển phải chứa hàm dấu, là tích của biến giá trị tức thời của mặt trượt và hệ số K dương:

$$u = K \cdot sign(s) \tag{5}$$

Trong thực tế hàm dấu sign(s) sẽ dẫn đến hiện tượng rung lắc, để giảm thiểu hiện tượng này, trong bài viết này dùng hàm thay thế như sau:

$$u = K \cdot \frac{s}{|s| + \delta} \tag{6}$$

 δ là một hằng số dương đủ nhỏ để hệ thống giảm thiểu hiện tượng rung lắc nhưng không gây ảnh hưởng đến bộ điều khiển.



Hình 5. Thiết kế bộ điều khiển trượt trên phần mềm labVIEW.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả mô phỏng

Mô phỏng đồ thị đáp ứng khi tốc độ đặt là 10 rad/s, tham số bộ điều khiển trượt: C = 10, K = 40 và δ = 0.05





Theo đồ thị có thể nhận thấy tốc độ đạt được từ 0 đến 10 rad/s chỉ trong giây đầu tiên và không có hiện tượng vọt lố (overshoot).



Hình 7. Đồ thị tín hiệu điều khiển

Có thể nhận thấy rõ ràng sự rung lắc của tín hiệu điều khiển trên đồ thị. Đây là vấn đề chính của bộ điều khiển trượt.

Đồ thị Hình 8 thể hiện sai số và đạo hàm sai số của bộ điều khiển trượt trong và ngoài mặt trượt



Hình 8: Đồ thị sai số và đạo hàm sai số

3.2. Kết quả thực nghiệm với mô hình thực tế



Hình 9. Đồ thị biến đổi sai số khi có tác động vật lý bên ngoài

Có thể nhận thấy hệ thống có khả năng quay trở về điểm cân bằng ngay sau khi có tác động đột ngột bên ngoài, với sai số không vượt quá 10 độ.

Nhiễu loạn bên ngoài bao gồm tác động của trọng lực lên mặt cân bằng và các tác động của môi trường (Gió, tác động vật lý, sàn đặt mô hình rung lắc...)

Hệ số của bộ điều khiển trượt: C = 10, K = 40 và $\delta = 0.05$.

4. Kết luận

Từ các kết quả mô phỏng và thực nghiệm trên có thể nhận thấy bộ điều khiển trượt đáp ứng rất tốt đối với sự thay đổi của nhiễu và tác động đưa động cơ điện một chiều ra khỏi trạng thái ổn định. Nhưng bên cạnh đó có thể nhận thấy hiện tượng rung lắc vẫn còn xuất hiện và ảnh hưởng không nhỏ đến độ bền của động cơ.

Tài liệu tham khảo

- 1. V. Utkin and H. Lee, "Chattering problem in sliding mode control systems," IFAC Proc. Volumes, vol. 39, no. 5, p. 1, 2006. https://doi.org/10.3182/20060607-3-IT-3902.00003.
- 2. Precise Missile Autopilot Design Using Nonlinear Sliding Mode Control, J. Liao and H. Bang, Jeju, Korea, Republic of, pp. 1330-1335, 2022.
- 3. *A sliding mode controller design for a missile*, Witold Bużantowicz, Journal of theoretical and applied mechanics, 58, 1, pp. 169-182, Warsaw 2020.
- 4. *A composite sliding mode autopilot design*, Xia, Q., Zhu, J., & Qi, Z. (2010), International Journal of Modelling, Identification and Control, 9(1), 37-42.
- Enhanced Sliding Mode Control for Missile Autopilot Based on Nonlinear Disturbance Observer, H. Lee, X. Huang and H. Yin, 2009 International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, Sanya, China, 2009, pp. 210-213.

Application of sliding control method for balance control on a two-degree-of-freedom stabilization model

Abstract: In the realm of control systems, flexibility and multi-directional control capabilities are essential. The two-degree-of-freedom (2DOF) control system stands out as a common and versatile framework. The primary aim of 2DOF control is to achieve precise tracking in both directions while eliminating disturbances. Various 2DOF controllers and their equivalent transformations have garnered significant attention from researchers and have been widely proposed for use in numerous fields, including industry and healthcare.

Sliding mode control, although introduced as early as 1950, gained widespread popularity later on, leading to its continuous refinement and elevation in both theory and application. This nonlinear control method is resilient to disturbances and parameter variations within a certain limit. It relies on creating a sliding surface that ensures the system's state variables meet desired objectives, such as stability, accuracy, and optimization, when moving along this surface.

This paper outlines the research steps and application of sliding mode control to a 2DOF stability model. The goal is to maintain the model's stable surface parallel to the ground despite disturbances and parameter changes within an allowable range. The model employs a gyroscope sensor to measure angular deviations, with the deviation signals collected and visually represented in debugging software for easier analysis and controller parameter adjustment.

Keyword: Two degrees of freedom control, SMC.

A navigation framework for unmanned surface vehicle (USV) in dynamic and unknown environment

Ba Lam Luu¹, Lan Anh Nguyen¹, Cong Tan Tran¹, Viet Tiep Nguyen¹, Xuan Tung Truong¹ ¹Le Ouv Don Technical University;

Email: luubalam110495@gmail.com; Tel:0349.040.933

Abstract

In this paper, we propose an extended framework to get more information of moving objects to develop obstacles avoidance algorithm in the navigation system, which enables an unmanned surface vehicle to safely operate in dynamic and unstructured environments while navigating towards waypoints. The navigation system presented in this paper revolves around the utilization of the modified D* Lite as a path planning strategy with Dubins path algorithm to make it smoother. It integrates dynamic object information, encompassing object motion into a conventional trajectory planning algorithm. To establishes the spatial and temporal relationships between the USV and moving objects, we use the Detection And Tracking of Moving Objects (DATMO) algorithm, which is suitable for USVs equipped only with 2D LIDAR. We then evaluate the navigation system through a series of simulation experiments.

Keyword: USV, unknown environment, dynamic objects, Dubins path, D* Lite, DATMO, Obstacles Avoidance.

1. Introduction

In recent years, the popularity of USVs has surged, making them a focal point in scientific, civilian, and military research. They find applications in diverse fields such as marine environment monitoring, unmanned submersible recovery, and search and rescue missions. Most USVs are designed to operate in structured environments where the surroundings do not vary considerably. Developing a fully autonomous system which can work in any unknown environment is a challenging task that requires robust guidance.

Related to the navigation system for USVs, there have been several research works in recent years. Various methods have been proposed in [1], [2], focusing on developing algorithms for obstacle avoidance in the presence of moving obstacles. When considering the dynamic constraints of the research object, specific curves like Dubins Path [3], B-Spline curve [4], and Clothoid curve [5] are often integrated with the aforementioned algorithms to ensure a smooth and continuous collision avoidance path. Meanwhile, studies by [6] and [7] focus on determining the path for USVs in unknown environments with static obstacles. These algorithms yield promising results; however, there is a need for integration to form a comprehensive navigation system to meet the more complex environmental conditions in which the USV operates.

The navigation system outlined in this paper centers on employing the modified D* Lite as a path planning. Moreover, our extended framework introduces two essential blocks: "Object detection and tracking" and "Object trajectory prediction" to detect and track objects in real-time, predict their future trajectories, and seamlessly incorporate this dynamic information into the navigation process.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 introduces 3 main issues of the extended navigation framework for USV. The results in the simulation environments are described in Section 3. We provide the conclusion of the paper in Section 4.

2. Methodology

2.1 Proposed navigation framework.

USV is a type of autonomous vehicles, representing a specialized subset of self-driving devices designed for operations on water surfaces. Therefore, its navigation system includes functional components similar to the navigation system of autonomous vehicles in general. They are "*perception*", where the robot processes sensor data to extract meaningful insights; "*localization*", involving the determination of the robot's position within the environment; "*motion planning*", which encompasses path planning techniques and trajectory planning methods to enable the robot to decide on appropriate actions to achieve its objectives; and "*motor control*", where the robot regulates its motor outputs to execute the desired trajectory.



Figure 1. The proposed navigation framework

The conventional navigation framework allows the robot to operate safely in a static environment which was mapped. However, the USV usually operates outdoors in undefined areas and often encounters dynamic obstacles. To enhance the ability to avoid dynamic obstacles, the USV needs to detect them and predict their motion trajectories to create a safe avoidance strategy. To achieve this, it is necessary to propose a new system architecture for USV navigation in dynamic environments.

Based on the framework outlined in [8] and [9], we extend it by incorporating two additional functional blocks, as illustrated in Figure 1. In a dynamic environment, the detection and tracking of objects is not as straightforward. Ships navigating in the ocean usually receive information about objects and obstacles in its surroundings through the automatic identification system (AIS). AIS messages contain information about the dimensions, heading, and velocity of ships, enabling tracking and trajectory prediction. Static object information and environmental data are uploaded to the USV via electronic charts. This implies that a through understanding of the operating environment is essential, assuming that all dynamic obstacles can be detected using AIS data. However, in this paper, the USV utilizes 2D LiDAR data for input and identifies objects through clustering with the Adaptive Breakpoint Detector algorithm. Subsequently, oriented bounding boxes are fitted to the resulting clusters using the Search-Based Rectangle Fitting algorithm. For tracking, the system extracts L-shaped features from the rectangles and links them to previously tracked vehicles using the Global Nearest Neighbor

algorithm. Because LiDAR only measures distances to surfaces facing the sensor, object appearances may change over time. To address tracking errors arising from these changes, an L-shape switching algorithm is implemented. Kinematic poses of the tracked objects are estimated using an Unscented Kalman Filter with a Coordinated Turn model. Next, the USV estimates and predicts the trajectories of detected objects within its local cost map. Finally, this information about predicted object trajectories is integrated into motion planning techniques to generate motion control commands, enabling the USV to navigate safely by avoiding moving obstacles and reaching its goal pose.

2.2. Detection and tracking of moving objects

2.2.1 Detection of moving objects

The detection of an object involves a multi-stage process, as shown in Figure 2. The initial stage involves the segmentation of data received from the 2D LiDAR, where the data is partitioned into clusters, with each cluster representing a distinct object. The segmentation process is implemented by the Adaptive Breakpoint Detector Algorithm [10]. It clusters the 2D LIDAR point cloud based on the Euclidean distance between consecutive points. If the Euclidean distance between consecutive points is lower than a predefined threshold distance, the points are clustered together.



Figure 2. Detection process of an object [11]

Following segmentation, the subsequent step is feature extraction, whose purpose is extract geometric shapes from the clustered points. Common extracted geometric shapes are lines, rectangles, circles or ellipses. In this phase, moving objects in the sea are usually ships, boats, so rectangles are fitted onto the clustered data sets, providing estimations of the objects' dimensions. The system utilizes the Search-Based Rectangle Fitting algorithm [12] to iterate through all possible directions to find a rectangle that contains all the LIDAR scan points within a cluster. A performance score is then calculated for each rectangle, and the best fitting rectangle is chosen based on this score.

The final step in the detection process encompasses the extraction of an L-shape from the closest corner of each rectangle, which serves two primary purposes: facilitating collision avoidance systems and mitigating appearance changes of neighboring vehicles. The L-shape feature contains five values extracted from the bounding box, including the position of the

corner point (x_{corner} , y_{corner}), the lengths of their side (L_1 , L_2) and the orientation angle θ . This information is essential for subsequent stages of object tracking.

2.2.2 Tracking of moving objects

The goal of tracking process is to precisely estimate the object's position, velocity, and dimensions using only the current and previous LiDAR measurements. Figure 3. illustrates the various stages of this process.

In the data association stage, L-shapes extracted from the detection process are linked to objects from prior measurements. It uses the Global Nearest Neighbor filter, which associates clusters with objects based on euclidean distance, while ensuring that each cluster is assigned to at most one object. To avoid filling up the memory with previously used Lshapes, each previous tracked object that is not associated with a new L-shape is removed from the memory, while new L-shapes are added to the memory as new objects.

Subsequently, the detected L-shapes are compared with their corresponding L-shapes from the previous measurements to identify any translation or rotation of the object. If a change is detected, the three trackers are updated, which two are meant for the position and one for the shape of the object. In this paper we chose to use UKF Kinematic Tracker which track the nonlinear motion model.



Figure 3. Tracking process of an object [11]

The motion model used here is the Coordinated Turn Model. The state vector \mathbf{x}_{CTM} and the kinematic function f_{CTM} are as follows, with *T* the sampling time:

$$\mathbf{x}_{CTM} = \begin{bmatrix} x & y & v_x & v_y & \omega \end{bmatrix}^T$$
(1)
$$f_{CTM} = \begin{bmatrix} x + \frac{v_x}{\omega} \sin(\omega T) - \frac{v_y}{\omega} (1 - \cos(\omega T)) \\ y + \frac{v_x}{\omega} (1 - \cos(\omega T) + \frac{v_y}{\omega} \sin(\omega T)) \\ v_x \cos(\omega T) - v_y \sin(\omega T) \\ v_x \sin(\omega T) + v_y \cos(\omega T) \\ \omega \end{bmatrix}$$
(2)

The measurement vector and matrixes are as follows:

$$z_{CTM} = \begin{bmatrix} x_{corner} & y_{conrner} \end{bmatrix}^{T}$$
$$H_{CTM} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
(3)

The shape of the target vehicle is tracked using a Kalman Filter and a state vector composed of line lengths (L_1, L_2) , the orientation of L_1 (θ) and the turn rate (ω). Those states are contained in vector \mathbf{x}_s :

$$\mathbf{x}_{s} = \begin{bmatrix} L_{1} & L_{2} & \theta & \omega \end{bmatrix}^{T}$$
(4)

For estimating the vehicle's shape, a static model is applied to the line lengths (L_1, L_2) based on the assumption that the vehicle size does not change over time. For estimating the L-shape's yaw, and since the yaw rate does not change particularly fast, a constant turn rate model is chosen. The two above models are combined in a single process matrix:

$$\boldsymbol{A}_{s} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
(5)

where *T* the sampling time and A_s is the process matrix containing the static model for the line lengths and the constant turn rate model for the orientation and the yaw rate.

Among the states of the shape model, only the yaw rate is not contained in the L-shape and therefore the measurement vector and model are the following:

$$\boldsymbol{z}_{s} = \begin{bmatrix} L_{1} & L_{2} & \boldsymbol{\theta} \end{bmatrix}^{T} \\ \boldsymbol{H}_{s} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$
(6)

The center position and velocity of the object are calculated in [11].

$$x_{center} = x_{corner} + (L_1 \cdot \cos(\theta) + L_2 \cdot \sin(\theta)) / 2$$

$$y_{center} = y_{corner} + (L_1 \cdot \cos(\theta) + L_2 \cdot \sin(\theta)) / 2$$
(7)

$$v_{x,center} = v_{x,corner} - r\omega.\cos(\operatorname{atan}\frac{(L_1\sin(\theta) - L_2\cos(\theta))/2}{(L_1\cos(\theta) + L_2\sin(\theta))/2} - \pi/2)$$

$$v_{y,center} = v_{y,corner} - r\omega.\sin(\operatorname{atan}\frac{(L_1\sin(\theta) - L_2\cos(\theta))/2}{(L_1\cos(\theta) + L_2\sin(\theta))/2} - \pi/2)$$
(8)

The object is thus detected, the size is estimated and it is tracked through the different LiDAR measurements.

2.3. Prediction of moving object

In the scope of this paper, we only consider objects moving along straight trajectories. To predict the path of an object with a straight trajectory we use linear regression method [13]. With this method, an equation of a line is calculated with the use of the available points with x and y-coordinates. The equation can then be used together with the estimated velocities to predict future positions of the obstacle. The equation is calculated as follows:

$$y = \alpha + \beta x \tag{9}$$

With α and β , estimators that minimizes the sum of squared residuals. they are calculated as follows:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})(y_i - \overline{y})}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})^2}$$
(10)
$$\alpha = \overline{y} - (\beta \overline{x})$$

Where \overline{x} and \overline{y} are means of the x and y-coordinates, respectively.

With the equation of the line, future positions can be calculated. The distance at which these points should lie can be found with the velocity that is calculated through the difference in positions between different measurements.

2.4. Obstacles avoidance algorithm

Utilizing the motion obstacle avoidance information acquired from blocks "*Object detection and tracking*" and "*Object trajectory prediction*" combined with the USV position data received from block "*Localization*" we can transform the problem of avoiding moving obstacles into avoiding static obstacles by modifying the local cost map based on the predicted motion of the obstacle. Hence, this issue can be addressed by using the D* Lite algorithm [6].

 D^* Lite is a popular pathfinding algorithm used in robotics and artificial intelligence for path planning in dynamic environments. It is an improvement over the original D^* (Dynamic A*) algorithm and is designed to efficiently update paths when there are changes in the environment or the robot's knowledge of the environment.

We assume that $c(s, s^{\cdot})$ denotes the cost from node *s* to node *s*^{\cdot}, *s*_{start} is the start node, and *s*_{goal} is the goal node. D* Lite represents the cost from a node to the goal node *s*_{goal} with two estimated values, g(s) and rhs(s). The g(s) denotes the estimated minimum cost from the goal node to the current node *s*. When expanding to the adjacent nodes of the current node *s*, the rhs(s) of each adjacent node is recalculated to ensure that it is always the minimal estimated value.

The main steps of the path planning and procedure are as follows [14]:

1. Plan the path using D* Lite

2. Start to move from the start node s_{start} to the goal node s_{goal} .
3. Set the current node as s and calculate the *rhs* value of its all the successor nodes. Let node s represent the node with the smallest *rhs* value of the successor nodes.

