

BỘ QUỐC PHÒNG
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

ĐẶNG QUANG HIỆU

**NGHIÊN CỨU, XÂY DỰNG GIẢI PHÁP NÂNG CAO
CHẤT LƯỢNG XỬ LÝ, HỢP NHẤT QUỸ ĐẠO TRONG
HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG HÓA CHỈ HUY**

Chuyên ngành: **Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa**
Mã số: **9.52.02.16**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – NĂM 2022

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG**

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS, TS Lê Anh Dũng

2. TS Nguyễn Phùng Bảo

Phản biện 1: PGS.TS Tạ Minh Đức

Phản biện 2: PGS.TS Nguyễn Thu Phong

Phản biện 3: PGS.TS Bùi Xuân Khoa

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo quyết định số **248/QĐ-HV**, ngày 20 tháng 01 năm 2022 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật Quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự vào hồi.....giờ.... ngày.....tháng.....năm 2022.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

MỞ ĐẦU

1. Động lực nghiên cứu:

Các hệ thống “Tự động thu nhận xử lý thông tin và điều khiển chức năng quân sự (АСПОУ-ВН – theo thuật ngữ Nga)” hay “Chỉ huy, Điều khiển, Thông tin, Máy tính, Tình báo, Giám sát, Trinh sát (C⁴ISR - theo thuật ngữ tiếng Anh)” đều là một thể thống nhất gồm các tập (hệ) con quân sự: phương tiện trinh sát, giám sát, thu thập tình báo, xử lý thông tin, nhận dạng và đánh giá, ra các quyết định chỉ huy, chỉ thị mục tiêu và điều khiển các hệ thống vũ khí hỏa lực. Thời điểm hiện nay, mô hình hoàn chỉnh có dạng như C4ISR hay АСПОУ-ВН đang là mục tiêu trong định hướng hiện đại hóa quân đội nói riêng và lực lượng vũ trang nói chung. Với quân đội ta, việc xây dựng các hệ thống C⁴ISR như vậy tại Sở chỉ huy (SCH) các Quân, Binh chủng cũng không là ngoại lệ.

Trung tâm xử lý (TTXL) trong các SCH tự động hóa cần thực hiện các nhóm chức năng cơ bản: nhóm *nhiệm vụ Xử lý thông tin*; nhóm nhiệm vụ Chỉ huy tác chiến; nhóm nhiệm vụ Tính toán chiến dịch - chiến thuật và nhóm nhiệm vụ Đảm bảo công nghệ của SCH. Chức năng “tổng hợp, hợp nhất thông tin từ nhiều nguồn” là bài toán không thể thiếu, là yêu cầu bắt buộc phải thực hiện trong TTXL, từ quy mô cấp tổ hợp vũ khí khí tài đến SCH cấp cao. Quá trình thu thập, xử lý thông tin tại TTXL (còn gọi là xử lý cấp 3 – XLC3) [89] gồm: hợp nhất quỹ đạo thu được từ nhiều nguồn và lọc bám quỹ đạo đã hợp nhất; hình thành nguồn thông tin chính thức, chân thực tạo ra bức tranh tình huống không gian toàn cảnh và cung cấp đến nơi dùng tin. Như vậy, bài toán XLC3 luôn có tính cấp thiết và thực tiễn trong tác chiến hiện đại, nó phụ thuộc nhiều vào mô hình cấu trúc hệ thống và phương thức xử lý.

Tổng hợp các công trình nghiên cứu liên quan cho thấy: chất lượng xử lý tổng hợp, hợp nhất thông tin, dữ liệu từ mạng các đầu đo ứng dụng cho chỉ huy và điều khiển đang là bài toán chưa có lời giải

hệ thống trọn vẹn. Ở Việt Nam, nội dung trên được nhiều cán bộ nghiên cứu quan tâm và đã có những ứng dụng cụ thể [2÷9]. Tuy nhiên, các nội dung nghiên cứu này chưa thực sự giải quyết hết cả về lý thuyết cũng như các ứng dụng để có thể áp dụng hiệu quả, phù hợp với chiến lược và điều kiện tác chiến ở Việt Nam. Việc tìm kiếm các giải pháp nâng cao chất lượng xử lý “tổng hợp, hợp nhất dữ liệu” cho nhóm chức năng “Nhiệm vụ xử lý thông tin” tại TTXL là vấn đề luôn mang tính thời sự, cấp thiết trong lĩnh vực kỹ thuật điều khiển và tự động hóa.

Đề tài: ***“Nghiên cứu, xây dựng giải pháp nâng cao chất lượng xử lý, hợp nhất quỹ đạo trong hệ thống tự động hóa chỉ huy”*** với mục tiêu: tìm kiếm, ứng dụng các công cụ lý thuyết khai thác dữ liệu (Data Mining) và phân lớp dữ liệu (Data Clustering) để xem xét, kết hợp với thuật toán Bayes giải bài toán xử lý quỹ đạo (XLQĐ) các đối tượng với mô hình hệ thống TTXL nhiều nguồn vào, có cấu trúc và phương thức xử lý phân tán phù hợp thực tế Việt Nam theo yêu cầu “nâng cao chất lượng xử lý, hợp nhất quỹ đạo”.

2. Các đóng góp của luận án:

1. Xây dựng mô hình cấu trúc tổng quát quá trình xử lý quỹ đạo tại trung tâm xử lý phù hợp với điều kiện thực tiễn Việt Nam.

2. Ứng dụng công cụ phân lớp trừ (SCM) để xác định chính xác số lượng quỹ đạo chân thực trong vùng phát hiện, quản lý của hệ thống.

3. Ứng dụng công cụ phân lớp trung bình mờ (FMC) thực hiện liên kết dữ liệu quỹ đạo; lọc, bám và phát triển quỹ đạo trong hệ thống.

3. Bố cục luận án:

Luận án được tổ chức như sau: Mở đầu, 3 chương nội dung, Kết luận và hướng nghiên cứu, Danh mục các công trình nghiên cứu, Tài liệu tham khảo và Phụ lục.

Chương 1

TỔNG QUÁT VỀ BÀI TOÁN TỔNG HỢP, HỢP NHẤT DỮ LIỆU TỪ NHIỀU NGUỒN

1.1 Tóm tắt về các mô hình hệ thống và quá trình xử lý

Theo [16÷18, 20, 29], phân loại hệ thống ra đa được thực hiện với nhiều tiêu chí, yêu cầu khác nhau: tiêu chí về phân chia thời gian hoạt động của phần tử đo; tiêu chí bố trí địa lý; tiêu chí về phân chia chức năng các công đoạn xử lý. Theo quá trình xử lý thông tin ra đa, có thể phân loại: hệ thống liên kết cao tần, hệ thống liên kết thị tần, không liên kết, hệ thống độc lập. Bên cạnh đó, còn có cách tiếp cận phân loại theo phương thức tổ chức xử lý và phụ thuộc vào kiến trúc của hệ: xử lý tập trung, xử lý phân cấp và xử lý phân tán.

Các hệ thống đa đầu đo ở Việt Nam có một số đặc điểm: các đầu đo một vị trí, công đoạn xử lý dữ liệu theo mô hình hệ không liên kết hoặc độc lập; Thông tin đầu ra là tập quỹ đạo chân thực của các đối tượng bị phát hiện, lọc bám trong vùng quan trắc; Quá trình tổng hợp, hợp nhất quỹ đạo các đối tượng trong hệ thống gồm các công đoạn cơ bản và được thực hiện theo phương thức xử lý phân cấp.

1.2 Xử lý thông tin, dữ liệu theo cách tiếp cận xử lý quỹ đạo

1.2.1 Đặt vấn đề

Lý thuyết kinh điển về xử lý tín tức ra đa phân toàn bộ quá trình xử lý thành bốn công đoạn từ O_0 đến O_3 . Trong đó, O_0 và O_1 giải quyết các bài toán xử lý tín hiệu (XLTH). Công đoạn xử lý O_2 nhằm phát hiện, ước lượng tham số và lọc, bám quỹ đạo. Công đoạn O_3 là tổng hợp, hợp nhất thông tin quỹ đạo từ nhiều nguồn. Thông tin đầu ra của O_2 và O_3 đều là tập các quỹ đạo và nội dung quan trọng của O_3 cũng lại là lọc, bám các quỹ đạo đã hợp nhất.

