

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

TRẦN ANH THẮNG

**NGHIÊN CỨU NÂNG CAO HIỆU QUẢ
KỸ THUẬT BICM-ID OFDM TRONG CÁC HỆ THỐNG
VÔ TUYẾN BĂNG RỘNG**

Tóm tắt luận án tiến sĩ kỹ thuật

HÀ NỘI – 2018

Công trình được hoàn thành tại: **Học viện Kỹ thuật Quân sự**

Người hướng dẫn khoa học: **PGS. TS Đinh Thế Cường**

Phản biện 1: PGS. TS Đỗ Trọng Tuấn

Phản biện 2: PGS. TS Trần Đức Tân

Phản biện 3: TS Trương Trung Kiên

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án Tiến sĩ cấp Học viện họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự vào hồi ... giờ 00 ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại:

Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự.

Thư viện quốc gia.

MỞ ĐẦU

Vô tuyến băng rộng đang là xu hướng phát triển tất yếu của các thế hệ viễn thông tương lai. Kỹ thuật truyền dẫn đa sóng mang trực giao OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) cho phép truyền dẫn thông tin với băng thông rộng, tốc độ cao là lựa chọn chủ yếu với các công nghệ hiện tại. Kỹ thuật này đã được dùng cho các hệ thống di động thế hệ thứ 4 (4G - *4th Generation*) và đang được khuyến nghị cho các hệ thống di động thế hệ thứ 5 (*5G- 5th Generation*). Để hỗ trợ kỹ thuật truyền dẫn này, các kỹ thuật kết hợp cần thiết khác như mã kênh, điều chế,... nhằm nâng cao hiệu quả truyền dẫn tín hiệu đồng thời đảm bảo độ tin cậy của hệ thống. Để đạt được hiệu quả cao, nhiều thành phần được liên kết với nhau thành hệ thống như: hệ thống điều chế mã (CM: *Coded Modulation*), điều chế mã lưới TCM (*Trellis Coded Modulation*), điều chế mã có xáo trộn bit BICM (*Bit Interleaved Coded Modulation*). Với hệ thống BICM có sử dụng giải mã lặp BICM-ID (*Bit Interleaved Coded Modulation with Iterative Decoding*) có hiệu quả tốt trên kênh pha-đỉnh mà và trên cả kênh Gauss. Chất lượng của hệ thống BICM-ID có thể so sánh với hệ thống Turbo TCM (TTCM) trong khi chỉ cần một bộ giải mã SISO, còn hệ thống TTCM lại yêu cầu hai bộ.

Với các ưu điểm đó, sơ đồ BICM-ID cũng được đề xuất sử dụng cho hệ thống OFDM. Hệ thống BICM-ID OFDM được nghiên cứu và chỉ ra có hiệu quả cao trên cả kênh pha-đỉnh và kênh Gauss. Đồng thời hệ thống này được nghiên cứu ở nhiều khía cạnh khác nhằm nâng cao hiệu quả truyền dẫn.

Trong hệ thống OFDM, tiền tố vòng CP (*Cyclic Prefix*) được sử

dụng để xử lý trải trễ đa đường, xuyên nhiễu giữa các symbol ISI (*Inter-Symbol Interference*). Tuy nhiên, tiền tố vòng thường bị loại bỏ tại máy thu, điều đó rất lãng phí vì CP vừa mang thông tin, vừa mang năng lượng và có tính phân tập thời gian. Có nhiều công trình nghiên cứu nhằm sử dụng lại hoặc khai thác các thông tin trong CP nhằm thu thập các thông tin cần thiết cho máy thu. *Các kết quả nghiên cứu tận dụng CP trên đều chỉ ra mục đích khai thác CP để ước lượng độ lệch tần số, ước lượng kênh hoặc san bằng kênh mà chưa khai thác được thông tin nằm trong CP để cải thiện chất lượng hệ thống.*

Với ưu điểm của hệ thống OFDM và BICM-ID, việc nghiên cứu về hệ thống BICM-ID OFDM, khai thác thông tin nằm trong tiền tố vòng, phát huy cấu trúc giải mã lặp và tính khả thi khi áp dụng hệ thống này vào thực tiễn là cần thiết.