- 4. Set a line *L* from node *s* to the goal node s_{goal} .
- 5. If there is no obstacle along line L,
 - (a) Let D be the length of L.
 - (b) If $D \ge rhs(s') + c(s, s')$, move to node s'; go to step (3).
- 6. Otherwise, if there is an obstacle along line L,
 - (a) Move to node s'.
 - (b) Go to step (3).
- 2.5. Experiments
- 2.5.1. Otter USV model



Figure 4. Otter USV model in simulator environment (a) and real environment (b)

The simulator used as a basis in this paper is the Otter USV simulator and it is run in ROS Noetic [15] and Gazebo 11[16]. The Otter USV is a simulator developed by Lenes [17] and is based on the Virtual RobotX from Bingham et al. [18]. The Otter USV is a lightweight drone made by Maritime Robotics and is meant for seabed mapping and the monitoring of sheltered waters [19]. The USV in the simulator is one with two fixed thrusters that are operated using a skid-steer drive just like the discussed simulators above. The USV is equipped with a LiDAR, IMU, compass and GNSS receiver to locate itself in the world and to detect its surroundings.

Parameters	Unit	Value
Length	m	2,0
Width	m	1,08
Height	m	1,065
Weight	kg	62
Maximum linear velocity	m/s	1.5
Maximum turn velocity	m/s	0.6

Table 1. USV's parameters used in ROS Gazebo simulator

Maximum range of LIDAR	m	50

2.5.2. Simulation Environment

To swiftly assess the efficacy of the navigation system, we designed a simulated world like a lake or the sea. There is a possibility to enable waves that then interact with the USV. Furthermore, wind can be enabled such that the USV drifts from its path. The dynamic obstacles that need to be avoided, can move throughts the dynamic model plugin from mrs gazebo [20]. In this way the objects can move along predefined trajectories. These trajectories are written in a txt file as a list of "x y z roll pitch yaw velocity". The object will then move over these points with the defined roll, pitch and yaw and at the defined velocity. The dynamic ability can be added to each object in Gazebo.



Figure 5. Gazebo_based simulation environment

3. Results and Discussion

3.1 Avoidance with a head-on obstacle

The first scenario is one in which the USV navigates from x = 0, y = 0 towards x = 50, y = 5. While the vessel travels towards the waypoint, it encounters an obstacle that is travelling along a trajectory of x = 50, y = 0 towards x = 0, y = 0, hence in the opposite direction of the USV. This obstacle moves with a velocity of 1 m/s, which is two thirds of the maximal velocity of the USV. The avoidance is shown in Figure 6.



Figure 6. USV avoid a head-on obstacle

1674

3.2. Avoidance with an overtaking obstacle

3.3 Avoidance with a sideways obstacle

The second scenario is also with a head-on obstacle, but the obstacle travels in the same direction as the USV. The obstacle moves at a velocity of 0.5 m/s, which is three times slower than the maximum velocity of the USV. The USV will thus overtake the obstacle. Just as in the previous scenario, the USV sails from x = 0, y = 0 to x = 50, y = 5, while the obstacle moves in a straight line from x = 5, y = 0 to x = 50, y = 0. The obstacle avoidance of the USV is shown in Figure 7.



Figure 7. USV avoid an overtaking obstacle



Figure 8. USV avoid a sideways obstacle

Here, the USV navigates from x = 0, y = 0 to x = 50, y = 5. While the USV navigates towards the waypoint a dynamic obstacle with a velocity of 1 m/s that follows a straight trajectory from x = 20, y = -10 to x = 20, y = 10 is encountered. This trajectory is perpendicular to the path that the USV has planned. Therefore, the vessel must avoid an obstacle coming from its side. The avoidance of a sideways obstacle coming from the right, as seen by the USV is shown in Figure 8.

As demonstrated in the three scenarios, the USV can effectively navigate by avoiding head-on obstacles, overtaking them, and sidestepping obstacles. Nevertheless, it is essential to consider the limitations imposed on the USV, including a maximum velocity of 1.5 m/s in a straight line and 0.6 m/s during turning, along with a LiDAR range restricted to 50 m. These constraints directly impact the USV's ability to navigate around obstacles. If obstacles approach the USV too rapidly, it may be unable to evade them due to two main reasons. Firstly, the LiDAR may not detect the obstacles in time, and secondly, the USV may not be able to react swiftly enough to maneuver away. For instance, a head-on obstacle moving at 5 m/s could collide with the static USV just five seconds after the LiDAR first detects it. If the USV is moving towards the obstacle, this collision time is further reduced. Consequently, there is insufficient time to detect, track, predict, and avoid obstacles at high velocities. This is why the three primary scenarios encountered at sea were assessed using obstacles that consistently had lower velocities than the USV.

4. Conclusion

In this paper, the navigation system for USV, integrating the modified D* Lite path planning and 2D LiDAR-based obstacle detection and tracking to provide more information for obstacles avoidance algorithm, has been successfully implemented and evaluated in a simulated dynamic environment. The system demonstrated effective avoidance capabilities for low-velocity obstacles, maintaining a safe distance while navigating towards waypoints. Additionally, the system showcased its ability to navigate around dynamic objects, specifically in scenarios representing common vessel-to-vessel interactions at sea. The successful outcomes of these tests indicate the potential of the proposed approach for autonomous navigation in real-world scenarios. Future work may involve further refinement of the system and testing in more complex and diverse environments to enhance its robustness and applicability. Overall, the presented navigation system represents a promising advancement in autonomous robotic systems, particularly for applications in dynamic and socially aware environments.

References

- Mousazadeh, H., Jafarbiglu, H., Abdolmaleki, H., Omrani, E., Monhaseri, F., Abdollahzadeh, M. R., ... & Makhsoos, A. (2018). Developing a navigation, guidance and obstacle avoidance algorithm for an Unmanned Surface Vehicle (USV) by algorithms fusion. *Ocean Engineering*, 159, 56-65.
- 2. Wang, J., Wang, R., Lu, D., Zhou, H., & Tao, T. (2022). USV dynamic accurate obstacle avoidance based on improved velocity obstacle method. *Electronics*, *11*(17), 2720.
- 3. Jha, B., Chen, Z., & Shima, T. (2020). On shortest Dubins path via a circular boundary. *Automatica*, *121*, 109192.
- 4. Choi, Y., Kim, D., Hwang, S., Kim, H., Kim, N., & Han, C. (2017). Dual-arm robot motion planning for collision avoidance using B-spline curve. *International journal of precision engineering and manufacturing*, *18*, 835-843.
- 5. Shanmugavel, M., Tsourdos, A., White, B., & Żbikowski, R. (2010). Co-operative path planning of multiple UAVs using Dubins paths with clothoid arcs. *Control engineering practice*, *18*(9), 1084-1092.
- Koenig, S., & Likhachev, M. (2002, July). D* lite. In *Eighteenth national conference on Artificial intelligence* (pp. 476-483).
- 7. Wang, X., Liu, J., Peng, H., Qie, X., Zhao, X., & Lu, C. (2022). A simultaneous planning and control method integrating APF and MPC to solve autonomous navigation for USVs in unknown environments. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, *105*(2), 36.

- Velagic, J., Lacevic, B., & Peruničić-Draženović, B. (2006). A 3-level autonomous mobile robot navigation system designed by using reasoning/search approaches. *Robotics and Autonomous Systems*, 54, 989-1004.
- Van Dinh, N., Viet, N. H., Nguyen, L. A., Dinh, H. T., Hiep, N. T., Dung, P. T., ... & Truong, X. T. (2017, July). An extended navigation framework for autonomous mobile robot in dynamic environments using reinforcement learning algorithm. In 2017 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE) (pp. 336-339). IEEE.
- 10. Borges, G. A., & Aldon, M. J. (2004). Line extraction in 2D range images for mobile robotics. *Journal of intelligent and Robotic Systems*, 40, 267-297.
- 11. Konstantinidis, K., Alirezaie, M., Grammatico, S. (2020). Development of a Detection and Tracking of Moving Vehicles system for 2D LIDAR sensors.
- 12. Kim, D., Jo, K., Lee, M., & Sunwoo, M. (2017). L-shape model switching-based precise motion tracking of moving vehicles using laser scanners. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(2), 598-612.
- 13. Swaminathan, S. (2018). Linear Regression Detailed View. Towards Data Science.
- 14. Zhu, X., Yan, B., & Yue, Y. (2021). Path Planning and Collision Avoidance in Unknown Environments for USVs Based on an Improved D* Lite. *Applied Sciences*, *11*, 7863.
- Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., ... & Ng, A. Y. (2009, May). ROS: an open-source Robot Operating System. In *ICRA workshop on open source software* (Vol. 3, No. 3.2, p. 5).
- Koenig, N., & Howard, A. (2004, September). Design and use paradigms for gazebo, an opensource multi-robot simulator. In 2004 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS)(IEEE Cat. No. 04CH37566) (Vol. 3, pp. 2149-2154). IEEE.
- 17. Jan Henrik Lenes (2022). usv_simulator. https://github.com/jhlenes/usv_simulator.
- Bingham, B., Agüero, C., McCarrin, M., Klamo, J., Malia, J., Allen, K., ... & Waqar, R. (2019, October). Toward maritime robotic simulation in gazebo. In OCEANS 2019 MTS/IEEE SEATTLE (pp. 1-10). IEEE.
- 19. Maritime Robotics. Otter USV. https://www.maritimerobotics.com/otter.
- 20. ROS Contributors (2023), MRS resources for Gazebo. https://github.com/ctu-mrs/mrs_gazebo_ common_resources.

Xây dựng khung chương trình điều hướng cho xuồng tự hành (USV) trong môi trường động và chưa xác định.

Tóm tắt: Bài báo đề xuất một khung chương trình mở rộng để thu thập thông tin chi tiết của các đối tượng chuyển động nhằm phát triển thuật toán tránh vật cản trong hệ thống điều hướng cho phép xuồng tự hành hoạt động một cách an toàn trong môi trường động và chưa xác định trong quá trình di chuyển tới đích. Hệ thống dẫn đường được trình bày trong bài báo tập trung vào việc sử dụng thuật toán D* Lite để lập kế hoạch đường đi kết hợp với thuật toán đường cong Dubins để làm cho quá trình điều hướng trở nên mượt hơn đồng thời tích hợp thông tin của các đối tượng chuyển động. Để xác định vị trí hướng và vận tốc của các vật cản động, bài báo sử dụng thuật toán phát hiện và theo dõi các đối tượng chuyển động (DATMO) phù hợp với USV được trang bị cảm biến Lidar 2D. Kết quả bài báo được thử nghiệm qua một số tình huống trên môi trường mô phỏng Gazebo cho thấy USV có khả năng tránh vật cản động trong môi trường chưa biết trước.

Từ khóa: USV, môi trường chưa biết trước, vật cản động, Dubins, D* Lite, DATMO, tránh vật cản.

Nghiên cứu thuật toán thích nghi điều khiến điện áp máy phát điện tàu thủy

Lê Xuân Quỳnh¹, Hà Mạnh Thắng¹, Đinh Đăng Trương²

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự ²Học viện Hải quân *Email: quynh93mta@gmail.com; Tel:0981393553

Tóm tắt

Bộ tự động điều chỉnh điện áp trạm phát điện tàu thủy là hệ thống vô cùng quan trọng để tự động duy trì ổn định giá trị điện áp định mức hoặc sai số trong giới hạn cho phép khi thay đổi tải hay do các nhiễu loạn khác gây ra. Hệ thống điều khiển này được rất nhiều các nhà khoa học trong nước và trên thế giới quan tâm nghiên cứu các phương pháp khác nhau nhằm nâng cao chất lượng của trạm phát điện tàu thủy. Trên thực tế hiện nay các bộ tự động điều chỉnh điện áp của trạm phát điện trên tàu thủy cơ bản sử dụng thuật toán điều khiển PID. Tuy nhiên, thuật toán điều khiển PID có nhiều nhược điểm như thời gian quá độ dài, độ quá chỉnh lớn, khả năng đáp ứng kém thậm chí khi thay đổi tải lớn bị mất điều khiển...Trong bài báo này trình bày nghiên cứu thuật toán thích nghi điều khiển điện áp máy phát điện tàu thủy để khắc phục những hạn chế của bộ điều khiển PID đang sử dụng hiện nay, nâng cao chất lượng của hệ thống điện trên tàu. Thuật toán điều khiển mán số của mô hình đối tượng. Kết quả nghiên cứu được kiểm chứng và đánh giá trên cơ sở phần mềm mô phỏng Matlab&Simulink.

Từ khóa: Điều khiển thích nghi, điều chỉnh điện áp, máy phát điện, tàu thủy, thuật toán.

1. Đặt vấn đề

Máy phát điện đóng vai trò đặc biệt quan trọng trọng trong hoạt động của con tàu. Bộ tự động điều chỉnh điện áp AVR (Automatic – Voltage - Regulator) là bộ tự động điều chỉnh kích từ, nó nhận tín hiệu đầu vào là điện áp 3-pha tại đầu cực máy phát sử dụng nguyên lý điều chỉnh theo độ lệch, nó cũng có chức năng điều chỉnh hệ số công suất và dòng điện kích từ. Bộ điều khiển vi tích phân tỉ lê (PID - Proportional Integral Derivative) là một cơ chế phản hồi vòng điều khiển được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển, bộ PID được sử dung phổ biến nhất trong số các bô điều khiển phản hồi bằng cách điều chỉnh giá tri điều khiển đầu vào bô điều khiển sẽ giảm tối đa sai số. Tuy nhiên, nhược điểm của bô điều khiển PID đó là nó chỉ có thể điều khiển tuyến tính. Vì thế trong mỗi mô hình điều khiển khác nhau sẽ có những thông số điều khiển khác nhau. Mặc dù kiểu điều khiển là như nhau. Với các mô hình điều khiển phi tuyến nó sẽ cho ra rất nhiều kết quả khác nhau, và độ chính xác của nó không cao. P.I.D có khâu vi phân khá nhạy với tần số cao. Vì thế nó rất dễ nhiễu ở các môi trường có tần số lớn. Trong trường hợp này buộc phải thiết kế bộ lọc thông thấp để giảm bớt tín hiệu nhiễu cho hệ thống. Bộ điều khiển không thể thích nghi với những sự thay đổi nhỏ. Khi thêm bất kì một biến số nào chúng ta buộc phải cài đặt lại các thông số của nó. Hoặc với chỉ một biến số nhỏ cũng làm cho điều khiển PID chay sai lệch.

Một phương pháp thiết kế hệ thống tự động điều chỉnh điện áp được đề xuất là thiết kế thuật toán điều khiển thích nghi điều chỉnh điện áp máy phát điện trên cơ sở điều khiển thích

nghi gián tiếp kết hợp mô hình mẫu (MRAS- Model Reference Adaptive System). Với thiết kế như vậy, hệ thống sẽ giám sát sai lệch giữa giá trị đầu ra của đối tượng và đầu ra của mô hình mẫu đồng thời các tham số của bộ điều khiển được cập nhật liên tục thông qua khâu ước lượng tham số mô hình [6,7].

2. Xây dựng mô hình toán máy phát đồng bộ

Để giải quyết bài toán điều khiển máy phát đồng bộ chúng ta cần phải xây dựng mô hình toán học của nó. Điện trở của đường dây và máy biến áp có thể được quy đổi về điện trở stato của máy phát, sau đó nghiên cứu quá trình quá độ xảy ra trong máy phát khi kết nối thanh cái của bảng điện với điện áp không đổi.

Khi xây dựng hệ phương trình vi phân mô tả máy phát đồng bộ, giả thiết rằng tất cả các từ thông xuyên qua cuộn dây của máy phát đều nhau, gồm hai thành phần độc lập: dọc trục và ngang trục. Trong trường hợp này, suất điện động, điện áp và dòng điện cũng được chia thành 2 hai thành phần. Các phương trình được đề xuất bởi R.H. Park (30s, America) và A.A. Gorev (Liên Xô) đối với máy phát điện lý tưởng: mạch từ không bão hòa, các cuộn dây stator đối xứng hoàn toàn và sự phân bố lực từ trong khe hở hình sin. Các giả thiết trên cho phép chúng ta coi máy phát điện là một tổ hợp của các mạch điện (cuộn dây rotor, cuộn dây stator, cuộn dây chống rung).