Có thể xây dựng cách tiếp cận mới về bài toán xử lý, gồm: O_0 , O_1 gắn kết chặt chẽ với các đầu đo, có thể tổng hợp trong khái niệm là xử lý tín hiệu (XLTH); đầu ra của công đoạn O_2 và O_3 đều là thông tin quỹ đạo, có thể tổng hợp trong một khái niệm về xử lý quỹ

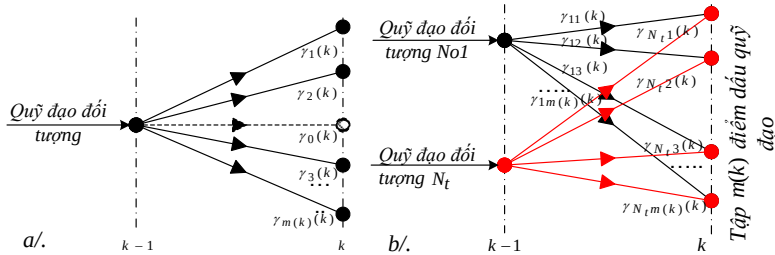
đạo (XLQĐ). Quá trình XLQĐ tại TTXL thực chất chỉ có hai nội dung liên quan chặt chẽ với nhau: liên kết dữ liệu quỹ đạo và lọc bám, phát triển quỹ đạo.

1.2.2 Tổng quan về tổng hợp, liên kết quỹ đạo trong bài toán XLQĐ

Nhiều công trình nghiên cứu đã công bố về XLQĐ nói chung và liên kết điểm đầu với quỹ đạo nói riêng [16, 17, 20, 29, 92], điển hình là nhóm các thuật toán Bayes và không Bayes. Đại diện cho nhóm không Bayes là các thuật toán: lân cận gần nhất – NN, lân cận gần nhất toàn cục – GNN và đa giả thuyết MHT. Nhóm thuật toán Bayes cận tối ưu có “Tổng hợp, liên kết dữ liệu theo xác suất - PDA” và “Tổng hợp, liên kết dữ liệu theo xác suất đồng thời - JPDA”.

1.2.3 Thuật toán Bayes cận tối ưu liên kết dữ liệu theo xác suất

Cách tiếp cận kinh điển, các thuật toán PDA và JPDA sử dụng phương pháp tính xác suất các giả thiết liên kết điểm đầu với quỹ đạo. Để giảm dung lượng tính toán, tại chu kỳ quan sát hiện thời, người ta sử dụng và thiết lập vùng không gian xác định xung quanh điểm cuối của quỹ đạo – vùng cửa sóng liên kết.



Hình 1.6: Mô tả việc tổng hợp hai thuật toán PDA và JPDA

Thuật toán JPDA xử lý với tình huống không gian có nhiều quỹ đạo lân cận nhau và các giả thiết cần tính toán cả các chu kỳ cập nhật trước, do vậy dung lượng tính toán tăng rất nhanh khi mật độ quỹ đạo lớn trong vùng cửa sóng.

Các thuật toán không Bayes và Bayes (tối ưu và cận tối ưu) về tổng hợp, liên kết quỹ đạo cùng với những biến thể vẫn là công cụ

quan trọng trong giải quyết bài toán XLQĐ. Tuy nhiên, có thể đưa ra một số điểm chưa được hoàn thiện như sau:

- *Thứ nhất:* Các chu kỳ nhịp k cung cấp thông tin từ các nguồn là khác nhau tại TTXL. Các thuật toán kinh điển đều sử dụng giá trị k trong tính toán ước lượng, nên cần thống nhất lựa chọn k trong đồng bộ xử lý.

- *Thứ hai:* Các thuật toán Bayes và không Bayes đều giả định biết trước số lượng quỹ đạo các đối tượng được lọc bám $N_t(k)$ trong vùng quản lý của hệ thống tại thời điểm xử lý. Rõ ràng tại thời điểm tiếp nhận từ nguồn tin, số $N_t(k)$ chân thực không phải là thông tin tiên nghiệm và TTXL cần phải xác định trong từng lần tiếp nhận.

- *Thứ ba:* Để giảm dung lượng tính toán, trong tất cả các thuật toán kinh điển, người ta thường sử dụng mô hình cửa sóng liên kết. Vì có sự khác biệt giữa cửa sóng lý thuyết và kỹ thuật (do thiết bị đầu đo), có thể dẫn đến sự sai lệch trong tổng hợp, liên kết điểm dấu với quỹ đạo

- *Thứ tư:* Các thông tin dùng trong thuật toán kinh điển thường là thuộc tính định lượng (vị trí, hướng đi, vận tốc, ...). Thực tế các thông tin định tính (mã quốc gia, mã hiệu, kiểu loại, nhận dạng...) có ý nghĩa quan trọng trong quá trình XLQĐ nhằm giảm bớt dung lượng tính toán liên kết quỹ đạo.

1.3 Xử lý hợp nhất quỹ đạo và xây dựng nội dung nghiên cứu

1.3.1 Những vấn đề của bài toán “Tổng hợp, hợp nhất dữ liệu”

Trong tác chiến hiện đại, tốc độ biến đổi tình huống rất nhanh, bài toán “Tổng hợp, hợp nhất dữ liệu thông tin quỹ đạo” cần hướng tới các chỉ tiêu chất lượng thông tin dữ liệu đầu ra, như: tính chính xác, tính thời gian thực và tính đầy đủ chứa trong dữ liệu, thông tin quỹ đạo đầu ra. Các vấn đề đặt ra cần giải quyết là:

- Cần thực hiện đồng nhất nhịp cho toàn bộ các phần tử trong hệ thống hoặc chỉ xác định chu kỳ nhịp xử lý cho riêng tại TTXL.

- Giải quyết bài toán xác định số lượng quỹ đạo chân thực trong toàn vùng quản lý của hệ thống.

- Cần xây dựng cách tiếp cận mới trong liên kết dữ liệu, thông tin quỹ đạo nhằm giảm dung lượng tính toán.

1.3.2 Xây dựng nội dung nghiên cứu của luận án

Nội dung nghiên cứu luận án giới hạn ở những vấn đề sau:

- Từ nghiên cứu quá trình XLQĐ, đưa ra mô hình tổng quát quá trình phù hợp với các đặc trưng hệ thống đa đầu đo hiện tại.

- Nghiên cứu ứng dụng công cụ phân lớp thống kê (Statistical Clustering) nói chung và phân lớp mờ (Fuzzy Clustering) nói riêng giải quyết các bài toán trong XLQĐ, gồm: Xác định số lượng quỹ đạo chân thực $N_t(k)$, Phân chia nhóm quỹ đạo (tương quan), Liên kết dữ liệu quỹ đạo trong hệ thống.

1.4 Kết luận chương 1

Chương 1 của luận án tập trung xem xét giải quyết những vấn đề:

- Phân loại mô hình hệ thống thông tin, chỉ huy và điều khiển; trong đó, tập trung xem xét việc phân loại theo quá trình xử lý thông tin nhằm chỉ ra những giới hạn của chúng theo yêu cầu tác chiến hiện đại đối với hệ thống tự động hoá chỉ huy.

- Phân tích đặc điểm quá trình xử lý thông tin ra đa, tóm tắt nội dung XLQĐ là bài toán tổng hợp, liên kết thông tin, dữ liệu điểm dấu với quỹ đạo và chỉ ra các tồn tại của các thuật toán kinh điển, tiến tới cụ thể hóa các nội dung nghiên cứu cần đạt.

- Hình thành và giới hạn những nội dung nghiên cứu của luận án giải quyết những điểm tồn tại trong XLQĐ bằng cách tiếp cận mới.

Chương 2

ỨNG DỤNG CÔNG CỤ PHÂN LỚP DỮ LIỆU ĐỂ GIẢI BÀI TOÁN TỔNG HỢP, HỢP NHẤT THÔNG TIN TẠI TTXL

2.1. Một số điểm tương đồng của PLDL và bài toán XLQĐ

2.1.1 Tóm tắt về một số đặc điểm của lý thuyết KTDL và PLDL

Khai thác dữ liệu (KTDL) là quá trình xử lý tập dữ liệu đầu vào chưa biết để phát hiện lấy dữ liệu cần thiết. Khác với phân tích dữ liệu là các phương pháp mà trong đó chủ yếu nhằm kiểm tra những giả thuyết tiền định có liên quan tới dữ liệu. KTDL quan tâm đến tìm kiếm độc lập các quy luật có thể có trong tập dữ liệu; tiến tới hình thành, xây dựng các giả thuyết về những mối quan hệ giữa chúng trong quá trình khai thác. Những bài toán mà lý thuyết KTDL [87, 88] thường giải quyết như: phân loại – Classification, phân lớp – Clustering và liên kết – Association.