Mục đích của luận án giải quyết các vấn đề sau:

1. Mục đích đầu tiên là *đề xuất một sơ đồ sử dụng lại thông tin có ích trong CP để cải thiện chất lượng của hệ thống BICM-ID OFDM. Đồng thời khảo sát hệ thống với độ dài CP khác nhau trên điều kiện kênh cụ thể để có thể chọn độ dài CP phù hợp cho hệ thống tái sử dụng này.*

2. Việc kết hợp sơ đồ BICM-ID cho hệ thống OFDM phải xem xét đến tính khả thi và thực tiễn. Các hệ thống OFDM thực tế sử dụng kỹ thuật xáo trộn bit chủ yếu dùng xáo trộn khối nhằm phù hợp với thiết kế phần cứng. Sơ đồ BICM-ID trong các nghiên cứu có hiệu quả cao sử dụng các bộ xáo trộn giả ngẫu nhiên, không phù hợp với hệ thống thực tiễn. Vì vậy mục đích thứ hai là *đề xuất một kỹ thuật xáo trộn mới để*

vừa phát huy hiệu quả của sơ đồ BICM-ID vừa phù hợp với hệ thống OFDM thực tế, áp dụng cho hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP.

Bố cục của luận án:

Ngoài phần mở đầu, luận án được trình bày trong 3 chương như sau:

Chương 1: Tổng quan về hệ thống truyền dẫn BICM-ID OFDM

Nội dung của chương khái quát về hệ thống thông tin số, môi trường truyền dẫn vô tuyến. Tổng quan về sơ đồ BICM-ID, hệ thống OFDM và hệ thống kết hợp BICM-ID OFDM.

Chương 2: Đề xuất kỹ thuật tái sử dụng CP cho hệ thống BICM-ID OFDM

Trong chương này đề xuất hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP, phân tích hệ thống và quá trình tích lũy thông tin hậu nghiệm cho phép sử dụng thông tin có ích trên CP để có quyết định cuối cùng. Hệ thống được mô phỏng và các kết quả đạt được chỉ ra hiệu quả của hệ thống này.

Chương 3: Thiết kế bộ xáo trộn cho hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP

Dựa trên tính thực tiễn, chương này đề xuất một kỹ thuật xáo trộn mới dựa trên xáo trộn khối, đánh giá kỹ thuật xáo trộn mới và khảo sát bộ xáo trộn với các yếu tố khác nhau tác động đến chất lượng hệ thống để tìm ra các tham số phù hợp và tốt nhất cho hệ thống BICM-ID OFDM thông thường và tái sử dụng CP.

Cuối cùng là phần kết luận và tài liệu tham khảo, phụ lục.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG TRUYỀN DẪN BICM-ID OFDM

1.1. Khái quát chung về hệ thống thông tin số

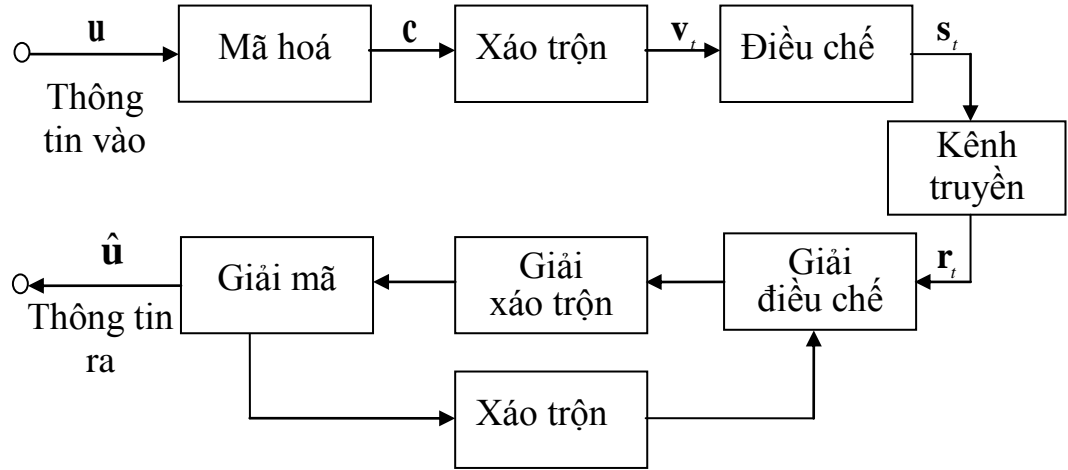
Một hệ thống thông tin số đơn giản bao gồm các thành phần cơ bản như bộ mã hoá và giải mã nguồn, mã hoá và giải mã kênh, bộ điều chế và giải điều chế, cuối cùng là kênh truyền. Kênh truyền gồm hai loại kênh là: kênh Gauss và kênh pha-đỉnh. Môi trường truyền dẫn thông tin vô tuyến rất phức tạp, được mô tả với nhiều mô hình kênh khác nhau. Trong các tài liệu về mô hình kênh đều đưa ra bản mô tả phân bố công suất trễ của kênh PDP (*Power Delay Profile*) dưới dạng thống kê các phân bố giá trị công suất trung bình cho tín hiệu thu trên mỗi đường. Mô hình phù hợp cho mô tả này là mô hình giữ chậm từng khâu TDL (*Tapped Delay Line*), thường được sử dụng cho các kênh đa đường.