Cuộn dây kích từ của máy phát đồng bộ có số vòng dây $0...n_d$ ngắn mạch tương đương xác định trên trục (d) và số vòng dây $0...n_q$ ngắn mạch tương đương xác định trên trục (q), phương trình của Park–Gorev có thể được viết dưới dạng sau[1,2]:

$$\frac{d\Psi_d}{dt} + \omega \Psi_q + ri_d = -U_d, \qquad (1)$$

$$\omega \Psi_d - \frac{d\Psi_d}{dt} - ri_q = U_q, \qquad (2)$$

$$\frac{d\Psi_r}{dt} + r_r i_r = U_{fd}, \qquad (3)$$

$$\frac{d\Psi_{rdi}}{dt} + r_{rdi}\dot{i}_{rdi} = 0, \quad i = 0 \div n_d , \qquad (4)$$

$$\frac{d\Psi_{rqk}}{dt} + r_{rqk}\dot{i}_{rqk} = 0, \quad k = 0 \div n_q, \tag{5}$$

$$\Psi_{d} = L_{d}i_{d} + M_{ad}i_{r} + M_{ad}\sum_{i=1}^{n_{d}}i_{rdi}, \qquad (6)$$

$$\Psi_{q} = L_{q}i_{q} + M_{aq}\sum_{k=1}^{n_{q}} i_{rdk} , \qquad (7)$$

$$\Psi_{r} = L_{r}i_{r} + \frac{3}{2}M_{ad}i_{d} + M_{ad}\sum_{i=1}^{n_{d}}i_{rdi}, \qquad (8)$$

$$\Psi_{rdi} = \frac{3}{2} M_{ad} i_d + L_{rdi} i_{rdi} + M_{ad} i_r + M_{ad} \sum_{j=1}^{n_d} i_{rdj}, \ i = 0 \div n_d, \ j \neq i,$$
(9)

$$\Psi_{rqk} = \frac{3}{2} M_{aq} i_q + L_{rqk} i_{rqk} + M_{aq} \sum_{j=1}^{n_q} i_{rqk}, \ k = 0 \div n_q, \ j \neq k,$$
(10)

$$J\frac{d\Omega}{dt} = M_M - \frac{3}{2}(\Psi_d i_q - \Psi_q i_d), \qquad (11)$$

Trong đó Ψ_d , Ψ_q – là từ thông dọc trục và ngang trục; i_d , i_q – dòng điện stator dọc trục và ngang trục; i_r – dòng điện kích từ; r, r_r , r_{rdi} , r_{rqk} - điện trở cuộn dây stator và cuộn kích từ kích từ i- dọc trục và k – vòng chống rung; L_d , L_q Độ tự cảm cuộn dây stator dọc trục và ngang trục; L_r , L_{rdi} , L_{rqk} - điện cảm cuộn kích từ i- dọc trục và k- vòng chống rung trục; M_{ad} , M_{aq} hỗ cảm của cặp vòng bất kì trên trục d,q; U_{fd} - điện áp kích từ; $\Omega = \frac{\omega}{p}$ - Tốc độ góc rotor; p - số đôi cực của máy phát; $M_M(t)$ - Momen trên trục của động cơ lai.

Số lượng phương trình ở (4) và (9) được xác định bằng số mạch tương đương của vòng chống rung trên trục d của máy phát, còn số phương trình (5) và (10) - bằng số mạch tương đương của vòng chống rung trên trục q của máy phát. Nếu n_d và (hoặc) n_q bằng 0 thì các phương trình và tổng các dòng điện của mạch vòng chống rung sẽ bị loại khỏi hệ phương trình.

Có thể tuyến tính hóa hoặc biến đổi hệ phương trình Park–Gorev (1–11) thành hệ phương trình đơn giản mô tả máy phát điện đồng bộ. Để đơn giản và tuyến tính hóa hệ phương trình chúng ta cần đưa ra một số giả thuyết:

- Không tính đến những yếu tố vòng chống rung;

- Không tính đến điện trở trong của cuộn dây stator;

- Bỏ qua thành phần $\dot{\psi}_d$, $\dot{\psi}_q$ (suất điện động của máy biến áp) trong phương trình suất điện động của máy phát và điện áp trên thanh cái so với các thành phần $\omega \psi_q$, $\omega \psi_d$ (suất điện động của phần quay).

Với các giả thuyết nêu trên, chúng ta có thể viết hệ phương trình đơn giản của máy phát đồng bộ ở dạng:

$$\Delta \dot{E}_{q}(t) = -\frac{1}{k_{3}\tau_{d}} \Delta E_{q}(t) - \frac{k_{4}}{\tau_{d}} \Delta \delta(t) + \frac{1}{\tau_{d}} \Delta E_{fd}(t),$$

$$\Delta \dot{\omega}(t) = -\frac{k_{2}}{T_{j}} \Delta E_{q}(t) - \frac{k_{1}}{T_{j}} \Delta \delta(t) + \frac{1}{T_{j}} \Delta M_{M}(t),$$

$$\Delta \dot{\delta}(t) = \Delta \omega(t),$$

$$\Delta \dot{\delta}(t) = \Delta \omega(t),$$

$$\Delta U(t) = k_{5} \Delta \delta(t) + k_{6} \Delta E_{q}(t).$$
(12)

Trong đó $\Delta U(t)$, $\Delta \delta(t)$, $\Delta E_q(t)$, $\Delta \omega(t)$ – tương ứng, sai lệch điện áp, sai số góc rotor, suất điện động E_q , tần số góc từ các giá trị tương ứng của mô hình chỉnh định với các tham số định mức, $\Delta M_M(t)$ – độ sai lệch moomen trên trục cơ của động cơ lai và $\Delta E_{fd}(t)$ – sai lệch suất điện động của bộ kích từ; k_1 – hệ số đặc trưng cho sự thay đổi công suất điện khi góc rôto thay đổi trong điều kiện liên kết từ thông không đổi theo trục dọc nghĩa là mô men đồng bộ; k_2 – hệ số đặc trưng cho sự thay đổi công suất điện khi liên kết từ thông thay đổi trong điều kiện góc rôto không đổi; k_3 – hệ số đặc trưng cho ảnh hưởng của điện trở bên ngoài và do đó không phụ thuộc vào tải của máy phát; k_4 – hệ số đặc trưng cho hoạt động khử từ khi góc rôto thay đổi trong điều kiện suất điện động không đổi; k_6 – hệ số đặc trưng cho điện áp trên thanh cái máy phát khi suất điện động thay đổi trong điều kiện sai số góc rotor không đổi, hằng số thời gian dọc trục khi cuộn dây stator hở mạch – không tải, T_i – hằng số quán tính của rotor.

Từ hệ phương trình (12), sau khi biến đổi chúng ta nhận được hệ phương trình tương đương của máy phát:

$$\Delta \dot{U}(t) = -\frac{1}{k_3 \tau_d} \Delta U(t) + k_5 \Delta \omega(t) + \left(\frac{k_5}{k_3 \tau_d} - \frac{k_6 k_4}{\tau_d}\right) \Delta \delta(t) + \frac{k_6}{\tau_d} \Delta E_{fd}(t),$$

$$\Delta \dot{\omega} = -\frac{k_2}{k_6 T_j} \Delta U(t) + \left(\frac{k_2 k_5}{k_6 T_j} - \frac{k_1}{T_j}\right) \Delta \delta(t) + \frac{1}{T_j} \Delta M_M(t),$$
(13)

$$\Delta \dot{\delta}(t) = \Delta \omega(t).$$

Một trong những nhiệm vụ chính của hệ thống điều chỉnh kích từ là ổn định chế độ làm việc của máy phát. Mô hình để nghiên cứu hoạt động của máy phát điện trong hệ thống được mô tả bởi phương trình Park-Gorev đối với sơ đồ "máy phát-đường truyềnthanh cái" với điều kiện các tham số tương đương của máy phát liên kết với hệ thống qua điện trở ngoài có tính đến điện trở trong của stator và đường truyền, suất điện động của máy biến áp và vành trượt.

Sự xuất hiện của vòng chống rung trên rôto của máy phát điện đồng bộ có thể được tính gần đúng trong phương trình rôto, số hạng tỷ lệ với đạo hàm bậc nhất của góc pha.

Khi tính đến các quá trình quá độ và điện trở trong stator sẽ xuất hiện dao động điều hòa với tần số gần bằng tần số mạng điện. Về mặt vật lý, điều này được giải thích là do ảnh hưởng của dòng điện quá độ trong cuộn dây stato. Những dòng điện này tạo ra mô men điện từ xoay chiều của tần số chính. Dao động này luôn bị tắt dần khi có điện trở hữu hạn, vì dòng điện quá độ không tuần hoàn trong cuộn dây stato sẽ giảm dần về 0. Do đó, giả thuyết không tồn tại các quá trình quá độ và điện trở trong của stato không ảnh hưởng đến việc đánh giá độ ổn định của máy phát đồng bộ và chất lượng chống rung của các dao động cơ điện. Khi xem xét các giả thuyết ở trên, hệ phương trình mô tả quá trình truyền tải điện sẽ có dạng:

1680

$$\begin{aligned} X_{d\Sigma} i_d + E_q &= U_c \cos \delta ,\\ (1 + p\tau_d) E_q + p\tau_d (X_d - X'_d) i_d &= U_{fd} ,\\ T_j ps + Dp\delta + P &= M_M ,\\ p\delta &= \omega_0 s , p &= d / dt ,\\ P_e &= \frac{E_q U_c}{X_{d\Sigma}} \sin \delta + \frac{U_c^2 (X_d - X_q)}{2X_{d\Sigma} X_{d\Sigma}} \sin 2\delta , \end{aligned}$$
(14)

Trong đó $X_{d\Sigma}$, $X_{q\Sigma}$ tổng điện kháng dọc trục và ngang trục nghĩa là, $X_{d\Sigma} = X_d + X_{sn}$, $X_{q\Sigma} = X_q + X_{sn}$; δ_z , δ_{BH} , δ – góc công suất bên trong, ngoài và công suất tổng rad; U_{Γ} , U_C ; X_{sn} – điện kháng ngoài; X_d – điện kháng dọc trục; X'_d – điện kháng quá độ dọc trục; U_{fd} – điện áp kích từ; D – mô men chống rung; S – độ trượt rotor; ω_0 – tần số góc đồng bộ; P –công suất tác dụng của máy phát tương đương; phần còn lại giống trong biểu thức (12).

Để phân tích hoạt động của máy phát đồng bộ trong các trường hợp nhiễu ở trạng thái mới và trạng thái ban đầu, các phương trình máy phát đồng bộ được tuyến tính hóa xung quanh điểm cân bằng của trạng thái ổn định. Như vậy, hệ phương trình mô tả hệ thống năng lượng trở thành hệ phương trình tuyến tính bậc nhất. Dựa vào hệ phương trình (14), ta nhận được hệ phương trình tuyến tính hóa :

$$\begin{aligned} X_{q\Sigma}\Delta i_{q} &= U_{c}\cos\delta_{0}\Delta\delta\\ \Delta E_{q} + X_{d\Sigma}\Delta i_{d} &= -U_{c}\sin\delta_{0}\Delta\delta\\ p\tau_{d}(X_{d} - X'_{d})\Delta i_{d} + (1 + p\tau_{d})\Delta E_{q} &= \Delta U_{fd} \end{aligned} \tag{15} \\ H_{j}p^{2}\Delta\delta + Dp\Delta\delta + \frac{\partial P}{\partial E_{q}}\Delta E_{q} + \frac{\partial P}{\partial\delta}\Delta\delta &= 0\\ H_{j} &= T_{j}/\omega_{0} \end{aligned}$$

Tiếp theo, chúng ta rút gọn hệ (15) thành hai phương trình:

$$\Delta \delta = -\frac{U_c \sin \delta_0}{H_j X_{d\Sigma} p^2 + D X_{d\Sigma} p + E_q U_c \cos \delta_0} \Delta E_q,$$
$$\Delta E_q = \frac{\Delta U_{fd} + p \mu \tau_d U_c \sin \delta_0 \Delta \delta}{1 + p \tau_d}$$

Trong đó ; $\mu = (X_d - X'_d) / X'_{d\Sigma} - hệ số ghép từ của mạch stato với mạch kích từ;$ $<math>\tau'_d = \tau_d \frac{X'_d + X_{_{\theta H}}}{X_d + X_{_{\theta H}}} = \tau_d \frac{X'_{d\Sigma}}{X_{d\Sigma}} - hằng số thời gian quá độ.$

Do đó đối tượng điều khiển có thể được biểu diễn dưới dạng sơ đồ khối (Hình 1). Trong sơ đồ này, $W_f = \frac{1}{1 + p\tau_d}$ - Hàm số truyền mạch kích từ , $W_g = p\mu U_c \tau_d \sin \delta_0$ - Hàm số truyền thể hiện liên

kết phần ứng và liên kết dao động bậc hai, $W_{POT} = -\frac{U_c \sin \delta_0}{H_j X_{d\Sigma} p^2 + D X_{d\Sigma} p + E_q U_c \cos \delta_0}$ - Hàm số truyền thể hiện chuyển động của rotor máy phát.



Hình 1. Sơ đồ máy phát điện vận hành trong hệ thống điện

Máy phát điện trong hệ thống điện cũng có thể được mô tả bằng hệ phương trình vi phân bậc 7 có dạng:

$$\begin{split} \dot{\delta} &= \omega, T_{j} \dot{\omega} = -D\omega + M_{M} - \frac{1}{\left(X_{l} + X_{d}^{'}\right)} \Big[E_{q} \sin \delta + E_{d} \cos \delta \Big], \\ \dot{E}_{d} &= -\frac{1}{\tau_{q}} \left(I + \frac{X_{d} - X_{d}^{'}}{X_{l} + X_{d}^{'}} \right) E_{d} + \frac{1}{\tau_{q}} \left(\frac{X_{d} - X_{d}^{'}}{X_{l} + X_{d}^{'}} \right) \sin \delta, \\ \dot{E}_{q} &= -\frac{1}{\tau_{d}} \left(I + \frac{X_{d} - X_{d}^{'}}{X_{l} + X_{d}^{'}} \right) E_{q} + \frac{1}{\tau_{d}} E_{fd} + \frac{1}{\tau_{d}} \left(\frac{X_{d} - X_{d}^{'}}{X_{l} + X_{d}^{'}} \right) \cos \delta, \\ \dot{E}_{fd} &= -\frac{k_{e}}{\tau_{e}} (E_{fd} - \frac{1}{k_{e}} U_{R}), \quad (\tau_{fd} = \frac{\tau_{e}}{k_{e}}), \\ \dot{U}_{D} &= -\frac{1}{\tau_{f}} (U_{D} + \frac{k_{f}}{\tau_{e}} (k_{e} E_{fd} - U_{R})), \\ \dot{U}_{R} &= -\frac{1}{\tau_{a}} U_{R} + \frac{k_{a}}{\tau_{a}} (U_{0} - U_{D} - U_{l})), \end{split}$$

Trong đó
$$U_t = \left[\left(a \cos \delta + (1 - \alpha) E_q \right)^2 + \left(a \sin \delta + (1 - \alpha) E_d \right)^2 \right]^{1/2}, \ \alpha = \frac{X'_d}{X_l + X'_d},$$

 U_t – tín hiệu phản hồi điện áp; U_0 – điện áp đặt, δ , ω , E_{fd} – sai số góc rotor, vận tốc góc, Sức điện động; D, M_M – hệ số giảm chấn, mômen cơ; X_l – điện trở đường truyền; k_a , k_e , k_f – độ lợi của bộ điều khiển, mạch kích từ và mạch ổn định của bộ điều khiển và τ_a , τ_e , τ_f các hằng số thời gian tương ứng; τ_q – hằng số thời gian dọc theo trục ngang;

 U_R , U_D – điện áp điều chỉnh và phản hồi đạo hàm đầu tiên; các ký hiệu còn lại tương tự như trong các phương trình (12), (14).

Trong phương trình thứ (2), (6) và (7) của hệ phương trình (16) có các hằng số thời gian nhỏ τ_q , τ_f , τ_a - phản ánh động lực học nhanh của máy phát. Do đó, khi xét động học chậm, chúng ta có thể giả sử rằng chúng bằng 0, khi đó chúng ta thu được hệ phương trình bậc 4 đơn giản có dạng:

$$\dot{\delta} = \omega, \dot{\omega} = -\frac{D\omega}{T_{j}} + \frac{2M_{M}}{T_{j}} + \frac{\beta}{T_{j}(X_{l} + X_{d}^{'})} \sin\delta - \frac{2}{T_{j}(X_{l} + X_{d}^{'})} E_{q} \sin\frac{\delta}{2},$$

$$\dot{E}_{q} = -\frac{1}{\tau_{d}} \left(1 + \frac{X_{d} - X_{d}^{'}}{X_{l} + X_{d}^{'}} \right) E_{q} + \frac{1}{\tau_{d}} E_{fd} + \frac{1}{\tau_{d}} \left(\frac{X_{d} - X_{d}^{'}}{X_{l} + X_{d}^{'}} \right) \cos\frac{\delta}{2},$$

$$\dot{E}_{fd} = \frac{1}{\tau_{fd}} \left(-1 + \frac{k_{a}k_{f}}{\tau_{e} + k_{a}k_{f}} \right) E_{fd} + \frac{k_{a}}{\tau_{e} + k_{a}k_{f}} U_{0} - \frac{k_{a}}{\tau_{e} + k_{a}k_{f}} U_{t},$$

$$frong \ do \ U_{t} = \left[\left(\alpha \cos\delta + (1 - \alpha)E_{q}^{'} \right)^{2} + \left(\alpha + (1 - \alpha)\beta \right)^{2} \sin^{2}\delta \right]^{1/2},$$

$$\alpha = \frac{X_{d}^{'}}{X_{l} + X_{d}^{'}}, \ \beta = \frac{X_{d} - X_{d}^{'}}{X_{l} + X_{d}^{'}}.$$
(17)

3. Thiết kế bộ điều khiển thích nghi máy phát điện sử dụng thuật toán thích nghi tín hiệu không quán tính

Thông thường, việc xây dựng hệ thống điều khiển thích nghi dựa trên hai cách tiếp cận chính: điều khiển thích nghi theo sơ đồ với mô hình tham chiếu và theo sơ đồ với mô hình có thể tùy chỉnh. Đối với một đối tượng kỹ thuật có tính không ổn định, một hệ thống thích nghi theo mô hình có thể tùy chỉnh thường được sử dụng nhiều hơn dưới dạng:



Hình 2. Sơ đồ hệ thống điều khiển thích nghi theo mô hình có thể tùy chỉnh Giả sử đối tượng được điều khiển được biểu diễn:

$$\dot{x} = A_0 x + B_0 u + \sigma$$
. với $\sigma = (A - A_0) x + (B - B_0) u$ (18)

trong trường hợp không có nhiễu loạn ($\eta = 0$).

Mô tả của ước lượng trung bình của đối tượng được mô tả bởi phương trình:

$$\dot{\hat{x}} = A_0 \hat{x} + B_0 u + G(x - \hat{x}) + z,$$
⁽¹⁹⁾

Trong đó ma trận G-được chọn từ điều kiện ma trận $A_H = (A_0 - G)$, vì ma trận A_0 có thể chứa các giá trị riêng với phần thực dương, z = z(t) là một tín hiệu thích nghi.