2.1.2 Một số đặc điểm của PLDL và sự tương đồng với bài toán XLQĐ

Phân lớp dữ liệu (PLDL) là quá trình phân chia *tập đầu vào* X các đối tượng không đồng nhất thành các nhóm (lớp) tập con với điều kiện từng đối tượng trong tập con đó có thể quy ước là đồng nhất theo một số thuộc tính xác định. Việc phân các đối tượng vào lớp dựa vào việc so sánh giá trị thuộc tính giữa chúng với nhau và được thể hiện thông qua hàm gọi là *hàm gần nhau*. So sánh giống và khác nhau giữa các đối tượng được thực hiện thông qua thước đo thuộc tính và phụ thuộc vào mục tiêu của phân lớp.

Để thực hiện ánh xạ dữ liệu từ tập X đầu vào sang tập các lớp, không chỉ so sánh giữa các dữ liệu với nhau mà còn phải so sánh từng dữ liệu với đại diện của mỗi lớp - *tâm lớp*. Theo lý thuyết KTDL [87, 88], tâm lớp được định nghĩa là kỳ vọng toán của các thuộc tính. Để hình thành những nhóm đáp ứng theo tập các tiêu chuẩn tối ưu nào đó theo mục tiêu đề ra thông qua *hàm đích*, theo

một trong các tiêu chuẩn: cực tiểu mất mát dữ liệu; độ tập chung (mật độ phân bố); cực đại khoảng cách các biên của lớp; v.v.

Một số điểm tương đồng giữa PLDL và xử lý liên kết các điểm dấu quỹ đạo (ĐDQĐ) với quỹ đạo theo kinh điển:

- Phân chia tập $X(k)$ ĐDQĐ đầu vào theo các lớp tương ứng với số quỹ đạo chân thực $N_t(k)$ trong vùng quản lý, có thể ứng dụng các công cụ của PLDL để phân chia theo thước đo xác định.

- Khi thực hiện, số lớp $N_t(k) \geq 2$, thuật toán JPDA phải thực hiện xác định các ma trận cửa sóng liên kết nhằm thiết lập tất cả các phương án từng ĐDQĐ với từng quỹ đạo. Việc này cũng tương đồng với phân lớp thực hiện thông qua *hàm liên thuộc* xác định mức độ “gần gũi” của từng điểm dấu với phần tử đặc trưng của quỹ đạo đó. Lý thuyết PLDL, mức độ gần gũi và hàm gần nhau được thể hiện qua khái niệm cấp độ liên thuộc và hàm liên thuộc.

2.2 Nghiên cứu, ứng dụng công cụ PLDL để xác định số quỹ đạo

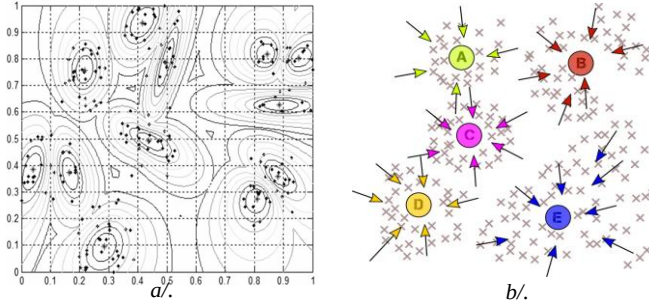
2.2.1 Bài toán PLDL khi chưa biết số lớp

Theo [81, 90], phương pháp phân lớp khi chưa biết số lớp được đề thảo gọi là phương pháp phân lớp núi - MCM (Mountain Clustering Method). Phát triển từ MCM, S.L. Chiu đề xuất phương pháp phân lớp trừ - SCM sử dụng một hàm đặc trưng cho khả năng tiềm năng của điểm dữ liệu có thể là tâm của một lớp nào đó. Hàm đích trong SCM được đánh giá bằng mật độ của dữ liệu xung quanh điểm được xét.

2.2.2 Phương pháp SCM ứng dụng trong xác định số lượng quỹ đạo

Xét tập dữ liệu $X(k) = \{x_1(k), \dots, x_{m(k)}(k)\}$ các điểm dấu quỹ đạo từ nhiều nguồn khác nhau mang thông tin về số quỹ đạo $N_t(k)$. Do thực tế tồn tại những sai lệch ước lượng tham số trạng thái động học quỹ đạo, nên các dữ liệu ĐDQĐ có tính hội tụ theo mật độ kiểu hàm núi (hình 2.6.a), hay chính là về “điểm dấu chân thực” (hình 2.6.b). Như vậy, nếu sử dụng ý tưởng về mật độ phân bố và trên cơ sở phân

tích, lựa chọn, có thể thấy phương pháp phân lớp trừ (SCM) có thể áp dụng được để xác định số lớp – số lượng quỹ đạo $N_t(k)$.



Hình 2.6: Minh họa đặc tính hội tụ của các ĐDQĐ khi tính $N_t(k)$
Hàm xác định khoảng cách hai dữ liệu - hai ĐDQĐ: $x_i(k)$, $x_j(k)$

$$d[x_i(k), x_j(k)] = \sum_{p=1}^p |x_{ip}(k) - x_{jp}(k)| \quad (2.2.5)$$

trong đó: p – số lượng thuộc tính, k - nhịp xử lý thứ k .

Hàm tiềm năng tâm lớp có dạng:

$$P[z_h(k)] = \sum_{i=1}^{m(k)} \exp\{-\alpha \times d[z_h(k), x_i(k)]\} \quad (2.2.7)$$

Tâm lớp đầu tiên được chọn là dữ liệu thứ $t = h$ nào đó trong số $m(k)$ – ĐDQĐ đầu vào có giá trị hàm tiềm năng lớn nhất:

$$P_1[z_h(k)] = \max_{h \in m(k)} \{P[z_h(k)]\} \quad (2.2.8)$$

Để xác định tâm lớp tiếp theo, cần loại bỏ các ĐDQĐ tham gia tâm lớp đã chọn và tính lại giá trị hàm tiềm năng của những tâm lớp có thể còn lại. Bước tiếp theo lặp lại tương tự đến khi vét hết tập $X(k)$ đầu vào. Số lượng các lớp thu được chính bằng số lượng quỹ đạo $N_t(k)$ - xác định với tập các tâm lớp.

Bằng công cụ SCM, chỉ có một điều kiện tiên nghiệm là phân bố chuẩn của tập dữ liệu đã xác định được số lượng quỹ đạo chân thực

$N_t(k)$ trước khi tổng hợp để phân chia tập ĐDQĐ đầu vào theo số các quỹ đạo đó.

2.3 Nghiên cứu, ứng dụng PLDL trong liên kết ĐDQĐ với quỹ đạo

2.3.2 Công cụ phân lớp trung bình c tường minh

Giả thiết $X(k) = \{x_1(k), \dots, x_{m(k)}(k)\}$ là tập dữ liệu các ĐDQĐ đầu vào TTXL tại chu kỳ cập nhật thứ k . Cần chia tập $X(k)$ thành các tập con: $X(k) = \{X_1(k), \dots, X_t(k), \dots, X_{N_t(k)}(k)\}$; $t = 1 \div N_t(k)$. Phân lớp trung bình c tường minh như sau:

Đầu tiên, thiết lập ma trận phân lớp trung bình c tường minh:

$$U(k) = [u_{mt}(k)] \text{ với } u_{mt}(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_m(k) \in t \\ 0 & \text{if } x_m(k) \notin t \end{cases}; \quad (2.3.4)$$

với: $m = 1 \div m(k)$; $t = 1 \div N_t(k)$

Phần tử $u_{mt}(k)$ của $U(k)$ chỉ thị khả năng để dữ liệu $x_m(k)$ thuộc tập con $X_t(k)$.