Để khắc phục pha-đỉnh, có thể sử dụng các giải pháp như: dùng mạch san bằng (*equalizer*), các kỹ thuật phân tập, truyền dẫn nhiều sóng mang và mã chống nhiễu (mã kênh). Trong đó, đối tượng luận án quan tâm là truyền dẫn nhiều sóng mang OFDM và mã kênh.

1.2. Hệ thống BICM-ID

Hệ thống điều chế mã có xáo trộn bit và giải mã lặp BICM-ID được cho trên Hình 1.1. Ở phía phát, thông tin ban đầu được đưa qua bộ mã hoá kênh, bộ xáo trộn dãy bit và bộ điều chế. Ở phần thu, bộ giải điều chế cùng với bộ giải mã kết hợp với bộ xáo trộn/giải xáo trộn tạo thành một cấu trúc xử lý lặp. Bộ giải điều chế thực hiện tính số đo bit, số đo này thông qua bộ giải xáo trộn để cung cấp thông tin cho bộ giải mã. Trên cơ sở kết quả giải mã, thông qua vòng hồi tiếp, bộ giải mã cung

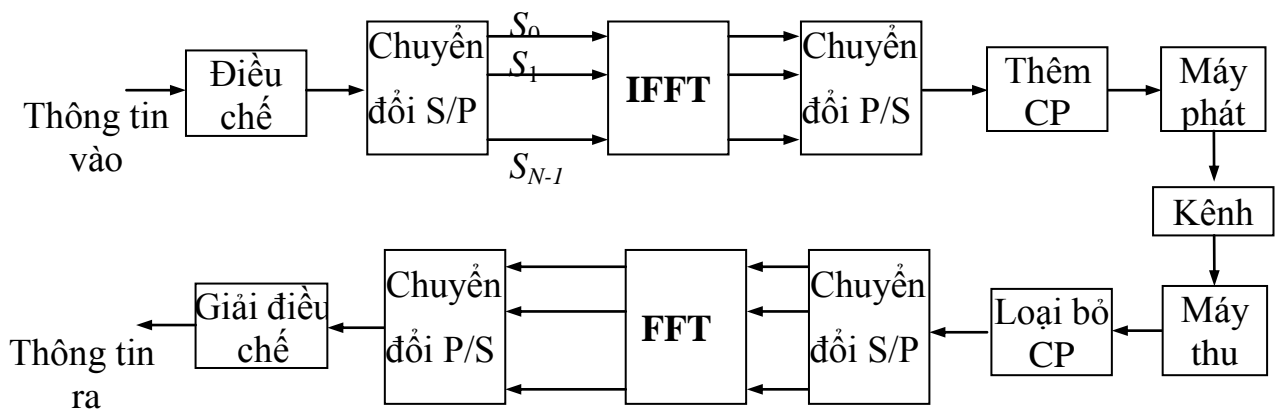
cấp lại cho bộ giải điều chế thông tin tiên nghiệm có giá trị chính xác hơn sau mỗi vòng lặp để tính lại số đo bit. Việc quyết định mỗi bit trong một symbol tín hiệu dựa trên thông tin về các bit khác trong cùng symbol khi đây đủ thông tin về các bit đó sau một số vòng lặp nhất định.



Hình 1.1: Sơ đồ khối hệ thống BICM-ID.