Nếu chúng đưa ra sai số là e(t), $e = \hat{x} - x$, thì chúng ta sẽ nhận được một phương trình vi phân của biểu mẫu từ các biểu thức (18) và (19)

$$\dot{e} = A_H e + (z - \sigma) \tag{20}$$

Chọn hàm Lyapunov bậc hai có dạng $V_P = e^T P e$, trong đó *P* là một ma trận không đổi $P = P^T > 0$, là nghiệm duy nhất của phương trình ma trận Lyapunov:

$$A_{H}^{T}P + PA_{H} = -Q, \ Q = Q^{T} > 0.$$

Sau đó

$$\dot{V}_p = -V_Q + 2e^T P(z - \sigma), \quad V_Q = e^T Q e .$$
⁽²¹⁾

Chúng ta hãy chọn luật điều khiển z = z(t) từ điều kiện tốc độ giảm cực đại của hàm Lyapunov. Hàm Lyapunov có dạng $z = -hsgn B_0^T Pe$

Phía bên phải của phương trình (21), để ổn định tiệm cận, điều kiện $2e^T P(z-\sigma) \le 0$ phải được đáp ứng, điều này được đảm bảo nếu $t \to \infty z(t) = \sigma(t)$. Tuy nhiên, điều này là không thể vì hàm z(t) không liên tục. Để xây dựng luật thích nghi, ta sử dụng bộ lọc quán tính thấp với mô tả:

$$\tau \hat{\sigma} + \hat{\sigma} = z, \tag{22}$$

trong đó $\hat{\sigma}$ là một hàm liên tục là ước tính cho $\sigma(t)$, τ – một giá trị đủ nhỏ.

Đặt $\tilde{e} = \sigma - \hat{\sigma}$ Từ biểu thức (21), chúng ta nhận được:.

$$\dot{\tilde{e}} = \dot{\sigma} - \frac{1}{\tau} \tilde{e} \,. \tag{23}$$

Giả sử $u = g + \mu$, trong đó $\mu(t) - \text{luật}$ điều khiển thích nghi g = g(t) là một ảnh hưởng từ yếu tố bên ngoài. Sau đó, phương trình của hệ thống (18) sẽ có dạng:

$$\dot{x} = A_0 x + B_0 g + B_0 \mu + \sigma \tag{(*)}$$

Nếu điều kiện đồng nhất được đáp ứng $B_0^+ B_0 \mu = \mu$, chúng ta có $\mu = -B_0^+ \hat{\sigma}$. Đánh tác động của bộ lọc được đưa vào đến sự ổn định của hệ thống thích nghi. Chúng ta đưa vào hàm Lyapunov: $V_P(\tilde{e}) = \tilde{e}^T \tilde{e}$. Đạo hàm toàn thời gian của hàm $V_P(\tilde{e})$ trong công thức (23)

là
$$\dot{V}_{P}(\tilde{e}) = -\frac{2}{\tau} \tilde{e}^{T} \tilde{e} + 2\tilde{e}^{T} \dot{\sigma}$$

Bằng việc thay thế $V_{P}(\tilde{e}) = \rho^{2}$, $\|\rho\| = \|\tilde{e}\|$ và $\rho^{2} = \tilde{e}^{T}\tilde{e} > 0$.

ta có thể viết
$$\dot{V} = 2\rho\dot{\rho} = -\frac{2}{\tau}\rho^2 + 2\rho\dot{\sigma}$$
 và
 $\dot{\rho} = -\frac{1}{\tau}\rho + \dot{\sigma}.$ (24)

Nghiệm của phương trình (24) là $\rho(t) = e^{-(t-t_0)/\tau} \rho(t_0) + e^{-t/\tau} \int_{t_0}^t e^{\delta/\tau} \dot{\sigma} d\delta$

Chuyển sang dạng đánh giá $\sup \|\dot{\sigma}\| \le M$ của , M = const. Khi $t \to \infty$, thì chúng ta nhận được $\rho(t) = \tilde{e} \le \tau M$

Đánh giá thu được về ảnh hưởng của bộ lọc quán tính thấp cho thấy độ ổn định và kích thước của tập giới hạn được điều chỉnh bằng cách lựa chọn giá trị của tham số nhỏ τ . Hằng số thời gian τ của bộ lọc được xác định bởi biểu thức $0.02\pi f \le \tau^{-1} \le 0.06\pi f$, ở đây f tần suất chuyển đổi trong vòng lặp điều chỉnh tín hiệu của bộ quan sát (Tần số trượt) [4].

Từ đó, sơ đồ cấu trúc hệ thống điều chỉnh thích nghi với tín hiệu không quán tính được xây dựng như sau:



Hình 3. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển thích nghi với mô hình điều chỉnh

4. Kết quả và thảo luận

Kết quả nghiên cứu được mô phỏng thực hiện cho máy phát điện MCK-750-1500 trong chế độ định mức ở đơn vị tương đối với các thông số [5].

Công suất tiêu thụ; Công suất phản kháng $Q_{\Gamma} = 0.173$; Điện áp máy phát điện $U_{\Gamma} = U = 1$; Điện áp lưới $U_{c} = 1$; Suất điện động kích thích của máy phát điện $E_{q} = 0.938$; Góc tải tối đa $\delta = 71.14$ °; góc theo đường dẫn $\delta_{\pi} = 23.02^{\circ}$; Góc lệch pha giữa dòng điện và điện áp $\delta_{\Gamma} = \delta - \delta_{\pi} \Longrightarrow \delta_{\Gamma} = 48,12^{\circ}$; Trở kháng stator theo trục dọc $X_{d} = 1.698$ o.e; Trở kháng quy đổi stator theo trục dọc $X'_{d} = 0.258$; Trở kháng từ tính của mạng lưới $X_{e_{H}} = 0.46$; Hằng số thời gian theo trục dọc ở tốc độ không tải $\tau_{d} = 5.87$; Hằng số động lực học của rotor $T_{j} = 6.49$. $X_{d\Sigma} = X_{d} + X_{BH} \Longrightarrow X_{d\Sigma} = 2.158$.

Độ lệch điện áp máy phát điện

 $\Delta U_{\Gamma} = (1 - a)(\cos \delta_{\Gamma} \Delta E_a - E_{a0} \sin \delta_{\Gamma} \Delta \delta)$

$$a = \frac{X_d}{X_{d\Sigma}} = 0.7868$$

$$\Delta U_{\Gamma} = (1 - \frac{1,698}{2,158}) (\cos 48.12\Delta E_q - 1.938 \sin 48.12\Delta \delta)$$

$$\Delta U_{\Gamma} = 0.142\Delta E_q - 0.307\Delta \delta$$

Độ lệch tần số điện áp của máy phát điện

$$\Delta f_{u} = (\frac{1-a}{U_{r0}})(\sin\delta_{r}p\Delta E_{q} + E_{q0}\cos\delta_{r}p\Delta\delta) = 0.2132(\ 0.744pE_{q} + 1.938\ 0.667p\Delta\delta)$$
$$\Delta f_{u} = 0.1586pE_{q} + 1.2926p\Delta\delta$$

Sự sai lệch điện áp phản xạ tự cảm của máy phát điện

$$\Delta E_q = \frac{\Delta U_f}{1 + p\tau'_d} + \frac{p\mu\tau_d U_c \sin\delta\Delta\delta}{1 + p\tau'_d}$$
$$\mu = \frac{X_d - X'_d}{X_{d\Sigma}} = 0.667$$

Tỷ lệ giữa độ lệch suất điện động và độ lệch điện áp kích thích

$$\frac{\Delta E_q}{\Delta U_f} = \frac{1}{1 + p\tau'_d} ; \quad \frac{\Delta E_q}{p\Delta\delta} = \frac{p\mu\tau_d U_c \sin\delta\Delta\delta}{1 + p\tau'_d}$$

Phương trình suất điện động

$$\begin{split} p\Delta E_q &= -\frac{\Delta E_q}{\tau'_d} + \frac{\Delta U_f}{\tau'_d} = -\ 0.513\Delta E_q + 0.513\Delta U_f \\ p\Delta E_q &= -\frac{\Delta E_q}{\tau'_d} + \frac{p\Delta\delta\mu\tau_d U_c\sin\delta}{\tau'_d} \\ p\Delta E_q &= -0.513\Delta E_q + \frac{p\Delta\delta0.667\cdot 5.87\cdot 1\cdot\sin71.14}{1.95} \\ p\Delta E_q &= -\ 0.513\Delta E_q + 1.9\,p \\ \frac{\Delta\delta}{\Delta E_q} &= -\frac{U_c\sin\delta}{H_j X_{d\Sigma} p^2 + 1.9 X_{d\Sigma} p + E_{q0} U_c\cos\delta}, \quad H_j = \frac{T_j}{\omega_0}. \end{split}$$

Phương trình chuyển động của rotor:

$$p^{2}\Delta\delta = -\frac{\omega_{0}U_{c}\sin\delta\Delta E_{q}}{T_{j}X_{d\Sigma}} - \frac{\omega_{0}1.9X_{d\Sigma}p\Delta\delta}{T_{j}X_{d\Sigma}} - \frac{\omega_{0}E_{q}U_{c}\cos\delta\Delta\delta}{T_{j}X_{d\Sigma}}$$
$$p^{2}\Delta\delta = -21.23\Delta E_{q} - 0.249p\Delta\delta - 13.98\Delta\delta$$

Mô phỏng hệ thống kích từ máy phát đồng bộ sử dụng thuật toán thích nghi tín hiệu không quán tính:

Phương trình đối tượng

$$\begin{split} \dot{x}_{1} &= x_{2}, \\ \dot{x}_{2} &= -\alpha_{1}x_{2} - \alpha_{3}x_{1} - \alpha_{4}x_{3}, \\ \dot{x}_{3} &= -\alpha_{2}x_{3} + \alpha_{5}x_{2} + \beta_{5}i_{f}, \\ \Delta U &= -\beta_{1}x_{1} + \beta_{2}x_{3}, \\ \Delta f &= (\beta_{3} + \beta_{4}\alpha_{5})x_{2} - \beta_{4}\alpha_{2}x_{3} + \beta_{4}\beta_{5}i_{f} \end{split}$$

Trong đó x_1, x_2, x_3 - là biến thay đổi góc độ của tải, đạo hàm của biến thay đổi góc độ của tải, điện áp U, tần số Δf , và i_f là dòng kích thích của máy phát đồng bộ. μ_z là tín hiệu điều khiển thích nghi; α_i, β_j ($i, j = \overline{1,5}$) - là các hệ số tương ứng cho các chế độ danh định, chế độ thiếu kích từ, và chế độ thừa kích từ [4].

Bảng 1. Các hệ số α , β trong các chế độ của máy phát điện

Tham số	α1	α2	α3	α_4	α_5	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
Chế độ danh định	0,249	0,513	13,98	21,23	1.9	0,308	0,142	0,275	0,159	0,513
Chế độ thiếu kích thích	0,45	0,513	10,36	11,5	2,546	0,302	0,01	0,014	0,213	0,513
Chế độ thừa kích thích	0,064	0,513	12	10,74	0,961	0,308	0,197	0,756	0,08	0,513

Thuật toán điều khiển thích nghi:

$$z = -hsgnB_0^T Pe = -50 sgn(2e_1 - 0.15e_2 - 0.0237e_3),$$

$$e_1 = (\Delta \hat{U} - \Delta U), \ e_2 = (\Delta \hat{f} - \Delta f), \ e_3 = (\Delta \dot{\hat{\omega}} - \Delta \dot{\omega}); \ B_0^T = \begin{bmatrix} 0,513 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \ W_{\phi} = (\frac{1}{0,002s+1}) + \frac{1}{0,002s+1} = \begin{bmatrix} 0,513 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Theo tiêu chuẩn, chúng ta sẽ thực hiện các cài đặt của hệ số điều chỉnh kích từ được mô tả bởi A.A. Yurganov và V.A. Kozhevnikov trên cơ sở phân tích về giới hạn ổn định của máy phát đồng bộ dưới các chế độ hoạt động khác nhau và được sử dụng trong các hệ thống điều khiển kích từ dựa trên AVR. Khi đó $k_{0f} = 0.5$; $k_{1f} = 0.5$; $k_{0u} = -0.13$; $k_{1u} = -0.5$; $k_{1if} = -0.5$.

Ta tiến hành quá trình mô phỏng hệ thống ổn định diện áp trên phần mềm Matlab-Simulink, mô hình được so sánh trong các trường hợp hệ thống làm việc ở chế độ khác nhau để thấy rõ được ưu điểm của bộ điều khiển thích nghi. Mô hình mô phỏng như trên Hình 3.



Hình 4. Sơ đồ mô phỏng máy phát đồng bộ với mô hình có thể điều chỉnh

Sau khi thực hiện mô phỏng với các chế độ khác nhau ta có kết quả mô phỏng như Hình 5.



Hình 5. Đặc tính chuyển đổi của máy phát đồng bộ ở chế độ thiếu kích từ (5a) và thừa kích từ (5b)

Trong đó, ΔU_1 , Δf_{u1} , $\Delta \delta_1 -$ đặc điểm chuyển đổi của máy phát đồng bộ không có tín hiệu điều khiển thích nghi, và ΔU_2 , Δf_{u2} , $\Delta \delta_2 -$ đặc điểm chuyển đổi của máy phát đồng bộ với tín hiệu điều khiển thích ứng được so sánh.

Dựa trên kết quả mô phỏng, có thể thấy rằng đặc tính chuyển đổi của máy phát điện với việc có điều chỉnh có phạm vi từ (2 đến 3) giây, trong khi đó phạm vi của đặc tính chuyển đổi của hệ thống không có điều chỉnh dao động từ (2 đến 9,5) giây. Độ quá điều chỉnh khi có điều

khiển thích nghi nằm trong khoảng $\pm 5\%$ đáp ứng tiêu chí kỹ thuật của hệ thống. Bộ điều chỉnh thích nghi tốt hơn trong việc tối ưu hóa quá trình khi hệ thống thay đổi chế độ làm việc, giảm thiểu sự điều chỉnh quá mức và thời gian điều chỉnh điện áp cũng như sai lệch tần số so với cài đặt tiêu chuẩn.

6. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu, mô phỏng và tổng hợp thuật toán điều khiển thích nghi ổn định điện áp cho máy điện tàu thủy. Kết quả cho thấy, việc sử dụng thuật toán điều chỉnh thích nghi đã cải thiện đáng kể đặc tính chuyển đổi của máy phát đồng bộ so với việc không áp dụng thuật toán này. Thuật toán được đề xuất không có tính trễ và có khả năng hội tụ mạnh mẽ, giúp thu hẹp đặc tính chuyển đổi của điện áp và tần số khi thay đổi các thông số quan trọng của máy phát. Những kết quả này cho thấy tiềm năng lớn của thuật toán điều chỉnh thích nghi trong việc cải thiện hiệu suất và ổn định của máy phát đồng bộ trong nhiều điều kiện khác nhau.

Tài liệu tham khảo

- 1. Андерсон П., Фуад А. Управление энергосистемами и устойчивость. М: Энергия, 1980.- 569 с.
- Глебов И.А. Электромагнитные процессы систем возбуждения синхронных машин. Л.: Наука, 1987. - 344 с.
- 3. Salam F. Chaos in the one generator system with excitation feedback // Proc. 22th IEEE Conf. on Decision and Control, San Antonio, Tex. 1983. V. 1. P. 360-364.
- Поляхов Н.Д., Ха Ань Туан. Адаптивное управление синхронным генератором в режиме возникновения бифуркации [Текст]/ Интернет-Журнал «Науковедение», 2014. – Вып.5.
- 5. На основе безынерционных сигнальных и параметрических алгоритмов построены структуры адаптивных регуляторов для систем возбуждения синхронным генераторам ТГВ-300.
- Xây dựng giải thuật thích nghi điều khiển tối ưu máy phát điện đồng bộ trên cơ sở công nghệ mạng nơ ron. LATS Ngô Cao Cường.
- 7. Ứng dụng logic mờ trong ổn định điện áp của máy phát điện.

Research on the adaptive control algorithm for voltage regulation in marine generators

Abstract: The Automatic Voltage Regulation System for Marine Power Stations is a critical system designed to autonomously maintain the stability of nominal voltage values or deviations within acceptable limits amidst load changes or various disturbances. This control system has garnered significant interest from researchers domestically and internationally, exploring various methods to enhance the quality of marine power station operations. Currently, marine power station automatic voltage regulators predominantly utilize the PID control algorithm. However, PID control exhibits several disadvantages, including prolonged response times, excessive overshoot, and poor adaptability, especially under significant load changes which can lead to control loss. This paper presents research on an adaptive control algorithm for marine generator voltage regulation to overcome the limitations of the current PID controllers, thereby improving the electrical system's quality on ships. The adaptive control algorithm continuously identifies the model of the object, adjusting to disturbances and parameter changes within the model. The research findings are verified and evaluated using the Matlab&Simulink simulation software.

Keywords: Adaptive Control, Voltage Regulation, Generator, Marine, Algorithm.