Tâm lớp v_t của lớp thứ t được xác định theo biểu thức:

$$v_t(k) = \frac{1}{|X_t(k)|} \sum_{x_m(k) \in X_t(k)} x_m(k) \quad (2.3.7)$$

Hàm đích đánh giá chất lượng phân lớp được xây dựng theo tiêu chuẩn độ tập trung có thể của từng lớp:

$$Q(k) = \sum_{t=2}^{N_t(k)} \sum_{m=1}^{m(k)} u_{mt}^\alpha(k) \times \|x_m(k) - v_t(k)\| \rightarrow \min \quad (2.3.8)$$

Thuật toán trung bình c tường minh xác định các ĐDQĐ $x_m(k)$ thuộc quỹ đạo thứ t được quy về tìm ma trận $U(k) = [u_{mt}(k)]$ thỏa mãn điều kiện (2.3.8).

Phân lớp trung bình c tường minh cho phép giảm độ phức tạp khi tính toán, nhưng có một số hạn chế [106], [108]: dễ loại bỏ ĐDQĐ nằm ở lớp biên, do $u_{mt}(k)$ chỉ nhận giá trị “0” hoặc “1”; khó xác định điểm cực trị hàm đích $Q(k)$ do có dạng nhảy bậc.

2.3.3 Ứng dụng công cụ phân lớp trung bình c mờ (FCM)

Phân lớp trung bình mờ - FCM thực hiện thiết lập ma trận phân lớp có dạng:

$$F(k) = [\gamma_{mt}(k)]; m = 1 \div m(k), t = 2 \div N_t(k) \quad (2.3.9)$$

trong đó: $\gamma_{mt}(k)$ là phần tử của ma trận thể hiện mức độ có liên quan giữa điểm dấu thứ m với quỹ đạo thứ t (lớp thứ t) và được định nghĩa là cấp độ liên thuộc nhận giá trị nằm trong khoảng $[0,1]$: $0 \leq \gamma_{mt}(k) \leq 1$.

Tâm lớp thứ t trong phân lớp mờ xác định theo biểu thức:

$$v_t(k) = \frac{\sum_{m=1}^{m(k)} \gamma_{mt}^\alpha(k) \times x_m(k)}{\sum_{m=1}^{m(k)} \gamma_{mt}^\alpha(k)}; t \in N_t(k) \quad (2.3.13)$$

Hàm đích đánh giá chất lượng phân lớp có dạng:

$$Q(k) = \sum_{t=2}^{N_t(k)} \sum_{m=1}^{m(k)} \gamma_{mt}^\alpha(k) \times |x_m(k) - v_t(k)|^2 \quad (2.3.14)$$

Phương pháp FCM dựa trên cực tiểu hóa hàm (2.3.14) cho bài toán cực trị cục bộ có điều kiện [76÷78].

Từ nghiên cứu trên có một số nhận xét:

- So với cách tiếp cận Bayes tối ưu và cận tối ưu, sử dụng FCM giải bài toán phân chia tập các ĐDQĐ đầu vào thành tập con có khả năng liên kết với lớp các quỹ đạo dựa trên dấu hiệu cấp độ liên thuộc $\gamma_{mt}(k)$ cho phép phần nào giảm được mức độ phức tạp khi thiết kế thuật toán và thời gian tính toán.

- Tất cả các dữ liệu ĐDQĐ đều được xem xét trong quá trình phân lớp nhằm để loại bỏ khả năng bỏ sót dữ liệu. Đây là điểm quan trọng có tính mới so với cách tiếp cận Bayes tối ưu và cận tối ưu.

- FCM dù đã được nghiên cứu và ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau, nhưng nó chưa được ứng dụng trong các bài toán XLQĐ có liên quan tới xử lý hợp nhất quỹ đạo từ nhiều nguồn.

- Điểm giới hạn của FCM nằm ở thông tin (điều kiện) tiên nghiệm của nó là số lớp – số lượng quỹ đạo $N_t(k)$ phải được biết trước.

2.4 Ứng dụng PLDL liên kết ĐDQĐ với quỹ đạo chân thực

Liên kết ĐDQĐ với quỹ đạo chân thực là thực hiện ghép:

- $l:l=1\div N_t(k)$ - số các quỹ đạo đầu ra với các phần tử đại diện tương ứng là các tâm quỹ đạo $\{\eta_1(k),..., \eta_l(k),..., \eta_{N_t(k)}(k)\}$ là kết quả của mục 2.2.

- $\{X_1(k),..., X_t(k),..., X_{N_t(k)}(k)\}$ là tập các tập con đầu vào với các phần tử đại diện tương ứng là tập các tâm lớp các tập con $\{v_1(k),..., v_t(k),..., v_{N_t(k)}(k)\}$ là kết quả của mục 2.3.

Yêu cầu: thực phép ánh xạ từ tập $\{X_1(k),..., X_t(k),..., X_{N_t(k)}(k)\}$ sang tập $l:l=1\div N_t(k)$.

Có thể ứng dụng công cụ phân lớp trung bình – c tường minh với hàm đích theo tiêu chuẩn độ tập trung có thể của từng lớp. Nói cách khác là: so sánh và lấy thước đo cực tiểu khoảng cách giữa $v_t(k)$ và $\eta_l(k)$ với $t=1\div N_t(k)$, $l=1\div N_t(k)$ để xác định chính xác việc liên kết tâm lớp với quỹ đạo.

2.5 Tổng hợp sơ đồ chức năng tổng quát XLQĐ trên cơ sở PLDL

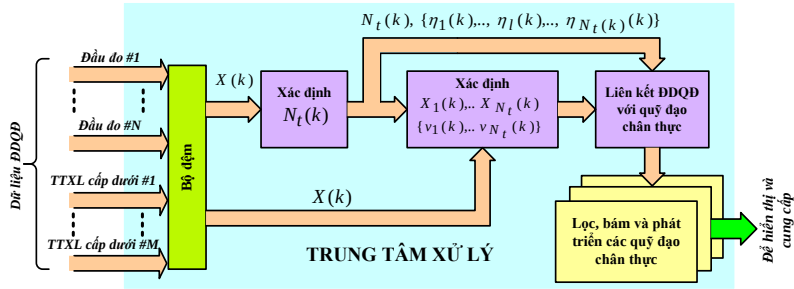
Qua phân tích, so sánh trên, có thể thiết lập sơ đồ cấu trúc tổng quát quá trình XLQĐ ứng dụng công cụ PLDL như sau (hình 2.8):

- Bộ đệm lưu các dữ liệu ĐDQĐ từ các nguồn. Theo chu kỳ xử lý tại TTXL, các tập con dữ liệu đầu vào $X(k)=\{x_1(k),..., x_{m(k)}(k)\}$; $i=1\div m(k)$ được lấy ra để thực hiện “tổng hợp, hợp nhất quỹ đạo”.

- Bước đầu tiên cần xác định số lượng quỹ đạo chân thực $N_t(k)$ ứng dụng thuật toán phân lớp trừ SCM.

- Từ $N_t(k)$ đã xác định, thực hiện phân cụm tập con ĐDQĐ vào $N_t(k)$ nhóm sử dụng thuật toán FCM dựa trên hàm cấp độ liên thuộc. Đầu ra có các tập con $\{X_1(k),..., X_t(k),..., X_{N_t(k)}(k)\}$ có khả năng liên kết với lớp các quỹ đạo $\{1,...,t,..., N_t(k)\}$.

- Với tập con ĐDQĐ, số lượng quỹ đạo thực $N_t(k)$ các tâm lớp đã xác định là $\{v_1(k), \dots, v_t(k), \dots, v_{N_t(k)}(k)\}$, ứng dụng công cụ phân lớp tường minh liên kết các tập con ĐDQĐ với quỹ đạo chân thực tại TTXL để phát triển, nối dài quỹ đạo hệ thống.



Hình 2.8: Sơ đồ chức năng tổng quát quá trình XLQĐ ứng dụng PLDL.