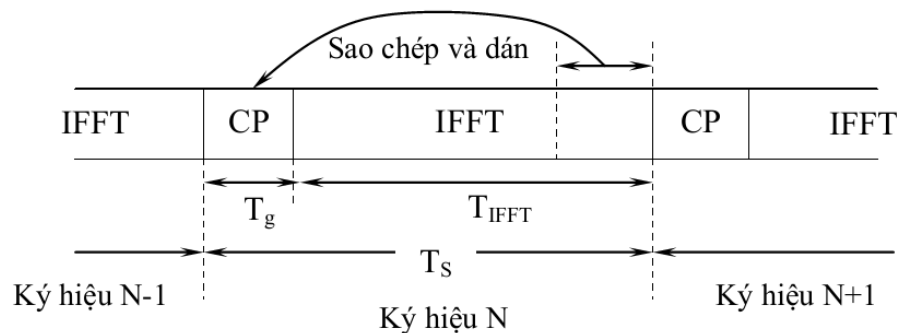
1.3. Hệ thống OFDM

OFDM là một trường hợp đặc biệt của điều chế đa sóng mang. Kỹ thuật OFDM chia luồng dữ liệu đầu vào sẽ được chia thành N luồng dữ liệu song song có tốc độ thấp hơn và phát mỗi luồng dữ liệu đó trên một sóng mang phụ khác nhau. Các sóng mang phụ này trực giao với nhau. Hệ thống OFDM bằng gốc điển hình được minh họa trên Hình 1.2.



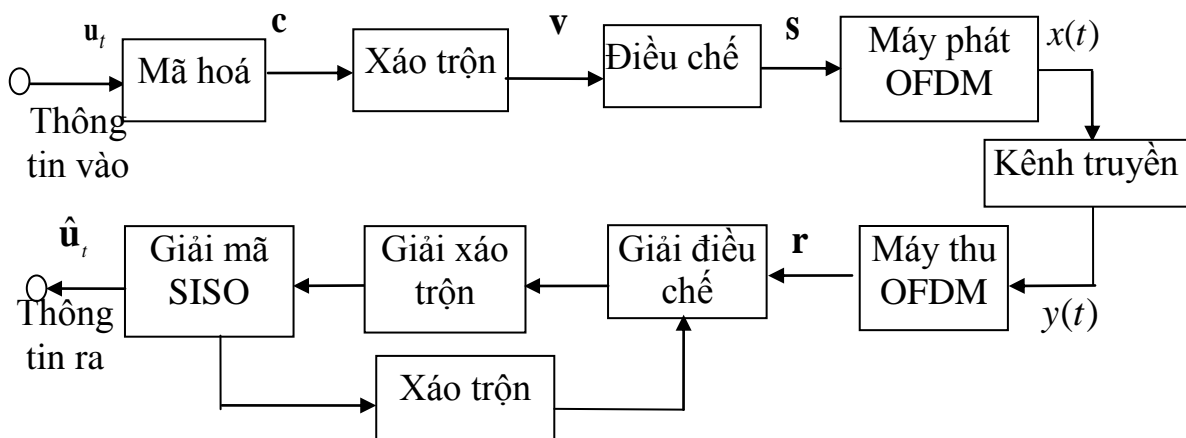
Hình 1.2: Sơ đồ hệ thống OFDM bằng gốc điển hình

Để loại trừ hầu hết các xuyên nhiễu giữa các symbol (ISI), khoảng thời gian bảo vệ T_g được đề xuất sử dụng cho mỗi symbol OFDM. Khoảng bảo vệ này được chọn lớn hơn trải trễ của kênh truyền, điều này làm cho các thành phần đa đường từ một symbol này không thể gây nhiễu tới symbol tiếp theo khi khoảng bảo vệ này bị loại bỏ tại máy thu. Khoảng bảo vệ được sử dụng là mở rộng chu kỳ của symbol đó nên được gọi là tiền tố vòng CP. Tín hiệu trong khoảng bảo vệ được chọn là bản sao của đoạn cuối ký tự OFDM như minh họa ở Hình 1.3, bản sao này được ghép vào đầu, phần đoạn bảo vệ T_g và vì thế mà tính tuần hoàn của tín hiệu trong miền thời gian vẫn được duy trì và các sóng mang trong miền tần số vẫn trực giao, không còn ICI.