Lập kế hoạch đường đi cho robot tự hành hai bánh vi sai trên cơ sở thuật toán A* kết hợp với thuật toán TEB

Phạm Trần Quyền Anh^{1*}, Nghiêm Hoàng Nam¹, Trương Xuân Tùng¹, Phạm Trung Dũng¹, Nguyễn Lan Anh¹

¹Học viện kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Báo cáo đề cập đến một giải pháp lập kế hoạch đường đi cho robot tự hành hai bánh vi sai dựa trên sự kết hợp của thuật toán A* và thuật toán tối ưu quỹ đạo theo thời gian (TEB). Thuật toán A* tìm ra quỹ đạo ngắn nhất tới mục tiêu trên cơ sở bản đồ tĩnh đã có, trong khi thuật toán TEB sẽ tính toán đưa ra các lệnh điều khiển là các giá trị vận tốc tịnh tiến và vận tốc quay cho robot trên cơ sở quỹ đạo ngắn nhất được thiết lập ở trên có tính đến các ràng buộc đối với robot đồng thời phải tối ưu về mặt thời gian. Hai thuật toán trên đã giúp robot tự hành hai bánh vi sai tối ưu quỹ đạo chuyển động theo các tiêu chí: đường đi ngắn nhất, có thể thực thi trong thực tế, tránh vật cản chuyển động và thời gian thực hiện quỹ đạo là nhanh nhất. Để đánh giá hiệu quả của giải pháp trên, tác giả đã sử dụng hệ điều hành ROS có cài đặt gazebo và rviz để tiến hành mô phỏng robot, kết hợp 2 thuật toán trên và tạo ra tình huống để robot thực hiện di chuyển. Kết quả giải pháp đã tích hợp được ưu điểm của 2 thuật toán, đồng thời khắc phục nhược điểm của mỗi thuật toán.

Từ khóa: Thuật toán A*, robot tự hành hai bánh vi sai, lập kế hoạch đường đi, tránh chướng ngại vật, Timed Elastic Band (TEB).

1. Giới thiệu về nghiên cứu

Tính toán lập kế hoach đường đi là rất quan trong trong điều hướng robot tư hành hai bánh vi sai đi từ điểm bắt đầu đến điểm mục tiêu. Tùy thuộc vào mức đô hiểu biết về môi trường xung quanh của robot, lập kế hoạch đường đi có thể được chia thành lập kế hoạch đường đi toàn cục và lập kế hoạch đường đi cục bộ. Lập kế hoạch đường đi toàn cục thường được sử dụng để tìm ra quỹ đạo trong môi trường đã xác định. Các thuật toán hiệu quả được sử dụng để lập kế hoạch đường đi toàn cục phải kể đến như: Thuật toán Dijkstra [5], thuật toán A* [3, 4] và thuật toán tìm kiếm cây ngẫu nhiên (RRT) [4]... Trong khi việc thiệt lập quỹ đạo cục bộ thường được sử dụng trong môi trường có chướng ngại vật ngẫu nhiên hay kiến thức về môi trường xung quanh của robot còn hạn chế. Các thuật toán hiệu quả được sử dụng để lập kế hoạch đường đi cục bộ phải kể đến phương pháp tiếp cận cửa sổ động (DWA) [6], lập kế hoạch đường đi dựa trên lý thuyết trò chơi [7], phương pháp đàn kiến [8], thuật toán TEB[18]. Các thuật toán lập kế hoạch đường đi toàn cục thường chỉ giải quyết vấn đề tìm quỹ đạo ngắn nhất mà chưa tính đến các ràng buộc động học của robot tự hành. Trong nghiên cứu này, nhóm đã tiến hành kết hợp thuật toán A* để lập kế hoạch đường đi toàn cục và thuật toán TEB để tối ưu hóa quỹ đạo toàn cục đó trong quá trình điều hướng của robot tự hành hai bánh vi sai. Các nội dung của báo cáo được tổ chức như sau: Phần 1- Giới thiêu về nghiên cứu, Phần 2- Cơ sở toán học các thuật toán lập kế hoạch đường đi, Phần 3- Xây dựng hệ thống lập kế hoạch chuyển đông, Phần 4- Lưa chon tham số và kết quả mô phỏng, Phần 5- Kết luân.

^{*} Email: anhquyentp34@gmail.com

2. Cơ sở toán học các thuật toán lập kế hoạch đường đi

2.1. Thuật toán A*

A* là một thuật toán tìm kiếm được xây dựng dưới dạng bản đồ có trọng số. Xuất phát từ một nút bắt đầu cụ thể của bản đồ, nó sẽ tìm đường dẫn đến nút mục tiêu nhất định có chi phí nhỏ nhất (quãng đường di chuyển ít nhất, thời gian ngắn nhất, v.v.). Nó thực hiện điều này bằng cách duy trì một cây đường dẫn bắt xuất phát từ nút bắt đầu và mở rộng các đường dẫn đó từng cạnh một cho đến khi đến nút mục tiêu.

Tại mỗi lần lặp lại vòng lặp chính của nó, A * cần xác định đường dẫn nào của nó để mở rộng. Nó làm như vậy dựa trên chi phí của con đường và ước tính chi phí cần thiết để mở rộng con đường đến mục tiêu. Cụ thể, A* chọn đường dẫn giảm thiểu.

$$f(n) = h(n) + g(n) \tag{1}$$

Trong đó n là nút tiếp theo trên đường dẫn, g(n) là chi phí của đường dẫn từ nút bắt đầu đến n và h(n) là một hàm heuristic ước tính chi phí của đường dẫn nhỏ nhất từ n đến mục tiêu. Hàm heuristic là một ước tính toán học dựa trên khoảng cách của chi phí đến mục tiêu từ một nút nhất định. Sử dụng hàm heuristic, thuật toán A* có thể ưu tiên các nút có khả năng gần mục tiêu hơn, cho phép nó nhanh chóng xác định đường dẫn ngắn nhất. Hàm heuristic điển hình cho khoảng cách là khoảng cách Manhattan, như được chỉ ra trong phương trình 2 hoặc khoảng cách hình học Euclid, như được đưa ra trong phương trình 3.

$$h_{M}(n) = |x_{G} - x_{n}| + |y_{G} - y_{n}|$$
(2)

$$h_{E}(n) = \sqrt{\left(x_{G} - x_{n}\right)^{2} + \left(y_{G} - y_{n}\right)^{2}}$$
(3)

Các triển khai điển hình của A* sử dụng hàng đợi ưu tiên để thực hiện lựa chọn lặp lại các nút chi phí tối thiểu (ước tính) để mở rộng. Hàng đợi ưu tiên này được gọi là *open set, fringe* or *frontier*. Ở mỗi bước của thuật toán, nút có giá trị f (x) thấp nhất bị xóa khỏi hàng đợi, các giá trị f và g của các giá trị lân cận được cập nhật tương ứng và các hàng xóm này được thêm vào hàng đợi. Thuật toán tiếp tục cho đến khi một nút bị loại bỏ (do đó nút có giá trị *f thấp nhất* trong số tất cả các nút rìa) là một nút mục tiêu.^[b] Giá trị *f* của mục tiêu đó sau đó cũng là chi phí của con đường ngắn nhất, vì h tại mục tiêu bằng 0 trong một heuristic có thể chấp nhận được.



Hình 1: Mô tả thuật toán A*

Thuật toán được mô tả cho đến lúc này chỉ cung cấp cho chúng ta độ dài của con đường ngắn nhất. Để tìm trình tự các bước thực tế, thuật toán có thể dễ dàng sửa đổi để mỗi nút trên đường dẫn theo dõi nút trước đó của nó. Sau khi thuật toán này được chạy, nút kết thúc sẽ trở đến nút trước đó của nó, v.v., cho đến khi nút trước đó của một số nút là nút bắt đầu. Quá trình tạo quỹ đạo dựa trên thuật toán A* được thực hiện theo thuật toán 1.

	Thuật toán 1: Thuật toán A*				
	Đầu vào: bản đồ dạng lưới, điểm xuất phát, điểm mục tiêu				
	Đầu ra: đường đi có chi phí nhỏ nhất từ điểm xuất phát tới điểm mục tiêu				
1	Bắt đầu				
2	Khởi tạo danh sách mở và danh sách đóng				
3	Tạo nút bắt đầu hiện tại				
4	Tính khoảng cách heuristic của đỉnh bắt đầu đến đích (h)				
5	Tính giá trị f cho đỉnh nút đầu (f = g + h, trong đó g = 0)				
6	WHILE nút hiện tại is not điểm mục tiêu				
7	FOR mỗi đỉnh liền kề với nút hiện tại				
8	IF đỉnh không có trong danh sách đóng và không có trong danh sách mở THEN				
9	Thêm đỉnh vào danh sách mở				
10	Tính khoảng cách từ điểm bắt đầu (g)				
11	Tính khoảng cách heuristic đến đích (h)				
12	Tính giá trị f (f = g + h)				
13	IF giá trị f mới < giá trị f hiện có hoặc không có giá trị f hiện có THEN				
14	Cập nhật giá trị f				
15	Set parent to be the current vertex				
16	END IF				
17	END IF				
18	NEXT nút liền kề				
19	Thêm nút hiện tại vào danh sách đóng				
20	Xóa nút có giá trị f thấp nhất khỏi danh sách mở và đặt nó làm hiện tại				
21	END WHILE				
22	Trả về : đường đi có chi phí nhỏ nhất từ điểm xuất phát tới điểm mục tiêu				

2.2. Thuật toán TEB

Đã có nhiều nghiên cứu về thuật toán TEB như: [15], [17], [18], [19]. Giai đoạn đầu các tác giả đưa ra thuật toán TEB như thể hiện ở nghiên cứu [15], [17]. Sau đó họ mở rộng sang thiết kế quỹ đạo cho robot với thuật toán TEB được tối ưu quỹ đạo song song [18], [19].

Thuật toán TEB (Timed Elastic Band) [15] được sử dụng để tạo ra con đường cục bộ bằng cách làm biến dạng con đường toàn cục ban đầu, có xem xét đến các ràng buộc động học, các giới hạn về vận tốc, gia tốc của robot. Khi cập nhật con đường cục bộ có tính đến các vật cản tĩnh hoặc động. Thuật toán này được lựa chọn để nghiên cứu vì có sự kết hợp giữa xây dựng quỹ đạo với phát hiện và tránh vật cản động, thời gian tính toán đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật trong việc lập kế hoạch đường đi cục bộ và tránh vật cản.

Thuật toán TEB là một kỹ thuật được sử dụng để hoạch định quỹ đạo trực tuyến cho robot, đảm bảo khi robot di chuyển không xảy ra va chạm với các vật cản hay người xung quanh trong môi trường động. Bản chất kỹ thuật TEB tạo ra quỹ đạo cục bộ bằng cách giảm thiểu thời gian thực hiện quỹ đạo trong khi vẫn duy trì việc tránh các vật cản, đồng thời vẫn đảm bảo được các ràng buộc về động học và thỏa mãn các giới hạn về vận tốc và gia tốc.

Theo [15] thuật toán TEB được biểu diễn là một dãy N các tư thế của robot $Q = \{s_k\}$ với k = 1, 2, ..., N. Trong đó $s_k = [x_r^k, y_r^k, \theta_r^k]^T$, với $[x_r^k, y_r^k]$ và $[\theta_r^k]$ tương ứng là vị trí và hướng của robot ở tư thế thứ k.



Hình 2: Mô tả ba tư thế liên tiếp của robot trong bản đồ toàn cục.

Gọi ΔT_k là khoảng thời gian giữa hai tư thế liên tiếp của robot là s_k và s_{k+1}. Khi đó ta sẽ có một dãy gồm N-1 khoảng thời gian. Đặt $\tau = {\Delta T_k}$ với k = 1, 2, ..., N-1. Ta có $0 \le \Delta T_k \le \Delta T_{max}$, trong đó ΔT_{max} là giới hạn trên của ΔT_k . Khi đó thuật toán TEB được biểu diễn như một cặp hai dãy như sau:

$$B = (Q, \tau) = \left[s_1, \Delta T_1, s_2, \Delta T_2, ..., s_{N-1}, \Delta T_{N-1}, s_N\right]^T$$
(4)

Thuật toán TEB được đưa về dạng hàm tối ưu đa mục tiêu có trọng số, và được biểu diễn như sau:

$$V(B) = \sum_{k=1}^{N-1} [\Delta T_k^2 + \delta_h \|h_k\|_2^2 + \delta_\nu \|\min\{0, \nu_k\}\|_2^2 + \delta_0 \|\min\{0, o_k\}\|_2^2 + \delta_\alpha \|\min\{0, \alpha_k\}\|_2^2]$$
(5)

Trong đó:

ΔT_k^2	Hàm mục tiêu thời gian đi nhỏ nhất
$\delta_h \ h_k\ _2^2$	Hàm phạt ràng buộc động học nonholonomic (δ_h là trọng số của hàm phạt)
$\delta_{v} \ \min\left\{0, v_{k}\right\}\ _{2}^{2}$	Hàm phạt giới hạn vận tốc (δ_v là trọng số của hàm phạt)
$\delta_0 \ \min\{0, o_k\}\ _2^2$	Hàm mục tiêu không có vật cản (δ_o là trọng số của hàm phạt)
$\delta_{\alpha} \ \min\{0,\alpha_k\}\ _2^2$	Hàm phạt giới hạn gia tốc(δ_{α} là trọng số của hàm phạt)

Yêu cầu chi phí của hàm tối ưu theo thuật toán TEB đảm bảo tìm được đường đi nhanh nhất thay vì ngắn nhất khi robot di chuyển từ điểm bắt đầu tới đích. Do đó cần đảm bảo tổng thời gian robot di chuyển nhỏ nhất, chi phí hàm mục tiêu sẽ là:

$$V^{*}(B) = \min_{B} \sum_{k=1}^{N-1} \Delta T_{k}^{2}$$
(6)

Hơn nữa, yêu cầu quỹ đạo robot không chỉ đảm bảo đường đi nhanh nhất mà còn phải thỏa mãn các ràng buộc về động học non-holonomic, vận tốc, gia tốc, tránh vật cản.

Quá trình tạo quỹ đạo dựa trên thuật toán TEB được thực hiện theo thuật toán 2

Thuậ	Thuật toán 2: Timed Elastic Band Algorithm (TEB_Algorithm)				
	Đầu vào : tư thế hiện tại của robot s _r , tư thế xuất phát s _s , tư thế đích s _g , tập các vật cản				
	0				
	Đầu ra: lệnh điều khiển u _r				
1	bắt đầu				
2	$G \leftarrow createGraph(s_r, s_s, s_g, O);$				
3	D←depthFirstSearch(G);				
4	H←computeH-Signature(D,G);				
5	$R \leftarrow removeRedundantPath(D,H,G);$				
6	$T \leftarrow initializeTrajectories(R,G);$				
7	For (quỹ đạo B _p ∈T) do				
8	V←objectiveFunction();				
9	$B^*_p \leftarrow Optimizer(B_p, O, V);$				

1694

10	$B^* \leftarrow storeLocalOptimalTrajectory(B^*_p);$
11	end for
12	V _c ←newObjectiveFunction();
13	$B^* \leftarrow Optimizer(B^*,O,V_c);$
14	Trả về $u_r = [v_r, \omega_r]^T$;

3. Xây dựng hệ thống lập kế hoạch chuyển động

Phần này trình bày giải pháp thực thi thuật toán A* và thuật toán TEB trong hệ thống lập kế hoạch chuyển động của robot tự hành . Hình 3 là sơ đồ khối hệ thống dẫn đường robot tự hành, bao gồm các khối cơ bản: thu thập và xử lý thông tin, định vị và xây dựng bản đồ, lập kế hoạch đường đi và tránh vật cản, điều khiển chuyển động. Trong đó, nhóm nghiên cứu tập trung nghiên cứu của mình vào khối lập kế hoạch đường đi và tránh vật cản. Toàn bộ hệ thống được xây dựng trên cơ sở hệ điều hành điều hành robot (ROS).



Hình 3: Sơ đồ khối hệ thống dẫn đường robot tự hành.

Hệ điều hành ROS là một framework linh hoạt cho phát triển phần mềm robot, bắt đầu từ năm 2007 tại Willow Garage. ROS cung cấp các công cụ và thư viện mạnh mẽ cho truyền thông điệp, tính toán phân tán, tái sử dụng mã và triển khai thuật toán tiên tiến. Nó bao gồm các chức năng như SLAM, AMCL, và MoveIt cho điều hướng tự động và lập kế hoạch chuyển động. Hệ sinh thái ROS có nhiều công cụ hỗ trợ gỡ lỗi, trực quan hóa và mô phỏng như rqt_gui, RViz và Gazebo. ROS hỗ trợ cảm biến và bộ truyền động cao cấp, hoạt động liên nền tảng thông qua trình trung gian truyền thông điệp, và có tính mô-đun cao, giúp hệ thống vẫn hoạt động ngay cả khi một phần gặp sự cố.

Thuật toán A* và TEB đã được triển khai dưới dạng gói A*_global_planner và gói teb_local_planner trong Hệ điều hành Robot (ROS). Các gói này đóng vai trò là plugin của gói move_base của navigation stack trong ROS. Hình 4 biểu diễn các thành phần chính của gói move_base khi plugin A*_global_planner và plugin teb_local_planner được build trong work_space.

1696



Hình 4: Các thành phần điều hướng của move_base bao gồm A*_global_planner và teb_local_planner

Thuật toán TEB tối ưu hóa quỹ đạo ban đầu được tạo bởi công cụ lập kế hoạch toàn cục sử dụng thuật toán A* trong thời gian chạy. Quá trình tối ưu hóa này giảm thiểu thời gian thực hiện quỹ đạo, đảm bảo khoảng cách an toàn với chướng ngại vật và tuân thủ các ràng buộc động học như vận tốc và gia tốc tối đa.

4. Thiết lập tham số và kết quả mô phỏng

Phần này trình bày các giá trị của tham số tiêu biểu được thiết lập cho mô hình robot, thuật toán A* và thuật toán TEB. Và cuối cùng là kịch bản thí nghiệm mô phỏng và kết quả đạt được.