2.6 Kết luận chương 2

Chương 2 phân tích đặc điểm của lý thuyết KTDL, các phương pháp PLDL, chỉ ra những điểm tương đồng với bài toán XLQĐ và đưa ra:

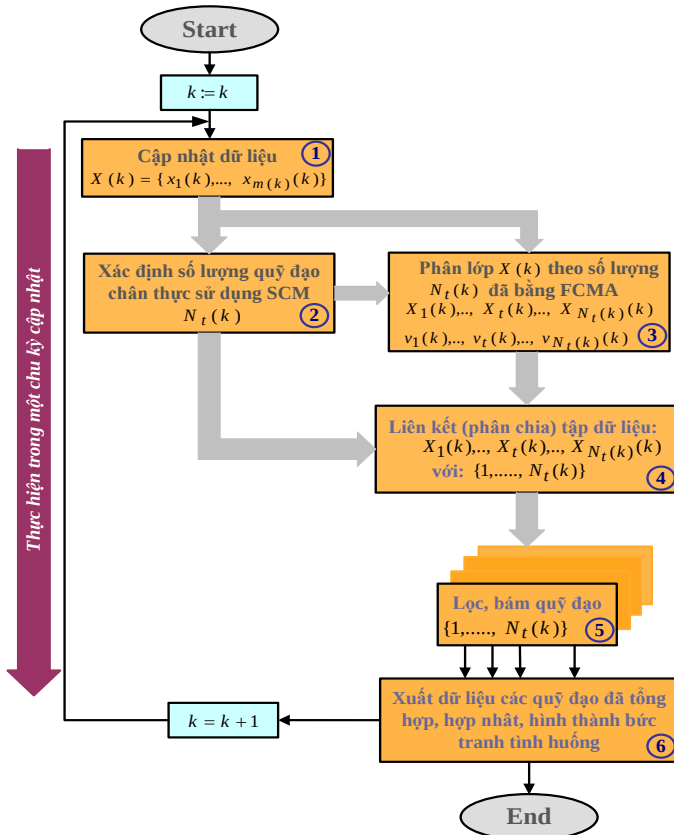
- Ứng dụng phương pháp phân lớp trừ - SCM để xác định số lượng quỹ đạo chân thực $N_t(k)$ từ tập các ĐDQĐ đầu vào.
- Ứng dụng phương pháp phân lớp trung bình mờ - FCM để phân chia tập dữ liệu đầu vào theo số lượng quỹ đạo chân thực cùng với đặc trưng là các tâm lớp.
- Ứng dụng phương pháp phân lớp tường minh nhằm xác định chính xác các tập con ĐDQĐ thuộc quỹ đạo chân thực nào.
- Đã tổng hợp sơ đồ chức năng XLQĐ tại TTXL theo cách tiếp cận mới ứng dụng lý thuyết KTDL và các phương pháp PLDL.
- Giải quyết căn bản bốn điểm chưa hoàn thiện của các phương pháp, thuật toán XLQĐ kinh điển đã trình bày trong mục 1.2.4.

Chương 3

THUẬT TOÁN TỔNG HỢP, HỢP NHẤT DỮ LIỆU TRONG TTXL VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1 Tổng hợp lưu đồ thuật toán tổng quát xử lý hợp nhất quỹ đạo tại Trung tâm xử lý

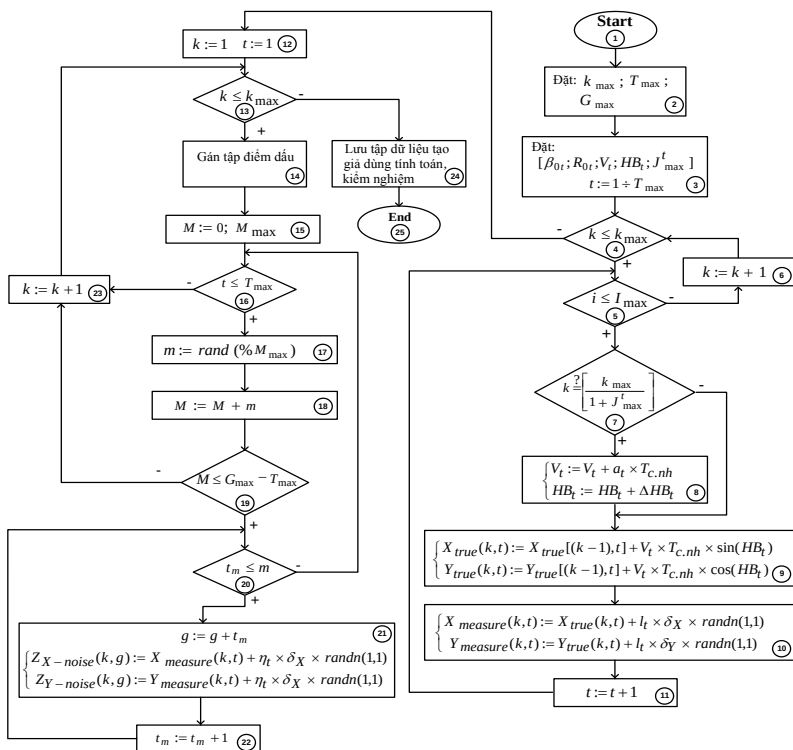
Lưu đồ tổng quát quá trình XLQĐ tại TTXL theo các tiếp cận mới, gồm các bước chính: cập nhật tập dữ liệu theo chu kỳ xử lý, xác định số lượng quỹ đạo chân thực sử dụng SCM, phân lớp $X(k)$ theo số lượng $N_t(k)$ đã bằng FCMA, liên kết (phân chia) tập dữ liệu: $X_1(k), \dots, X_t(k), \dots, X_{N_t(k)}(k)$ với: $\{1, \dots, N_t(k)\}$, lọc, bám quỹ đạo $\{1, \dots, N_t(k)\}$, xuất dữ liệu các quỹ đạo đã tổng hợp, hợp nhất, hình thành bức tranh tình huống



Hình 3.1: Lưu đồ tổng quát quá trình XLQĐ tại TTXL

3.2 Tổng hợp thuật toán tạo giả và xuất tập dữ liệu các điểm đầu quỹ đạo phục vụ mô phỏng

Thuật toán tạo giả dữ liệu dùng cho mô phỏng (hình 3.2) thiết lập các bộ dữ liệu: tham số tổng hợp (số quỹ đạo chân thực, số chu kỳ chạy, thời gian chu kỳ nhịp, nguồn tin và sai số đo); tập dữ liệu quỹ đạo chân thực và thông số theo từng chu kỳ, tập ĐDQĐ được tạo giả theo quỹ đạo thực tại từng chu kỳ; ĐDQĐ giả - “điểm đầu giả”...

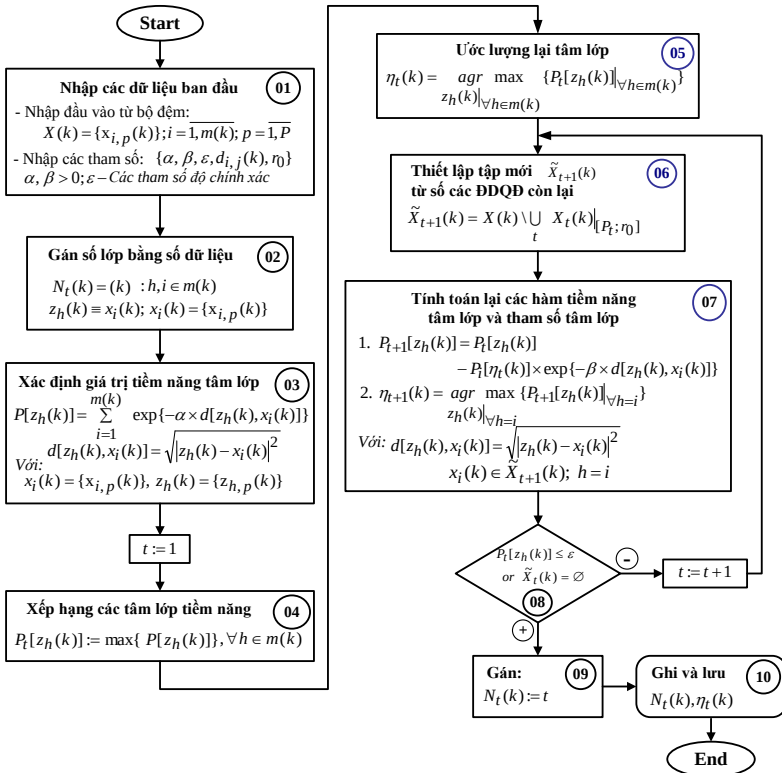


Hình 3.2: Lưu đồ thuật toán tạo, xuất dữ liệu dùng cho tính toán, mô phỏng

Chương trình có thể thay đổi quy tắc tạo giả thông số quỹ đạo chân thực, xây dựng các kịch bản mục tiêu đa dạng như: cơ động, chuyển hướng, lượn vòng, xuất phát cùng hướng hoặc ngẫu nhiên,...