Hình 1.3: Chèn khoảng bảo vệ CP

1.4. Hệ thống BICM-ID OFDM



Hình 1.4: Hệ thống BICM-ID OFDM

Sơ đồ khối kết hợp giữa hệ thống OFDM và sơ đồ BICM-ID được cho ở Hình 1.4.

1.5. Đặt vấn đề nghiên cứu

Tiền tố vòng CP trong hệ thống OFDM thường bị loại bỏ tại máy thu. Trong khi đó CP vừa mang thông tin, vừa mang năng lượng và có tính phân tập thời gian. Đã có nhiều công trình nghiên cứu nhằm sử dụng lại hoặc khai thác các thông tin trong CP. Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu này dùng để ước lượng độ lệch tần số, ước lượng kênh hoặc san bằng kênh mà *chưa khai thác được thông tin nằm trong CP để cải thiện chất lượng tín hiệu thu được của hệ thống*. Chính vì thế, vấn đề đầu tiên trong luận án là *đề xuất một hệ thống có thể tái sử dụng CP để cải thiện chất lượng của hệ thống BICM-ID OFDM*. Đồng thời khảo sát hệ thống với việc lấy độ dài CP khác nhau trên điều kiện kênh cụ thể để có thể chọn độ dài CP phù hợp cho hệ thống tái sử dụng này.

Các hệ thống kết hợp BICM-ID với OFDM đều sử dụng bộ xáo trộn giả ngẫu nhiên để mô phỏng hệ thống. Các bộ xáo trộn giả ngẫu nhiên cho hiệu quả truyền dẫn cao nhưng không phù hợp với hệ thống thực tế. Vì vậy, cần thiết cần có một bộ xáo trộn *thoả mãn hai vấn đề: phù hợp hệ thống thực, có tính khả thi cho truyền dẫn OFDM và vẫn đảm bảo hiệu quả của sơ đồ BICM-ID*. Do đó vấn đề thứ 2 của luận án là *đề xuất một kỹ thuật xáo trộn mới làm sao vừa phát huy hiệu quả của sơ đồ BICM-ID lại vừa phù hợp với hệ thống OFDM thực tế*. Bộ xáo trộn này áp dụng cho hệ thống tái sử dụng CP như vấn đề thứ nhất đã đưa ra và cũng có thể áp dụng cho hệ thống BICM-ID OFDM thông thường.

CHƯƠNG 2

ĐỀ XUẤT KỸ THUẬT TÁI SỬ DỤNG CP CHO HỆ THỐNG BICM-ID OFDM

Phần đầu của chương này trình bày kỹ thuật giải mã lặp, cơ sở cho phân tích hệ thống tái sử dụng CP ở phần tiếp theo. Phần sau đưa ra sơ đồ hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP nhằm nâng cao chất lượng hệ thống. Các kết quả mô phỏng hệ thống được cho trong phần cuối sẽ chỉ ra hiệu quả của hệ thống này.

2.1. Giải mã lặp

Giải mã lặp là sự trao đổi của thông tin mềm liên tục giữa các bộ giải mã ở máy thu. Các bộ giải mã dựa trên thông tin của kênh truyền và thông tin tiên nghiệm để tính toán thông tin hậu nghiệm và thông tin ngoại lai. Thông tin ngoại lai của bộ giải mã này sau khi qua bộ xáo trộn/giải xáo trộn sẽ thành thông tin tiên nghiệm cho bộ giải mã khác. Kết quả cuối cùng sẽ được quyết định dựa trên thông tin hậu nghiệm sau một số vòng lặp giữa các bộ giải mã. Thông tin mềm gồm tích 3 tham số (3 giá trị xác suất): $\alpha_{k-1}(i)$, $\gamma_k(i,j)$ và $\beta_k(j)$, đây là trạng thái bắt đầu của nhánh, trên nhánh và cuối cùng của nhánh (theo sơ đồ lưới).