Bảng tham số được thiết lập trong thí nghiệm				
* Tham số robot:				
- Vận tốc tịnh tiến tối đa	max_vel_x: 0.5			
- Vận tốc lùi tối đa	max_vel_x_backwards: 0.2			
- Giới hạn gia tốc tịnh tiến	acc_lim_x: 0.5			
- Giới hạn gia tốc góc	acc_lim_theta: 0.5			
- Hình dạng chân đế	type: "circular"			
- Bán kính chân đế	radius: 0.3			
- Phạm vi vật cản được đưa vào tính toán (local_costmap)	obstacle_range: 2.5			
* Tham số bản đồ:				
- Tỉ lệ chiếm chỗ ô bản đồ coi là vật cản	occupied_thresh: 0.65			
- Tỉ lệ chiếm chỗ ô bản đồ coi là không có vật cản	free_thresh: 0.196			
- Kích thước bản đồ	20mx20m			
* Tham số thuật toán TEB:				

4.1 Thiết lập tham số

- Tần số điều khiển	controller frequency: 10.0				
- Tần số của công cụ lập kế hoạch	planner frequency: 0.0				
 Độ phân giải thời gian mong muốn của quỹ đạo 	dt ref: 0.3				
- Số lượng mẫu tối thiểu	min samples: 3				
- Số lượng mẫu tối đa	max samples: 500				
* Tham số thuật toán A*					
- Cạnh của mỗi ô vuông bản đồ lưới tính bằng mét	resolution $= 0.05$				
* Tham số hệ thống máy tính dùng để mô phỏng thí nghiệm					
CPU	Intel (R) Core(TM) i7-10750H				
Tần số CPU	2.60GHz				
Ram	64.00GB				
Hệ điều hành	Ubuntu 20.04				
Giao diện lập trình	Visual Studio Code 1.85.1				

4.2 Kết quả mô phỏng

Ban đầu, nhóm nghiên cứu tạo ra robot có chứa cảm biến Lidar để xây dựng bản đồ lưới và môi trường trong nhà







Hình 5: Robot tự hành hai bánh vi sai trang bị cảm biến Lidar a) Dải quét Lidar được mô phỏng trên gazebo và b)Mô hình robot được hiển thị trên rviz





Hình 6: Robot thực hiện quét bản đồ môi trường mô phỏng gazebo a) Bản đồ lưới được quét. b) Hiển thị bản đồ với global_costmap trên Rviz

1698

Kịch bản thí nghiệm là robot sẽ xuất phát từ điểm bắt đầu S và đi tới điểm mục tiêu G với tư thế tại điểm kết thúc như hướng mũi tên đỏ.





Hình 7: Kịch bản thí nghiệm

Đầu tiên, công cụ lập kế hoạch toàn cục sử dụng thuật toán A* để lập kế hoạch đường đi tối ưu cho robot di động từ điểm bắt đầu S đến điểm mục tiêu G (đường màu vàng)





Hình 8: a) Công cụ lập kế hoạch toàn cục thực hiện tìm kiếm đường đi tối ưu, b) Công cụ lập kế hoạch cục bộ thực hiện tìm kiếm đường đi tránh vật cản

Sau khi có kế hoạch đường đi toàn cục, move_base điều hướng robot di chuyển dọc theo đường đi toàn cục này, trong khi công cụ lập kế hoạch cục bộ lập kế hoạch đường đi cục bộ tránh vật cản (đường màu đỏ).





Hình 9: Robot đến vị trí mục tiêu và đạt được tư thế như đã chỉ định ban đầu

5. Kết luận

Báo cáo trình bày giải pháp kết hợp thuật toán A* với thuật toán TEB để lập kế hoạch đường đi của robot di động và kết quả thí nghiệm mô phỏng cho kết quả tốt. Kết quả nghiên cứu sẽ là cơ sở để nhóm nghiên cứu phát triển các giải pháp, thuật toán điều hướng khác cho robot tự hành hai bánh vi sai.

Tài liệu tham khảo

- Trần Anh Thảo (2023), Nghiên cứu và phát triển thuật toán điều hướng cho robot tự hành trong môi trường động, Luận văn thạc sĩ, Học Viện Kỹ Thuật Quân Sự.
- Hoàng Văn Bảy (2023), Nghiên cứu phát triển thuật toán thiết kế quỹ đạo cho robot tự hành trong môi trường có tương tác với con người, Luận án tiến sĩ, Học Viện Kỹ Thuật Quân Sự.
- Yonggang, L. et al. 2022. "A Mobile Robot Path Planning Algorithm Based on Improved A* Algorithm and Dynamic Window Approach." IEEE Access 10: 57736-57747. <u>https://doi.org/10.1155/2022/2183229</u>.
- Xunyu, Z., Jun, T., Huosheng, H., and Xiafu, P. 2020. "Hybrid Path Planning Based on Safe A* Algorithm and Adaptive Window Approach for Mobile Robot in Large-Scale Dynamic Environment." Journal of Intelligent & Robotic Systems 99(2): 65 77. https://doi.org/10.1007/s10846-019-01112-z. CONTACTS: Dr. Thai-Viet Dang
- Shaher, A., Sahbi, B., and Lioua, K. 2022. "Improved Dijkstra Algorithm for Mobile Robot Path Planning and Obstacle Avoidance." Computers, Materials & Continua 72(3): 5939-5954. <u>https://doi.org/10.32604/cmc.2022.028165</u>
- Masato, K., and Naoki, M. 2022. "Local Path Planning: Dynamic Window Approach with Virtual Manipulators Considering Dynamic Obstacles." IEEE Access 10: 17018-17029. <u>https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3150036</u>.
- Nguyen, L. V., Phung, M. D., and Ha, Q. P. 2022. "Game Theory-Based Optimal Cooperative Path Planning for Multiple UAVs." IEEE Access 10: 108034-108045. <u>https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3213035</u>.
- Wang, W., Zhao, J., Li, Z., and Huang, J. 2021. "Smooth Path Planning of Mobile Robot Based on Improved Ant Colony Algorithm." Journal of Robotics 2021(3): 1-10. <u>https://doi.org/10.1155/2021/4109821</u>.
- Yonggang, L. et al. 2022. "A Mobile Robot Path Planning Algorithm Based on Improved A* Algorithm and Dynamic Window Approach." IEEE Access 10: 57736-57747. https://doi.org/10.1155/2022/2183229
- 10. R. Poli, W. B. Langdon, N. F. McPhee, and J. R. Koza, Introduction to Mobile Robot Control, store.elsevier.com, 2014.
- 11. P. Hart and N. Nilsson, and B. Raphael, A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths, IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, vol. 4, pp. 100–107, 1968.
- 12. O. Khatib, Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots, in Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom., vol. 2, Mar. 1985, pp. 500–505.
- 13. S. Lavalle, Rapidly-exploring Random Tree: A New Tool For Path Planning, Departmet of Computer Science, 1998.
- M. Noto and H. Sato, A method for the shortest path search by extended Dijkstra algorithm, Smc 2000 conference proceedings. 2000 ieee international conference on systems, man and cybernetics. cat. no.0, Nashville, TN, USA, 2000, pp. 2316-2320 vol.3, doi: 10.1109/ICSMC.2000.886462.
- 15. C. Rosmann, W. Feiten, T. Wosch, F. Hoffmann, and T. Bertram, Trajectory modification considering dynamic constraints of autonomous robots, 7th German Conference on Robotics, May 2012, pp. 1–6.

- 16. R. Kummerle et al, G2o: A general framework for graph optimization, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2011, pp. 3607–3613. 99
- 17. C. Rosmann, W. Feiten, T. Wosch, F. Hoffmann, and T. Bertram, Efficient Trajectory Optimization using a Sparse Model, European Conference on Mobile Robots, Barcelona, Spain, 2013.
- C. Rosmann, F. Hoffmann, and T. Bertram, Integrated online trajectory planning and optimization in distinctive topologies, Robotics and Autonomous Systems, vol. 88, pp. 142–153, 2017.
- C. Rosmann, M. Oeljeklaus, F. Hoffmann, and T. Bertram, Online trajectory prediction and planning for social robot navigation, IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2017, pp. 1255–1260.
- 20. L.A Nguyen et al, An Efficient Navigation System for Autonomous Mobile Robots in Dynamic Social Environments, International Journal of Robotics and Automation, 2020.
- X. T. Truong and T. D. Ngo, Dynamic social zone based mobile robot navigation for human comfortable safety in social environments, International Journal of Social Robotics, vol. 8, no. 5, pp. 663–684, 2016.
- X. T. Truong and T. D. Ngo, Toward socially aware robot navigation in dynamic and crowded environments: A proactive social motion model, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 14, no. 4, pp. 1743–1760, October 2017.
- A. Stentz, The D* algorithm for real-time planning of optimal traverses, Tech. Rep. CMU-RI-TR-94-37, The Robotics Institute, Carnegie-Mellon University, Tech. Rep., 1994.
- 24. D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, The dynamic window approach to collision avoidance, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 4, no. 1, pp. 23–33, Mar. 1997. 101
- X. T. Truong, N. Y. Voo, and T. D. Ngo, Approaching humans in crowded and dynamic environments, IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, July 2016, pp. 476–481.
- X. T. Truong, N. Y. Voo, and T. D. Ngo, RGB-D and laser data fusion-based human detection and tracking for socially aware robot navigation framework, Proceedings of the 2015 IEEE Conference on Robotics and Biomimetics, Dcember 2015, pp. 608–613.
- X. T. Truong and T. D. Ngo, To Approach Humans: a unified framework for approaching pose prediction and socially aware robot navigation, IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems, vol. 10, no. 3, pp. 557–572, 2017.
- 28. http://wiki.ros.org/teb_local_planner

Path planning for two-wheeled differential self-propelled robot based on A* algorithm combined with TEB algorithm

Abstract: The report mentions a path planning solution for two-wheeled differential autonomous robots based on a combination of the A* algorithm and the time-based trajectory optimization algorithm (TEB). The A* algorithm finds the shortest trajectory to the target on the basis of the existing static map, while the TEB algorithm will calculate and issue control commands such as translation and rotation speed values for the robot. on the basis of the shortest trajectory established above, taking into account the constraints on the robot and at the same time being optimal in terms of time. The above two algorithms have helped the differential two-wheeled self-propelled robot optimize its motion trajectory according to the following criteria: shortest path, feasible in practice, avoiding moving obstacles and time to execute the trajectory. the fastest. To evaluate the effectiveness of the above solution, the author used the ROS operating system with gazebo and rviz installed to conduct robot simulation, combining the above two algorithms and creating situations for the robot to move. The resulting solution integrates the advantages of the two algorithms, while overcoming the disadvantages of each algorithm.

Keywords: A* algorithm, differential two-wheeled autonomous robot, path planning, obstacle avoidance, Timed Elastic Band (TEB).

Tổng hợp bộ điều khiển mờ lai Fuzzy – PI cho hệ truyền động bám sát khi có sự thay đổi đột biến của tải

Phan Anh Tuấn^{1*}

¹Học Viện Kỹ Thuật Quân Sự Email: phananhtuan51@gmail.com

Tóm tắt (Abstract)

Bài báo trình bày một cách tiếp cận thiết kế thuật toán điều khiển lai giữa bộ điều khiển Fuzzy logic (FLC) với bộ điều khiển tỷ lệ - tích phân (PI) truyền thống cho hệ truyền động bám khi tính đến yếu tố tác động đột biến của tải quy về trục động cơ chấp hành. Khả năng đáp ứng tốt hơn của bộ điều khiển được xác định thông qua mô phỏng với bộ tham số của hệ điều khiển của pháo phòng không và được so sánh với bộ điều khiển PI truyền thống.

Từ khóa: Điều khiển mờ lai fuzzy logic, Bộ điều khiển PI, Hệ thống truyền động bám sát pháo phòng không

1. Đặt vấn đề

Những vấn đề chính khi áp dụng thuật toán điều khiển thông thường (PI, PD, PID) trong bộ điều khiển tốc độ có đối tượng điều khiển là động cơ một chiều (DC) là tác động của tính phi tuyến tính trong động cơ DC. Tính phi tuyến thể hiện qua các đặc tính của động cơ DC và các phần tử khác như độ bão hòa, ma sát của ổ trục, yếu tố khe hở của các bánh răng truyền động [1,2]....; ngoài ra, đối với hệ thống vũ khí phòng không còn chịu sự ảnh hưởng chéo nhau của 2 kênh (tầm, hướng) khi hoạt động đồng thời và tác động ngẫu nhiên của momen tải tại thời điểm khai hoả.

Với một hệ thống yêu cầu độ chính xác cao như hệ thống điều khiển pháo phòng không với phần tử chấp hành là DC, việc chính xác hoá mô hình của động cơ DC và các phân tử khuếch đại của hệ thống là rất khó khăn, bộ tham số thu được từ hệ thống thông qua nhận dạng có thể chỉ là giá trị gần đúng.

Lĩnh vực điều khiển mờ đã được có những tiến bộ nhanh chóng trong những năm gần đây. Điều khiển logic mờ (FLC) là một trong những phương pháp điều khiển logic mờ ứng dụng thành công của lý thuyết tập mờ do L.A Zadeh giới thiệu năm 1973 và được áp dụng (Mamdani 1974) trong việc ứng dụng điều khiển đối với các hệ thống thiếu hoặc không chính xác thông tin về tham số [4]. FLC đã phát triển như một giải pháp thay thế hoặc bổ sung cho các thuật toán điều khiển truyền thống đối với các hệ thống có tính phi tuyến tính phức tạp khác nhau, ngay cả khi không chắc chắn về cấu trúc và tham số. Không giống như điều khiển thông thường, thiết kế FLC không yêu cầu kiến thức chính xác về mô hình hệ thống như giá trị các điểm cực và điểm không của hàm truyền.

Bài báo này đề xuất xây dựng bộ điều khiển mờ lai Fuzzy PI cho hệ truyền động bám sát truyền động đối với pháo phòng không 57mm khi tính đến tác động đột biến thay đổi tải quy về trục động cơ DC là đối tượng điều khiển. Vấn đề này đặt ra khi pháo thực hiện khai hoả đồng thời vẫn bám sát theo mục tiêu trong cả hai mặt phẳng, tạo ra lực giật rất lớn vào bệ pháo, ảnh hưởng xấu đến chất lượng bám sát. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm sẽ được trình

^{*} Email: phananhtuan51@gmail.com

bày chi tiết nhằm minh chứng cho khả năng thích ứng của của bộ điều khiển mờ lai Fuzzy PI so với bộ điều khiển PI truyền thống với tham số cố định.

2. Hệ thống điều khiển truyền động pháo phòng không

2.1. Sơ đồ khối chức năng

Sơ đồ khối hệ thống điều khiển truyền động pháo phòng không thể hiện trên hình 1 [1].



Hình 1. Sơ đồ chức năng hệ thống điều khiển pháo phòng không

Thông số kỹ thuật trong hệ truyền động pháo phòng không 57mm [1]:

- Gia tốc góc cực đại:

+ Gia tốc góc lớn nhất theo kênh tầm: 4 (độ/s²)

+ Gia tốc góc lớn nhất theo kênh hướng: 5 $(\hat{d}\hat{o}/s^2)$

- Tốc độ bám ổn định:

+ Theo kênh tầm: $0 \div 15 (^{0}/s)$

+ Theo kênh hướng: $0 \div 24 \left(\frac{0}{s} \right)$

- Tốc độ bám lớn nhất:

+ Theo kênh tầm: $18(^{0}/s)$

+ Theo kênh hướng: $30(^{\circ}/s)$

- Phạm vi góc quay:

+ Theo kênh tầm: $0 \div 85^{\circ}$

+ Theo kênh hướng: 360°

- Trọng lượng ở vị trí chiến đấu: 4.800 (kg);

- Tốc độ bắn thực tế: 70 phát/phút;

- Khối lượng đạn: 2,82 kg (đạn UBR-281/281U);

- Sơ tốc đầu nòng: 1000 m/s

- Khả năng bám:

+ Mục tiêu có tốc độ lớn nhất: 300 (m/s)

+ Tham số đường bay mục tiêu lớn nhất: 750 (m)

Thành phần chính hệ truyền động pháo phòng không:

- Phần tử đo: Hệ thống Xenxin hai rãnh, gồm xenxin phát ДИ - 511 và xenxin thu

СИ-405;

- Khuếch đại điện tử: hai tầng khuếch đại KĐ1 và KĐ2, giống nhau cho cả tầm và hướng;

- Khuếch đại máy điện: \exists MV-12A3 (công suất 2kW, điện áp định mức 110V, dòng điện danh định 8,2A, điện trở cuộn dây phần ứng 0,177 Ω);

- Động cơ chấp hành: МИ-32Ta (công suất 0,76kW, điện áp kích từ 150V, tốc độ quay định mức 2300 v/p);

- Momen quán tính động cơ: $0,0132(KGs^2)$

- Hộp giảm tốc có tỷ số truyền: 1076:1 (tầm), 612:1 (hướng);

- Mạch phản hồi:

+ Phản hồi tốc độ: Máy phát tốc độ $C\Pi - 221$

+ Phản hồi gia tốc: Điện áp lấy trên cuộn bù của khuếch đại máy điện.

Hai mạch phản hồi này được cộng nhờ mạch vi phân RC và đưa vào tầng khuếch đại KĐ2. Sơ đồ khối chức năng hệ truyền động pháo phòng không thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ khối chức năng hệ thống điều khiển truyền động của pháo

2.2. Sơ đồ cấu trúc

Trong [2] đã phân tích tương đối chi tiết và xây dựng sơ đồ cấu trúc cho hệ truyền động của kênh tầm pháo phòng không như sau:

1704



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc hệ truyền động kênh tầm pháo phòng không

3. Thiết kế bộ điều khiển

3.1 Bộ điều khiển PID truyền thống

Phương pháp xác định các tham số K_P, K_I, K_D cho bộ điều khiển PID có thể là Ziegler – Nichols hoặc Chien – Hrones – Reswick.