3.3 Tổng hợp lưu đồ thuật toán xác định số quỹ đạo chân thực

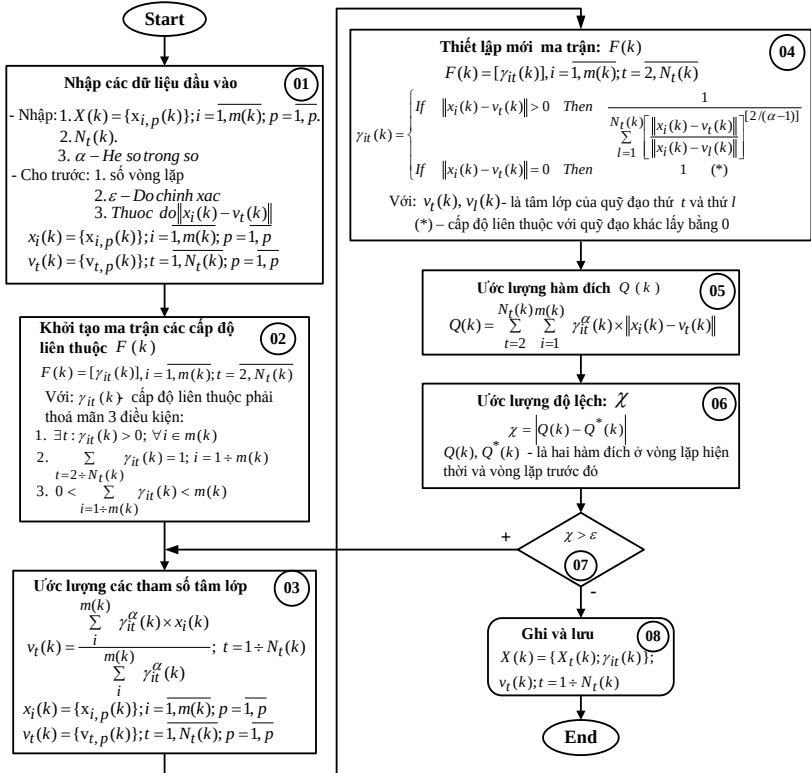
Thuật toán xác định số lượng quỹ đạo chân thực phát triển trên cơ sở công cụ phân lớp trừ SCM cho phép xác định số lượng các lớp (cụm) dựa trên đặc trưng mật độ phân bố dữ liệu thông qua phần tử đại diện là tâm lớp (hình 3.6). Thuật toán lặp lại việc tính hàm tiềm năng tâm lớp và tham số tâm; chọn tâm lớp có hàm tiềm năng lớn nhất và loại bỏ các ĐDQĐ “lân cận”; tính toán lại hàm tiềm năng với số ĐDQĐ còn lại; lặp lại cho đến khi vét hết tập ĐDQĐ đầu vào.



Hình 3.6: Lưu đồ thuật toán xác định số lượng quỹ đạo chân thực

3.4 Tổng hợp lưu đồ thuật toán liên kết ĐDQĐ với quỹ đạo

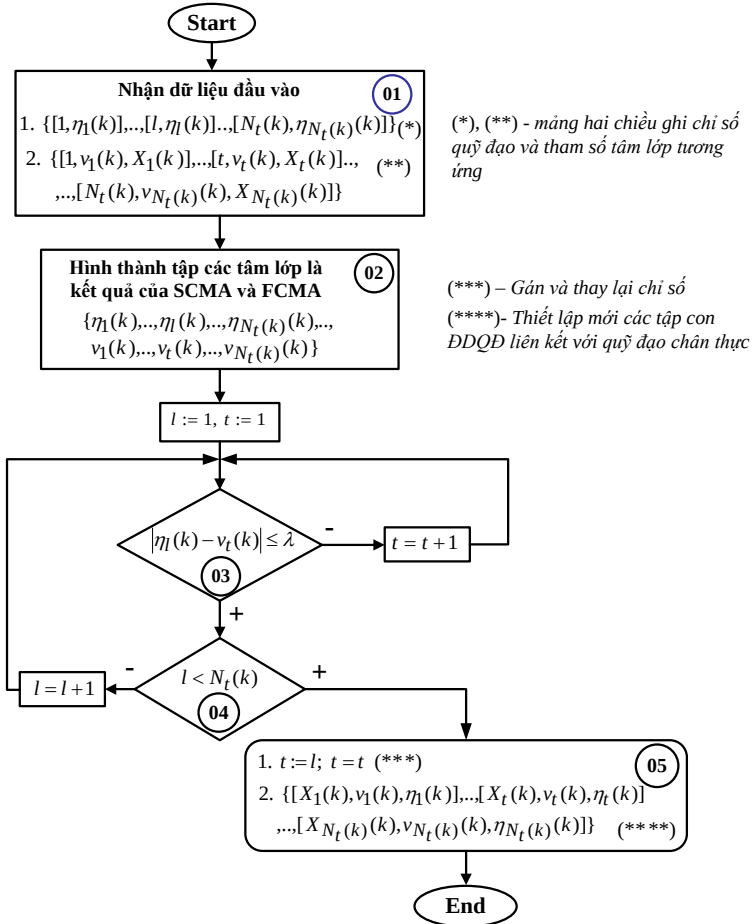
Lưu đồ thuật toán liên kết ĐDQĐ dựa trên công cụ phân lớp trung bình c mờ FCM, với số quỹ đạo thực $N_t(k)$ đã xác định. Thuật toán lặp lại việc tính ma trận hàm liên thuộc $F(k)$ giữa các tâm lớp quỹ đạo và tập ĐDQĐ. So sánh độ lệch hàm đích $Q(k)$ ở bước lặp hiện tại và trước đó để dừng vòng lặp. Mỗi vòng đều tính lại tâm các lớp để tăng độ chính xác (hình 3.10). Kết thúc thuật toán, tâm các lớp được tính toán là thông số quỹ đạo đại diện nhóm (cụm) ĐDQĐ.



Hình 3.10: Lưu đồ thuật toán dùng liên kết các ĐDQĐ với quỹ đạo sử dụng công cụ phân lớp trung bình c – mờ.

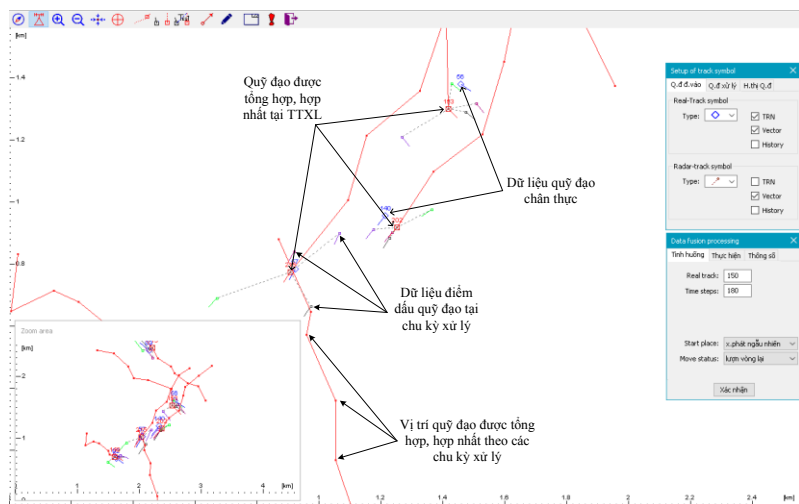
3.5 Tổng hợp lưu đồ thuật toán liên kết các tập ĐDQĐ đã được phân lớp với quỹ đạo chân thực

Thuật toán liên kết thực hiện ghép tập tâm lớp ĐDQĐ với quỹ đạo chân thực đã hình thành từ chu kỳ xử lý trước và phát triển quỹ đạo. Sử dụng phương pháp phân lớp trung bình c bằng việc so sánh sai lệch (“độ tương đồng”) giữa tâm lớp đại diện $v_t(k)$ với danh sách quỹ đạo chân thực $\eta_l(k)$ đã có (hình 3.12).