Phân bố APP để tạo ra thông tin ngoại lai cho giải mã lặp là:

$$P_{app} = P_{x_k|Y_{0:K-1}} \propto P_{x_k, Y_{0:K-1}} = \underbrace{P_{x_k}}_{a \text{ priori}} \cdot \underbrace{P_{y_k|x_k}}_{channel} \cdot \underbrace{P_{Y_{0:k-1}, Y_{k+1:K-1}|x_k, y_k}}_{extrinsic} \quad (2.1)$$

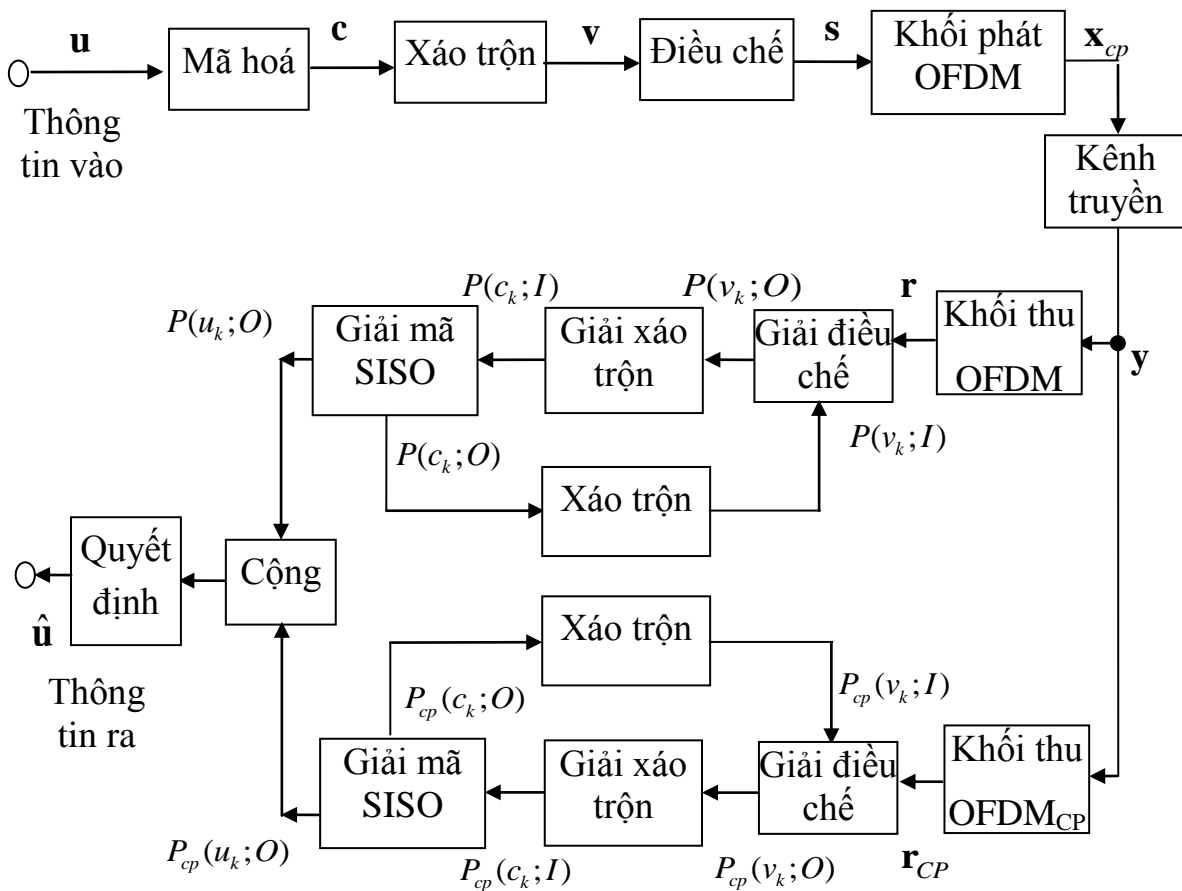
intrinsic

Để cho thuận tiện, hàm Log- Likelihood được sử dụng thay vì hàm xác suất của chính nó. Khi đó (2.1) trở thành:

$$L_{x_k, Y_{0:K-1}} = L_{a \text{ priori}} + L_{channel} + L_{extrinsic} \quad (2.2)$$

2.2. Xây dựng sơ đồ hệ thống BICM-ID OFDM dựa trên kỹ thuật tái sử dụng CP

Trong biểu thức (2.2), thông tin hậu nghiệm cho giá trị x_k chấp nhận thông tin ngoại lai từ các bộ giải khác. Chính vì vậy, khi có các thông tin ngoại lai bổ sung sẽ giúp cho quá trình giải lặp được chính xác hơn. Vì vậy, nhằm tận dụng thông tin kênh truyền nằm trong CP, sơ đồ hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP được đề xuất ở Hình 2.1.