Trong [2] đã tiến hành các bước thiết kế chi tiết cho bộ điều khiển đối với vòng tốc độ (đóng vai trò khối khuếch đại KĐ2 trong Hình 2), bộ điều khiển PI có hàm truyền như sau:

$$W_{KD2}(s) = \frac{JK_{cb_dong}}{2T_{emu}K_{cb_tocdo}} + \frac{JK_{cb_dong}}{s.8T_{emu}^2K_{cb_dong}}$$
(1)

Sai khi thay các giá trị tương ứng:

$$W_{KD2}(s) = 1,89 + \frac{158}{s}$$
(2)

Với giả định momen tải quy về trục động cơ không thay đổi, kết quả bám sát như sau: Với góc đặt tầm 30⁰ (Hình 4):



Hình 4. Kết quả bám sát góc với bộ điều khiển PI truyền thống Với tốc độ góc đặt tầm 10% (Hình 5):



Hình 5. Kết quả bám sát tốc độ góc với bộ điều khiển PI truyền thống

Trong quá trình bám sát mục tiêu và khai hoả, dưới tác động lực giật tác động lên bệ pháo, tốc độ góc của pháo sẽ bị thay đổi tương ứng (Hình 6).



Hình 6. Kết quả bám sát tốc độ góc khi pháo khai hoả với bộ điều khiển PI truyền thống

1706

3.2 Thiết kế bộ điều khiển Fuzzy logic

Nhằm khắc phục hiện tượng thay đổi tốc độ bám của pháo trong quá trình khai hoả, thực hiện thiết kế bộ điều khiển mờ (FLC) nhằm thích nghi các giá trị K_P, K_I đối với bộ điều khiển PI truyền thống trong mục 3.1 (Hình 7).



Hình 7. Cấu trúc bộ điều khiển logic mờ xác định K_P, K_I

Trong Matlab – Simulink, bộ điều khiển mờ được thiết kế như sau:

- Biến ngôn ngữ đầu vào (e, de) gồm 5 biến (Hình 8):
 - + Âm lớn (NL);
 - + Âm nhỏ (NS);
 - + Zero (ZE);
 - + Dương nhỏ (PS);
 - + Dương lớn (PL);

Khoảng thay đổi biến e là $-20 \div 20$, khoảng thay đổi biến de là $-100 \div 100$



Hình 8. Biến ngôn ngữ đầu vào (e, de)
- Biến ngôn ngữ đầu ra (K_P, K_I) gồm 7 biến (Hình 9):
 - + Rất nhỏ (VS);
 - + Nhỏ (S);
 - + Hơi nhỏ (MS);
 - + Trung bình (M);
 - + Hơi lớn (ML);
 - + Lớn (L);
 - + Rất lớn (VL).

Khoảng thay đổi biến K_P là 10÷50, khoảng thay đổi biến K_I là 10÷50.





Luật điều khiển được tham khảo trong [3] gồm có các luật sau:

R¹: IF (e is NL) AND (de is NL) THEN (kp is VL) (ki is M)
R²: IF (e is NL) AND (de is NS) THEN (kp is ML) (ki is MS)
R³: IF (e is NL) AND (de is ZE) THEN (kp is VS) (ki is S)
R⁴: IF (e is NL) AND (de is PS) THEN (kp is ML) (ki is MS)
R⁵: IF (e is NL) AND (de is PL) THEN (kp is VL) (ki is M)
R⁶: IF (e is NS) AND (de is NL) THEN (kp is VL) (ki is M)
R⁷: IF (e is NS) AND (de is NS) THEN (kp is ML) (ki is MS)



Bộ điều khiển FLC trong vòng điều khiển theo tốc độ để hiệu chỉnh các hệ số K_P, K_I có dạng như Hình 10.



Hình 10. Bộ điều khiển FLC xác định (K_P, K_I) đóng vai trò điều khiển tốc độ

3.3 Kết quả mô phỏng khi sử dụng FLC PI

Khi sử dụng bộ điều khiển FLC PI với các biến đầu đầu vào, đầu ra và các luật điều khiển như trong mục 3.2 thay cho bộ điều khiển PI truyền thống (mục 3.1), kết quả của việc bám sát theo tốc độ khi đồng thời khai hỏa của pháo như trên Hình 10.



Hình 11. Kết quả bám sát tốc độ góc khi pháo khai hoả với bộ điều khiển FLC PI

Các giá trị hệ số khuếch đại K_P, K_I được xác định từ bộ điều khiển FLC PI như trên Hình 12,13.



Hình 12. Giá trị hệ số khuếch đại K_P



Hình 13. Giá trị hệ số khuếch đại K_I

Từ việc so sánh chất lượng bám sát theo tốc độ của pháo trong quá trình khai hoả đối với bộ điều khiển PI truyền thống (Hình 6) với bộ điều khiển FLC PI (Hình 10), nhận thấy rằng, chất lượng điều khiển khi dùng FLC PI tốt hơn về các chỉ số như độ quá chỉnh, thời gian quá độ, điều này làm tăng hiệu quả chiến đấu của pháo, cụ thể như sau:

- Bộ điều khiển PI và FLC PI đều có tính chất ổn định;
- Độ quá chỉnh bộ điều khiển PI là 200%; bộ điều khiển FLC PI là 65%;
- Thời gian quá độ bộ điều khiển PI là 4,6s; bộ điều khiển FLC PI là 3s.

So sánh các hệ số K_P, K_I của bộ điều khiển FLC PI với các hệ số K_P, K_I cố định của bộ điều khiển PI truyền thống (công thức 2), nhận thấy rằng, các giá trị này khác rất nhiều và hệ thống có tính ổn định theo thời gian khai hỏa, điều này chứng tỏ khả năng thích nghi của bộ điều khiển FLC PI.

4. Kết luận

Căn cứ vào lý thuyết và mô phỏng trên Matlab Simulink thì có thể thấy rằng việc áp dụng bộ điều khiển FLC PI đối với hệ truyền động bám sát khi có đột biến dạng xung tác động lên tải là khả quan, tuy nhiên qua mô phỏng cũng thấy có một số nhược điểm khi thiết kế bộ điều khiển FLC PI:

 Mặc dù bộ điều khiển FLC PI đưa ra kết quả tốt hơn, việc chọn số lượng và dải thay đổi của các biến ngôn ngữ vào - ra là khá khó khăn, đặc biệt khi cần thoả mãn các chỉ số yêu cầu cao chất lượng hệ thống;

- Trong bài báo mới thực hiện thiết kế FLC PI, việc thiết kế FLC PD, PID hoặc PI+D trong nhiều tài liệu cho thấy chất lượng cao hơn (ví dụ, trong [5]), tuy nhiên, việc xây dựng luật điều khiển là rất phức tạp và cần có những kinh nghiệm thiết kế để đảm bảo chất lượng hệ thống.

Tài liệu tham khảo

- 1. Binh khí pháo phòng không 57mm (2010). Học viện Phòng không Không quân.
- Bùi Mạnh Cường (2016). Nghiên cứu, cải tiến hệ bám pháo phòng không 57mm trên cơ sở ứng dụng công nghệ tiên tiến. *Luận văn cao học*, Học viện KTQS.
- a. Umesh Kumar Bansal and Rakesh Narvey (2013). Speed Control of DC Motor Using Fuzzy PID Controller. *ISSN 2231-1297*. Vol. 3, No. 9, pp. 1209-1220.
- C.T. Johnson and R.D. Lorenz (1992). Experimental identification of friction and its compensation in precise, position controlled mechanism. *IEEE Trans. Ind, Applicant.* Vol.28, No.6.
- H.X.Li and S.K.Tso (2000). Quantitative design and analysis of fuzzy proportionalintegralderivative control a step towards autotuning. *International journal of system science*. Vol.31, No.5, pp.545-553.

Synthesis of the Fuzzy-PI hybrid fuzzy controller for the tracking transmission system when there are sudden changes in load

Abstract: This paper presents an approach to designing a hybrid control algorithm between a Fuzzy logic controller (FLC) and a traditional proportional-integral (PI) controller for a tracking drive system when taking into account the sudden impact of the load attributed to the executive motor shaft. The better response ability of the controller is determined through simulation with the parameter set of the anti-aircraft artillery control system and compared with the traditional PI controller.

Keywords: Fuzzy logic hybrid control, PI controller, Anti-aircraft artillery tracking drive system.

Sử dụng cảm biến Flex theo dõi đánh giá tình trạng bệnh Parkinson Vũ Quân^{1*}, Nguyễn Mạnh Cường¹, Trần Đức Tân²

¹Học viện kỹ thuật quân sự ²Đại học Phenikaa Email: quanvu42@lqdtu.edu.vn

Tóm tắt

Bệnh Parkinson là một bệnh thoái hóa thần kinh với các triệu chứng như run, cứng khớp và các vấn đề về thăng bằng và phối hợp. Việc phát hiện và theo dõi các dấu hiệu của bệnh có ý nghĩa rất lớn. Bằng cách kết hợp cảm biến flex và Arduino, chúng tôi đã thiết kế một hệ thống đơn giản và hiệu quả có khả năng ghi lại, phát hiện và đánh giá các dấu hiệu sớm của bệnh. Các linh kiện được sử dụng là: một Arduino Nano, hai cảm biến uốn cong và một chiếc găng tay có cảm biến gắn vào mỗi ngón tay để ghi lại các chuyển động và độ uốn. Bệnh nhân đeo găng tay và bất cứ khi nào phát hiện thấy rung động, cảm biến sẽ gửi tín hiệu đến Arduino. Tín hiệu này được chuyển thành góc uốn bằng cách thay đổi điện trở. Các tín hiệu rung được chuyển thành điện áp. Sau đó, điện áp được vẽ như một hàm của góc uốn của cảm biến. Một ngưỡng được xác định bằng cách sử dụng các cơn run đột ngột và nhanh chóng, từ đó có thể suy ra mức độ nghiêm trọng và giai đoạn của bệnh.

Từ khóa: Cảm biến Flex, Găng tay thông minh, Vi điều khiển, Bệnh Parkinson.

1. Mở đầu

Bệnh Parkinson là sự thoái hóa dần dần của hệ thần kinh dẫn đến các cử động không chủ ý và không thể kiểm soát được, chẳng hạn như run, cứng khớp và các vấn đề về thăng bằng và phối hợp. Đây là chứng rối loạn thoái hóa thần kinh phổ biến thứ hai, ảnh hưởng đến 2 - 3% số người trên 65 tuổi [1]. Các triệu chứng thường bắt đầu dần dần và trầm trọng hơn theo thời gian. Tác động của căn bệnh này có thể được giảm thiểu thông qua chẩn đoán sớm và theo dõi bệnh nhân liên tục. Tuy nhiên, việc phát hiện bệnh Parkinson ở giai đoạn đầu thường gặp nhiều thách thức [3].

Sự hiện diện của run ở bệnh nhân phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Các yếu tố đáng chú ý nhất là sự thay đổi về vận động và sức khỏe tinh thần cũng như thể chất của bệnh nhân. Run rẩy có thể biến mất ở bệnh nhân ngay cả khi có chấn động mạnh. Vì vậy, điều quan trọng là phải phát hiện dấu hiệu của run trong trạng thái run ổn định.

Hệ thống được đề xuất giúp chẩn đoán sớm bằng cách phát hiện tình trạng run tay bất thường và cho phép theo dõi liên tục. Thiết bị không xâm lấn và mang lại sự thoải mái cho bệnh nhân. Nó bao gồm một chiếc găng tay có hai cảm biến uốn cố định trên hai ngón tay, được sử dụng như một phương pháp không xâm lấn để phát hiện các chuyển động bất thường liên quan đến rối loạn vận động và ghi lại các phát hiện [4]. Sự rung động ở các ngón tay [5] gây ra những thay đổi về hình dạng, độ cong của cảm biến, dẫn đến thay đổi điện trở. Những thay đổi này được ghi lại và chuyển đổi thành điện áp [6]. Sau đó, điện áp được gửi đến đầu vào Arduino và được vẽ theo các góc. Các giá trị thu được từ găng tay có thể được sử dụng cho cả mục đích phát hiện và cho bệnh nhân đang phục hồi chức năng [9], [10].

^{*} Email: quanvu42@lqdtu.edu.vn

Khi thiết kế găng tay, điều quan trọng cần lưu ý là chúng phải vừa tiện lợi về mặt sử dụng vừa có khả năng kiểm soát mục đích thực tế của chúng [2], [10]. Ban đầu, ở giai đoạn đầu, hệ thống được đề xuất sẽ được mô phỏng bằng Công cụ mô phỏng Proteus. Có hai mô-đun chính trong hệ thống này: mô-đun phần cứng và mô-đun phần mềm. Phần cứng bao gồm arduino nano, cảm biến flex, mô-đun bộ khuếch đại, gia tốc kế và wi-fi. Cả phần mềm và phần cứng đều được tích hợp bằng ngôn ngữ C.

2. Phương pháp nghiên cứu

A. Thiết kế găng tay

Nghiên cứu sử dụng găng tay làm từ sợi tổng hợp. Găng tay chỉ sử dụng hai ngón: ngón trỏ và ngón giữa. cảm biến flex được đặt ở bề mặt ngoài của găng tay, phía trên hai ngón tay và được khâu vào đó để đảm bảo kết quả đo chính xác [11], [13]. Mạch khuếch đại và Arduino được cố định ở lưng bàn tay. Bên dưới là mạch khuếch đại, bên trên là Arduino. Tín hiệu đầu ra của Arduino được lưu trữ trong thẻ micro SD và truyền đến cổng máy tính thông qua cáp USB. Thiết kế như vậy để đảm bảo sự thoải mái, tiện dụng trong quá trình ghi dữ liệu đối với người bệnh. Mỗi khi ngón tay rung hoặc di chuyển sẽ dẫn đến sự thay đổi điện trở của cảm biến.

Cấu trúc của găng tay được minh hoạ trong hình 1. Các thành phần sẽ được kết nối như sau. Một đầu của cảm biến được nối đất, trong khi đầu còn lại được kết nối với nguồn 3,3V thông qua điện trở kéo lên 10K như trong hình 1. Điện áp thấp trên cảm biến là đầu vào của mạch khuếch đại. Đầu ra của mạch khuếch đại được gửi tới Arduino. Sau khi được xử lý trên Arduino, tín hiệu sẽ được lưu vào thẻ micro SD và hiển thị trên máy tính thông qua giao diện Arduino IDE.



Hình 1. Mô hình thiết kế găng tay

Thiết kế này cho phép ghi lại mọi thay đổi về điện trở để đáp ứng với những thay đổi về độ cong hoặc hình dạng của cảm biến [6]. Sự thay đổi điện trở dẫn đến sự thay đổi điện áp rơi trên cảm biến. Sự thay đổi điện áp này sau đó được chuyển qua mạch khuếch đại, đóng vai trò là mạch thu và các giá trị điện áp đầu ra được gửi đến chân Arduino 5 và 7 [14]. Do đó, bất kỳ chuyển động nào trong ngón tay của chiếc găng tay đều dẫn đến sự thay đổi điện áp được truyền đến Arduino.

Cảm biến Flex

Cảm biến Flex dựa trên các phần tử điện trở carbon và là loại cảm biến được sử dụng để đo độ uốn hoặc độ lệch. Khi cảm biến bị biến dạng hoặc bị cong, điện trở của vật liệu carbon sẽ thay đổi và giá trị này có thể được đọc [7] - [10], [11], [12]. Điện trở trong thiết bị này thay đổi tuyến tính theo góc uốn. Do đó, cảm biến flex có thể được sử dụng làm bộ tạo tín hiệu đầu vào cho các thiết bị. Điện áp cần thiết để phát hiện các giá trị bình thường nằm trong phạm vi dòng điện một chiều 2,3 - 5V. Sự thay đổi điện trở quan sát được lớn hơn khi góc uốn lớn hơn [13].

Trên thực tế, cảm biến Flex thường cho ra các kết quả khác nhau nên cần phải hiệu chỉnh trước khi sử dụng. Để xác định mối quan hệ giữa độ cong của cảm biến và sự thay đổi giá trị điện trở, một thử nghiệm đã được thiết lập. Các cảm biến kế tiếp có giá trị điện trở phẳng là 12,5 k Ω và 11,8 k Ω . Giá trị điện trở là 63,51k Ω và 86,8k Ω khi uốn cong 180°. Khi cảm biến Flex bị uốn cong, điện trở tăng tuyến tính, dẫn đến điện áp đầu ra thay đổi tương ứng. Bằng cách mô tả mối quan hệ này, chúng ta có thể sử dụng cảm biến linh hoạt để xác định chuyển động của ngón tay của một cá nhân trong các chuyển động tay khác nhau. Hai cảm biến Flex được sử dụng trong nghiên cứu này, mỗi cảm biến có giá trị điện trở tuyến tính nhưng có giá trị điện trở phẳng khác nhau.

Cảm biến gia tốc

Cảm biến gia tốc được sử dụng trong nghiên cứu là kiểu cảm biến áp điện. Điều này là do gia tốc tỷ lệ thuận với lực. Các điện tích có cực tính trái dấu được tập hợp ở các phía đối diện của tinh thể khi một số loại tinh thể nhất định co lại. Hiệu ứng này được gọi là hiệu ứng áp điện. Điện tích được tập hợp trên tinh thể trong một gia tốc kế áp điện. Tổng hợp các điện tích cuối cùng được kết xuất và khuếch đại thành điện áp hoặc dòng điện đầu ra. Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng cảm biến LSM6DSL được tích hợp sẵn trên bo mạch arduino nano.