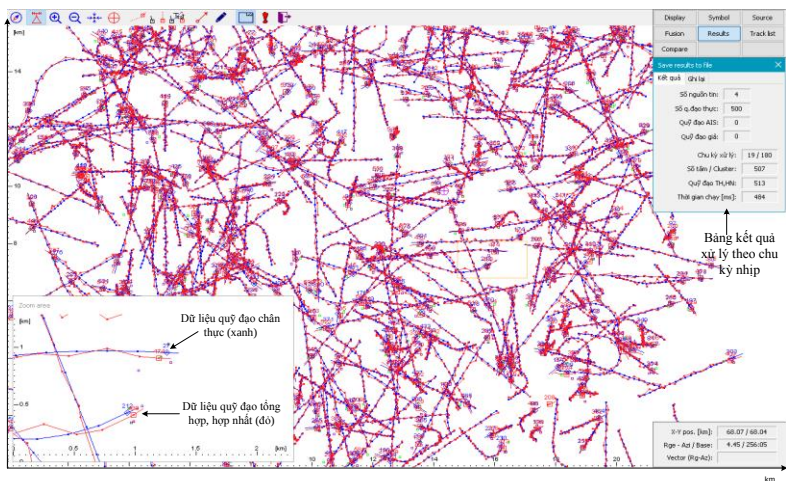


Hình 3.12: Lưu đồ thuật toán liên kết các ĐDQĐ với quỹ đạo thực

Hình ảnh một số kết quả chương trình xử lý tổng hợp, hợp nhất quỹ đạo nhiều nguồn.



Hình 3.13: Thực hiện xử lý liên kết tâm cụm ĐDQĐ với quỹ đạo tại TTXL qua các chu kỳ nhịp



Hình 3.15: Bức tranh tình huống quỹ đạo mục tiêu được hợp nhất

3.6 Đánh giá kết quả nghiên cứu lọc, bám quỹ đạo đã THHN

Theo [89], đánh giá chất lượng được xác định thông qua tính đầy đủ của các thông tin được cung cấp, gồm các chỉ tiêu: Khả năng cho qua; Tính đầy đủ của thông tin đầu ra; Độ chính xác của thông tin và Yêu cầu đáp ứng thời gian thực;

3.6.1 Đánh giá khả năng cho qua và yêu cầu đáp ứng thời gian thực

Khả năng cho qua được thực hiện trên cơ sở thiết lập tập các dữ liệu đầu vào ứng từng chu kỳ cập nhật độc lập với số lượng quỹ đạo chân thực đầu vào “không biết trước” với chương trình mô phỏng.

Theo kết quả mô phỏng có tăng dần số lượng quỹ đạo chân thực, với cấu hình PC tầm trung (CoreI5-7500, 8GB RAM, SSD 256GB, Win10 64bit); thời gian xử lý với 300 mục tiêu hoàn toàn đáp ứng yêu cầu của hệ thống phòng không về thời gian thực (bảng 3.1).

Khi số lượng quỹ đạo $N_t(k)$ lên tới 1000, thời gian xử lý tối đa khoảng 7s nhỏ hơn nhiều so với chu kỳ cập nhật (khoảng 10s) chứng minh khả năng cho qua và khả năng đáp ứng thời gian thực của TTXL khi ứng dụng công cụ PLDL để giải quyết bài toán XLQĐ.

Bảng 3.1: Dữ liệu thống kê về khoảng thời gian XLQĐ

Số lượng		Khoảng thời gian xử lý [ms]				
Quỹ đạo chân thực	ĐDQĐ	Khoảng No1	Khoảng No2	Khoảng No3	Khoảng No4	Khoảng No5
10	96	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
50	379	15	15	15	15	15
100	550	17	18	31	45	32
200	850	77	93	80	94	93
300	1625	171	156	187	173	187
500	2701	468	499	398	484	485
800	4211	2140	1986	1995	2240	1991
1000	6715	5600	6123	5931	6658	5834

3.6.2 Đánh giá về tính đầy đủ thông tin

Tương ứng với quá trình thử nghiệm mô phỏng trên, từ dữ liệu ĐDQĐ nhiều nguồn đầu vào được tổng hợp, hợp nhất ở đầu ra TTXL giữ đầy đủ thông tin gồm: tọa độ, tốc độ, hướng đi và một số

thuộc tính định tính (như mã quốc gia, mã hiệu, chủng loại, nhận dạng, v.v.) cho hiển thị liên tục, đáp ứng công tác chỉ huy điều hành và chỉ thị mục tiêu tại TTXL.

3.6.3 Đánh giá về độ chính xác

Đánh giá về độ chính xác thông tin quỹ đạo đã được tổng hợp, hợp nhất trên cơ sở so sánh sai lệch các tham số quỹ đạo (vị trí, vận tốc, hướng đi) với quỹ đạo chân thực và quỹ đạo gửi lên từ nguồn (hình 3.16). Quỹ đạo được tổng hợp, hợp nhất luôn có sai lệch nhỏ hơn quỹ đạo từ nguồn tin, hay là “gần” quỹ đạo chân thực hơn.

Tọa độ Hướng chuyển động Vận tốc

Compare a Real track vs C2 track

Bảng dữ liệu Sai số Vị trí Sai số Hg đi Sai số Vận tốc

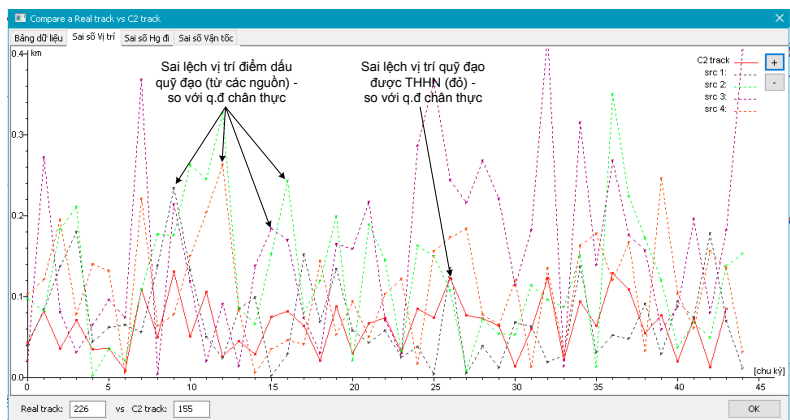
Step	X0 - Y0	Hd0	Sp0	X1 - Y1	Hd1	Sp1	dRge	dHd	dSp
1	51.30 - 49.40	4.90	42.30	51.28 - 49.32	4.93	42.06			
2	51.14 - 49.48	5.20	42.30	51.17 - 49.47	5.19	42.11			
3	51.02 - 49.61	5.50	42.30	51.05 - 49.58	5.33	42.53			
4	50.94 - 49.76	5.79	42.30	50.87 - 49.80	5.81	42.57			
5	50.90 - 49.94	6.09	42.30	50.86 - 49.97	6.11	42.53			
6	50.92 - 50.11	0.10	42.30	50.94 - 50.03	0.09	42.24			
7	50.99 - 50.27	0.40	42.30	50.99 - 50.24	0.37	42.27			
8	51.10 - 50.41	0.70	42.30	51.16 - 50.32	0.69	42.27			
9	51.25 - 50.50	0.99	42.30	51.31 - 50.47	0.83	42.10			
10	51.42 - 50.55	1.29	42.30	51.45 - 50.61	1.29	42.48			
11	51.60 - 50.55	1.59	42.30	51.54 - 50.58	1.62	42.63			
12	51.77 - 50.50	1.88	42.30	51.76 - 50.64	2.08	42.57			
13	51.93 - 50.44	1.88	42.30	51.88 - 50.44	1.91	42.67			
14	52.10 - 50.39	1.88	42.30	52.13 - 50.35	1.78	42.14			
15	52.27 - 50.33	1.88	42.30	52.30 - 50.27	1.89	42.20			
16	52.44 - 50.28	1.88	42.30	52.34 - 50.35	1.79	42.25			
17	52.60 - 50.22	1.88	42.30	52.63 - 50.17	1.86	42.72			
18	52.77 - 50.17	1.88	42.30	52.79 - 50.12	1.96	42.32			