LSM6DSL là một hệ thống tích hợp gồm có: gia tốc kế, con quay hồi chuyển 3D. Chúng hoạt động ở dòng điện 0,65mA ở chế độ hiệu suất cao và cho phép các tính năng tiêu thụ điện năng thấp luôn bật. LSM6DSL hỗ trợ các yêu cầu hệ điều hành chính, cung cấp các cảm biến thực, ảo với 4 Kbyte bộ nhớ để phân khối dữ liệu động.

Mạch khuếch đại tín hiệu

Mạch chia điện áp được sử dụng để chuyển đổi số đo góc thành điện áp. Sự uốn cong của cảm biến flex gây ra sự thay đổi điện trở, dẫn đến sự thay đổi điện áp đầu ra tương ứng. Bo mạch Arduino cung cấp điện áp nguồn 3,3V thông qua điện trở kéo (R_M), sau đó được kết nối với điện trở danh định (R_{frex}) của cảm biến flex. Một đầu của cảm biến flex được nối đất và điện áp đầu ra (V_{out}) được đo trên nó. Chúng ta có thể xác định mối quan hệ giữa điện áp trên cảm biến flex và điện áp đầu ra bằng cách sử dụng công thức phân chia điện áp [14]. Điện áp đầu ra đo được trên cảm biến flex được xác định theo công thức sau (1).

$$V_{in} = \frac{R_{flex}}{R_M + R_{flex}} \times V_{cc} \tag{1}$$

Trong Hình 2, khi cảm biến flex phẳng, điện áp đầu ra V_{in} là 1,75V khi V_{cc} = 3,3V. Để xác định mức điện áp đầu ra, giá trị danh nghĩa của cảm biến có thể được tính theo công thức (1). Từ đó, có thể thấy rằng điện áp đầu ra càng lớn thì cảm biến flex càng bị uốn cong.

Để đảm bảo tín hiệu đầu vào ổn định cho Arduino, chúng tôi sử dụng một mô-đun bổ sung có chức năng như bộ khuếch đại và bộ đệm trước khi truyền tín hiệu đến chân Arduino. Điện áp đầu ra sẽ được chuyển đổi thành tín hiệu số bằng cách gửi một giá trị đến chân analog của Arduino. Trong Hình 2, mối quan hệ giữa đầu vào và đầu ra sẽ được tính bằng công thức sau:

$$V_{out} = (1 + \frac{R_1}{R_2 + R_3}) \times V_{in}$$
(2)



Hình 2. Mạch khuếch đại tín hiệu

Ngoài ra, chúng tôi cũng đã thiết kế một mô-đun để lưu trữ dữ liệu trên thẻ micro SD. Dữ liệu này sẽ thuận tiện cho việc phân tích và đánh giá. Găng tay được thiết kế với các bộ phận được mô tả và sẽ hoạt động theo sơ đồ trong Hình 3.



Hình 3. Lưu đồ thu nhận và lưu dữ liệu

B. Quy trình thu nhận dữ liệu

Chuyển động của bàn tay là một chuyển động phức tạp bao gồm: cổ tay, bàn tay và các ngón tay. Các đại lượng khác nhau mô tả chuyển động này, như được minh họa trong Hình 4.

Trong hình 4, α biểu thị góc quay của bàn tay và cánh tay, β là góc chuyển động của cổ tay so với cẳng tay, và θ_j^i là góc chuyển động của ngón tay so với bàn tay trong đó i có ký hiệu từ 1 đến 5 tương ứng với các ngón tay, j là góc của các đốt ngón tay tương ứng từ 1 đến 3.

Bước đầu tiên trong nghiên cứu này, chúng tôi chỉ tập trung vào chuyển động của ngón tay so với bàn tay (θ_3^i). Chuyển động này được coi là sự thay đổi về góc, như được mô tả trong Hình 4c.

Quá trình thu thập dữ liệu như sau: Đối tượng thử nghiệm đeo găng tay và thực hiện các chuyển động bằng bàn tay và từng ngón tay của mình. Kết quả đầu ra được hiểu là những thay đổi về điện áp và được ghi lại. Mỗi cảm biến có một giá trị ban đầu khác nhau dựa trên độ cứng của vật liệu và góc lệch, do đó không phải tất cả các giá trị điện áp ban đầu đều giống nhau.



Hình 4. (a) Góc chuyển động α của bàn tay; (b) góc chuyển động β của bàn tay so với cẳng tay; (c) góc θ_3^i chuyển động của ngón tay so với bàn tay, với i từ 1,2.

Vị trí ban đầu được xác định như sau: bàn tay đeo găng được đặt trên một bề mặt phẳng, với các ngón tay duỗi thẳng và tạo với bàn tay một góc θ_3^i (Hình 5). Để quan sát phản ứng của găng tay, thực hiện các hành động sau: uốn cong và siết chặt dần các ngón tay đến 180°, sau đó duỗi thẳng các ngón tay về vị trí ban đầu. Điện áp đầu ra phải nằm trong khoảng 2,2 - 3,3V. Bàn tay phải được giữ cố định với các ngón tay duỗi thẳng, uốn cong dần và siết chặt, như trong Hình 4b. Những chuyển động này sẽ xác định giới hạn đầu ra của giá trị tín hiệu tương ứng. Tín hiệu đầu ra sau đó được điều chỉnh để nằm trong phạm vi mong muốn. Nhiều phép đo lặp lại được tiến hành để phân tích độ nhạy của cảm biến flex [15]. Thu thập dữ liệu bằng các chuyển động sau.

i: Thu thập dữ liệu với góc nhỏ $\theta_3^i < 45^\circ$: giữ vững bàn tay, di chuyển các ngón tay với biên độ và tần số khác nhau.

ii: Thu thập dữ liệu với góc lớn $(45^{\circ} < \theta_3^i < 90^{\circ})$ giữ vững bàn tay, rung các ngón tay với biên độ và tần số nhỏ.

Biểu đồ điện áp được ghi từ ngón trỏ và ngón giữa là khoảng 2,25V ở trạng thái thiết lập ban đầu $\theta_3^i = 41^\circ$. Trong thí nghiệm này, các góc (θ_3^i) chủ yếu được đo từ 0° đến 90°. Biểu đồ minh họa sự thay đổi điện áp khi cảm biến bị uốn cong, như trong Hình 7. Để kiểm tra độ nhạy của thiết bị, tiến hành ghi lại sự thay đổi điện áp khi ngón tay rung ở các tốc độ khác nhau, từ thấp đến cao.

Hình 5. Tín hiệu thu được từ cảm biến Flex và gia tốc trong trạng thái ban đầu.



Hình 6. Điện áp thu được từ hai ngón tay với độ cong khác nhau.

3. Kết quả và bàn luận

tay sẽ đặt song song với mặt bàn.

Sự thay đổi điện áp theo thời gian được mô tả trong biểu đồ bên dưới (Hình 7). Khi ngón tay được giữ ở một vị trí cố định, sự thay đổi điện áp là không đáng kể. Ví dụ, như thể hiện trong Hình 6 với θ_3^1 : $20^\circ, \theta_3^2$: 90° điện áp vẫn tương đối ổn định. Tuy nhiên, khi co ngón tay có một đỉnh trên biểu đồ, với điện áp đạt giá trị cực đại là 3,3V.



Hình 7. Mối quan hệ giữa điện áp và góc của ngón tay (θ_3^i)

Bước thứ hai, ghi nhận tín hiệu của rung động bàn tay với $\alpha \neq 0$. Trong tư thế này bàn

Trong Hình 7, Chuỗi 1 và Chuỗi 2 lần lượt thể hiện dữ liệu được thu thập từ ngón trỏ và ngón giữa. Những thay đổi nhỏ, không đáng kể trong biểu đồ cho thấy những thay đổi nhỏ trong chuyển động của ngón tay. Điện áp được đo dựa trên các góc từ 0° (bề mặt phẳng) đến khoảng 120° (không bao gồm vị trí được siết chặt hoàn toàn đầu tiên). Các góc tăng dần từ 0° đến 90°. Việc này được thực hiện để kiểm tra độ nhạy, độ chính xác và thực hiện hiệu chuẩn nhằm đánh giá độ ổn định của thiết bị. Độ ổn định của thiết bị cho phép chúng tôi phát hiện những rung động tinh tế trên ngón tay. Các biểu đồ dưới đây minh họa mối quan hệ giữa điện áp và góc uốn.



Hình 8. Điện áp và độ cong của cảm biến Flex khi $\theta_3^i < 45^\circ$.

Trong hình 8 thể hiện các biến đổi điện áp khi góc uốn lần lượt nhỏ hơn 45°.

Sử dụng công thức, chúng ta sẽ tính giá trị điện trở R3 để hiệu chuẩn với điện áp đầu vào Arduino. Có thể thấy từ biểu đồ trên rằng điện áp thay đổi tuyến tính theo góc. Điều này chứng tỏ rằng khi nắm tay lại, điện áp sẽ thay đổi đáng kể theo từng bước nhỏ.



Hình 9. Sự biến đổi của tín hiệu gia tốc khi có sự rung động nhỏ $\alpha \neq 0$

Như vậy là với thiết kế như trên, găng tay có thể được sử dụng đo các rung động từ người mắc bệnh Parkinson. Ngoài ra, thiết bị còn có khả năng phát hiện và đánh giá giai đoạn đầu của bệnh Parkinson.

4. Kết luận

Bệnh Parkinson là một tình trạng của hệ thần kinh dẫn đến các cử động không chủ ý hoặc không kiểm soát được, bao gồm run, cứng khớp và các vấn đề về thăng bằng và phối hợp. Thông thường, các triệu chứng bắt đầu nhẹ và trầm trọng hơn theo thời gian. Khi tình trạng tiến triển, thâm chí người bênh có thể gặp khó khăn khi nói và di chuyển. Nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào những bệnh nhân Parkinson hiện đang bị ảnh hưởng bởi căn bệnh này hoặc gặp phải các triệu chứng ban đầu. Mục tiêu là phát triển một phương pháp xét nghiêm và chẩn đoán đáng tin cậy cho phép chúng ta phân loại các dấu hiệu và triệu chứng của bệnh. Nghiên cứu cũng nhằm mục đích làm cho việc giám sát tự động và đánh giá mức độ nghiêm trọng của bệnh nhân trở nên dễ dàng hơn. Cảm biến flex và bộ điều khiến Arduino Nano được tích hợp thành một găng tay điện tử. Mỗi thành phần hoạt động tốt và cung cấp dữ liệu chính xác. Hệ thống này có ưu điểm là giá cả phải chăng, các bộ phận tối thiểu với kích thước nhỏ, phản hồi nhanh, độ tin cậy và dễ dàng kiểm soát. Có một dao động nhỏ về góc trong quá trình thử nghiệm độ lặp lại, nhưng mục tiêu của dự án đã đạt được. Điều này được thể hiện qua sự biến đổi tuyến tính của điên áp và điên trở khi phát hiên rung đông bằng 2 cảm biến flex. Mô hình này có thể được sử dung để phát hiên sớm các dấu hiệu cũng như theo dõi, đánh giá tình trang bênh Parkinson. Viêc tích hợp thành công cảm biến flex vào thiết bị đeo đã mang lai giải pháp tiết kiêm chi phí, nhỏ gon và đáng tin cây. Trong tương lai, chúng tôi có xu hướng phát triển các thuật toán nhúng trên thiết bị đeo [16]-[21] được tích hợp với bộ vi điều khiển hiệu suất hạn chế để phân tích các biến thể phức tạp của bênh nhân Parkinson trong các tư thế và hành đông phức tạp khác nhau trong cuộc sống hàng ngày.

Tài liệu tham khảo

- 1. B I. Y. Abdi, S. S. Ghanem, and O. M. El-Agnaf, "Immune-related biomarkers for Parkinson's disease," Neurobiol Dis, (2022) vol. 170, p. 105771.
- 2. HoudeDai ;Pengyue Zhang and Tim C. Lueth; Quantitative Assessment of Parkinsonian Tremor Based on an Inertial Measurement Unit; Published: 29 September 2015.
- S. Hawi, J. Alhozami, R. AlQahtani, D. AlSafran, M. Alqarni, and L. el Sahmarany, "Automatic Parkinson's disease detection based on the combination of long-term acoustic features and Melfrequency cepstral coefficients (MFCC)," Biomed Signal Process Control, (2022) vol. 78, p. 104013.
- K. T. Lee, P. S. Chee, E. H. Lim, and C. C. Lim, "Artificial intelligence (AI)-driven smart glove for object recognition application," Mater Today Proc, (2022) vol. 64, pp. 1563– 1568.
- S. I. Lee, J.-F. Daneault, L. Weydert, and P. Bonato, "A novel flexible wearable sensor for estimating joint-angles," in 2016 IEEE 13th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, (2016) pp. 377–382.
- 6. G. Saggio and G. Orengo, "Flex sensor characterization against shape and curvature changes," Sens Actuators A Phys, (2018) vol. 273, pp. 221–231.
- G. Saggio, "Mechanical model of flex sensors used to sense finger movements," Sens Actuators A Phys, (2012) vol. 185, pp. 53–58.

- S. Huang et al., "Development and evaluation of a novel flex sensor-based glenohumeral subluxation degree assessment for wearable shoulder sling," Sens Actuators A Phys, (2022) vol. 337, p. 113405
- Tiboni, M.; Amici, C. Soft Gloves: A Review on Recent Developments in Actuation, Sensing, Control and Applications. Actuators 2022, 11, 232. https://doi.org/ 10.3390/act11080232.
- 11. P. Bonato, "Wearable Sensors and Systems," IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, (2010) vol. 29, no. 3, pp. 25–36.
- K. Elgeneidy, N. Lohse, and M. Jackson, "Data-Driven Bending Angle Prediction of Soft Pneumatic Actuators with Embedded Flex Sensors," IFAC-PapersOnLine, (2016) vol. 49, no. 21, pp. 513–520
- G. Saggio, "A novel array of flex sensors for a goniometric glove," Sens Actuators A Phys, (2014) vol. 205, pp. 119–125.
- F. Salman, Y. Cui, Z. Imran, F. Liu, L. Wang, and W. Wu, "A Wireless-controlled 3D printed Robotic Hand Motion System with Flex Force Sensors," Sens Actuators A Phys, (2020) vol. 309, p. 112004
- M. C. Fennema, R. A. Bloomfield, B. A. Lanting, T. B. Birmingham, and M. G. Teeter, "Repeatability of measuring knee flexion angles with wearable inertial sensors, (2019)" Knee, vol. 26, no. 1, pp. 97–105.
- N. Tran Thi Hong, G. L. Nguyen, N. Quang Huy, D. Viet Manh, D.-N. Tran, and D.-T. Tran, "A low-cost real-time IoT human activity recognition system based on wearable sensor and the supervised learning algorithms," Measurement, vol. 218, p. 113231, 2023.
- T.-H. Dao, D.-N. Tran, Q.-T. Hoang, H.-D. Vu, D. T. Huy, and D.-T. Tran, "Developing Real-time Automatic Step Detection On A Low-Cost, Performance-Constrained Microcontroller," in 2023 IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP), 2023, pp. 150–154.
- 18. T. H. Dao, H. T. H. Yen, V. N. Hoang, D. T. Tran, and D. N. Tran, "Human Activity Recognition System For Moderate Performance Microcontroller Using Accelerometer Data And Random Forest Algorithm," EAI Endorsed Trans. Ind. Networks Intell. Syst., vol. 9, no. 4, pp. 1–18, 2022, doi: 10.4108/eetinis.v9i4.2571S.-S. Oak and P. Aroul, "How to design peripheral oxygen saturation (SpO2) and optical heart rate monitoring (OHRM) systems using the AFE4403," Texas Instruments, 2015.
- N. T. Thu, T.-H. Dao, B. B. Quoc, D.-N. Tran, P. Van Thanh, and D.-T. Tran, "Real-time wearable-device based activity recognition using machine learning methods," Int. J. Comput. Digit. Syst., vol. 12, no. 1, pp. 321–333, 2022.
- 20. T.-H. Dao, H.-Y. Hoang, V.-N. Hoang, D.-T. Tran, and D.-N. Tran, "Human activity recognition system for moderate performance microcontroller using accelerometer data

and random forest algorithm," EAI Endorsed Trans. Ind. Networks Intell. Syst., vol. 9, no. 4, pp. 1–18, 2022.

 P. P. Banik, S. Hossain, T.-H. Kwon, H. Kim, and K.-D. Kim, "Development of a Wearable Reflection-Type Pulse Oximeter System to Acquire Clean PPG Signals and Measure Pulse Rate and SpO2 with and without Finger Motion," Electronics (Basel), vol. 9, no. 11, 2020.

Use Flex sensors to monitor and evaluate Parkinson's disease status

Abstract: Parkinson's disease is a neurodegenerative disease with symptoms such as tremors, stiffness, and problems with balance and coordination. Detecting and monitoring signs of disease is of great significance. By combining flex sensors and Arduino, we have designed a simple and effective system capable of recording, detecting and evaluating early signs of disease. The components used are: an Arduino Nano, two flex sensors and a glove with a sensor attached to each finger to record movements and flexion. The patient wears gloves and whenever a vibration is detected, the sensor sends a signal to the Arduino. This signal is converted into a bending angle by varying the resistance. The vibration signals are converted into voltage. The voltage is then plotted as a function of the sensor's bending angle. A threshold is determined using sudden and rapid tremors, from which the severity and stage of the disease can be inferred.

Keywords: Flex sensor, Smart gloves, Microcontroller, Parkinson's disease.