Real track: 24 vs C2 track: 179 0.000 OK

Các dữ liệu quỹ
đạo của chân thực

Các dữ liệu của quỹ đạo
sau tổng hợp, hợp nhất

Hình 3.16: Bảng dữ liệu các tham số của quỹ đạo thực và quỹ đạo sau tổng hợp, hợp nhất tương ứng bằng các phương pháp PLDL

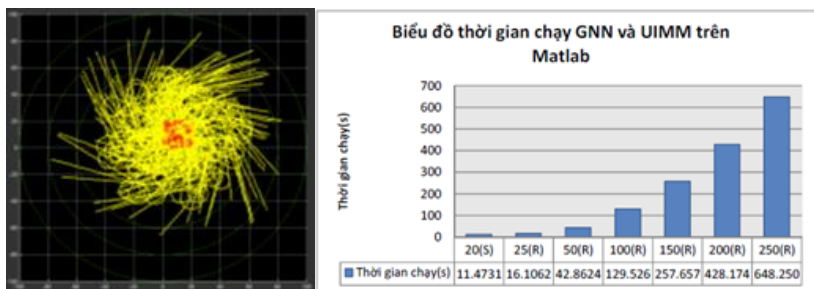


Hình 3.17: So sánh sai số vị trí giữa quỹ đạo chân thực với quỹ đạo đầu vào và quỹ đạo được hợp nhất

3.6.4 So sánh với kết quả nghiên cứu khác

So sánh với công bố [4] “Ứng dụng mạng nơron nhân tạo trong xử lý cấp 2 tin tức ra đa” sử dụng công cụ mạng Hopfield trong bài toán xử lý liên kết điểm dấu - quỹ đạo với thuật toán JPDA và cho kết quả lọc bám đáp ứng đến 20-25 mục tiêu.

Trong công trình [9] “Nghiên cứu thuật toán tương quan và lọc trong bài toán bám đa mục tiêu” sử dụng thuật toán lọc UIMM và GNN cần thời gian lớn, trên 100 giây cho lọc bám 100 mục tiêu khó đáp ứng tiêu chí thời gian thực và khả năng cho qua (hình 3.18).



Hình 3.18: Trích kết quả [9] mô phỏng tương quan và lọc trong bám đa mục tiêu (200 quỹ đạo) sử dụng thuật toán UIMM và GNN.

3.7 Mô phỏng với dữ liệu quỹ đạo mục tiêu trên không

Chương trình mô phỏng cho quá trình THHN quỹ đạo trên được thực hiện với bộ dữ liệu mục tiêu *trên biển*. Để kiểm tra đánh giá giải thuật, tương tự chương trình mô phỏng được thực hiện với bộ dữ liệu quỹ đạo phương tiện bay. Các bước thực hiện vẫn giữ nguyên và có một số điểm khác biệt: thêm thông số độ cao bay, vận tốc mục tiêu lớn (trên dưới 1000km/h), chu kỳ nhịp xử lý ngắn hơn (10s), các giá trị ngưỡng sai số cụ lý, hướng bay, vận tốc... phù hợp mục tiêu bay.

Kết quả mô phỏng cho thấy: cùng cấu hình phần cứng, thời gian thực hiện giải thuật THHN quỹ đạo của mục tiêu *trên không* hay *trên biển* có cùng số lượng là tương đương nhau. Với đặc thù hệ thống quản lý và cảnh giới vùng trời, số lượng quỹ đạo máy bay trong khu vực quản lý nhỏ (tới 300 [75]), thì giải thuật THHN đã xây dựng cũng hoàn toàn đáp ứng cho TTXL ở SCH QC PK-KQ.

3.8 Kết luận chương 3

Chương Ba kiểm tra, đánh giá các kết quả nghiên cứu lý thuyết được đề xuất và phát triển tại chương Hai, gồm:

- Đã tổng hợp và xây dựng hệ thống các lưu đồ thuật toán: Xác định số lượng quỹ đạo chân thực; Phân chia tập dữ liệu đầu vào theo số lượng quỹ đạo chân thực; Liên kết (ghép) tập con đã phân lớp với quỹ đạo chân thực; Lọc, bám và phát triển các quỹ đạo đã được tổng hợp, hợp nhất.

- Đánh giá các kết quả nghiên cứu được thực hiện qua mô phỏng đáp ứng tiêu chí về số lượng thông qua (tới 1000); tính thời gian thực (300-500 quỹ đạo trong dưới 1 giây); và giữ đầy đủ thông tin cũng như sai lệch thông tin quỹ đạo sau tổng hợp hợp nhất nhỏ sai lệch của quỹ đạo từ nguồn tin.

Các kết quả mô phỏng và tính toán cho phép kết luận rằng: bằng với việc ứng dụng lý thuyết KTDL, các phương pháp PLDL thống kê, phân lớp mờ, chất lượng bài toán XLQĐ không chỉ được đảm bảo và nâng cao theo các chỉ tiêu đánh giá.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA LUẬN ÁN

Nội dung luận án đã giới thiệu khái quát những kiến thức cơ bản liên quan trực tiếp đến quá trình thực hiện đề tài. Trình bày tổng quan mô hình hệ thống đa đầu đo, các công đoạn xử lý thông tin ra đa, các thuật toán kinh điển để thực hiện XLQĐ và nêu ra các điểm hạn chế. Luận án tìm hiểu nghiên cứu lý thuyết KTDL và ứng dụng các công cụ phân lớp dữ liệu trong thực hiện XLQĐ. Trên cơ sở đó, luận án đưa ra mô hình tổng quát quá trình XLQĐ, xây dựng các thuật toán để thực hiện các bước trong quá trình, xây dựng chương trình mô phỏng và kiểm nghiệm đánh giá.

Một số kết quả nghiên cứu chính của luận án:

1. Đã xây dựng mô hình cấu trúc tổng quát quá trình xử lý quỹ đạo tại Trung tâm xử lý của Sở chỉ huy tự động hóa phù hợp với điều kiện thực tiễn Việt Nam.
2. Ứng dụng công cụ phân lớp trừ (SCM) để xác định chính xác số lượng quỹ đạo chân thực trong vùng quản lý của hệ thống.
3. Ứng dụng công cụ phân lớp trung bình mờ (FMC) thực hiện phân chia nhóm và ghép dữ liệu ĐDQĐ theo quỹ đạo chân thực; thực hiện lọc, bám và phát triển quỹ đạo.

Hướng phát triển của luận án:

1. Tiếp tục nghiên cứu theo hướng hình thành các bộ quy tắc xử lý mờ – thích nghi trong xác định các cấp độ liên thuộc giữa các quỹ đạo đầu vào;
2. Xây dựng và hình thành các ngưỡng mờ – thích nghi trong xác định các quỹ đạo chân thực và phân lớp dữ liệu – điểm đầu quỹ đạo đầu vào trong bài toán XLQĐ. Khi đó, hệ thống tính toán sẽ còn có thể đơn giản và đảm bảo thời gian thực với chất lượng cao hơn nữa.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Đặng Quang Hiệu, Phùng Kim Phương (2017), *Подход к решению задачи отождествления трассовой информации на основе применения нечеткой классификации*, Аспирант и соискатель® № 4 (100), ISSN 1608-9014, 2017.
2. Đặng Quang Hiệu, Lê Thanh Phong, Phùng Kim Phương (2017), *Исследование фильтрации и сопровождения траекторий наблюдаемых объектов в задаче третичной обработки РЛИ*, Естественные и Технические науки № 10 (112), 2017. ISSN 1684-2626.
3. Đặng Quang Hiệu, Nguyễn Xuân Trường (2018), *Метод обработки данных в комплексе прибрежных РЛС средней дальности*, Известия вузов России. Радиоэлектроника. № 3/2018, 2018.
4. Đặng Quang Hiệu, Phùng Kim Phương (2018), *Research and synthesis of data association algorithm using fuzzy logic*, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự số 189, 4/2018. ISSN 1859-0209.
5. Đặng Quang Hiệu, Nguyễn Xuân Trường, Phùng Kim Phương, Vũ Chí Thanh (2020), *An approach to solve the problem of data fusion for multi-target tracking using fuzzy logic*, Tạp Chí Nghiên cứu khoa học và Công nghệ Quân sự, số 5/2020.
6. Nguyễn Phùng Bảo, Đặng Quang Hiệu (2021), *Синтез алгоритма траекторной обработки объектов методами теории кластеризации данных*, Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2021. Т. 24, № 2. С. 54–67.