Hình 2.1: Sơ đồ khối hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP.

Hoạt động của nhánh 1 và nhánh 2 song song và độc lập với nhau. Trên nhánh 1 (nhánh thu trên), symbol OFDM được thực hiện FFT để được các tín hiệu thu r , tín hiệu thu này được đưa đến phần giải lặp để lấy các thông tin hậu nghiệm và thông tin ngoại lai. Thông tin hậu nghiệm nhánh 1 sau mỗi một vòng lặp được đưa đến khối Cộng, khối

này cộng dồn các giá trị hậu nghiệm của cả hai nhánh sau mỗi vòng lặp. Tương tự trên, tín hiệu thu ở nhánh 2 (nhánh dưới) qua khối OFDM_{CP} thu được \mathbf{r}_{cp} , tín hiệu này cũng được giải lặp như trên, các thông tin hậu nghiệm được đưa đến khối Cộng để cộng với nhánh 1 sau mỗi vòng lặp. Sau một số vòng lặp, các thông tin hậu nghiệm tổng sẽ được đưa tới bộ quyết định để tạo thành thông tin ra.

Nhánh 1, xác suất hậu nghiệm cho các bit mã được tính bằng:

$$P(v_k = b | r) \sim \sum_{s_i \in S_b^k} p(s_i | r) \sim \sum_{s_i \in S_b^k} p(r | s_i) \cdot P(s_i). \quad (2.3)$$

Nhánh 2, xác suất hậu nghiệm cho các bit mã được tính bằng:

$$P(v_k = b | r_{cp}) \sim \sum_{s_i \in S_b^k} p(s_i | r_{cp}) \sim \sum_{s_i \in S_b^k} p(r_{cp} | s_i) \cdot P(s_i). \quad (2.4)$$

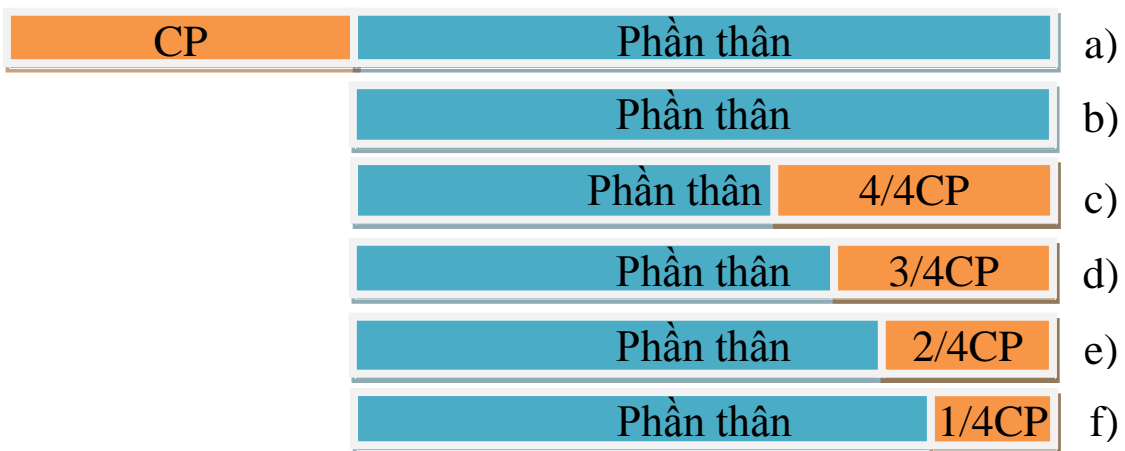
Các giá trị thông tin hậu nghiệm được tính trong (2.3) và (2.4) sau mỗi vòng lặp sẽ được cộng lại ở bộ Cộng, sau một số vòng lặp sẽ được đưa đến bộ quyết định để được thông tin ra.

2.3. Kết quả mô phỏng đánh giá chất lượng hệ thống BICM-ID OFDM dựa trên kỹ thuật tái sử dụng CP

Bản mô tả phân bố công suất trễ của kênh PDP (*Power Delay Profile*) được cho trong các mô hình kênh là các thống kê về quan hệ giữa các giá trị công suất trung bình thu được tại các thời gian trễ khác nhau so với công suất tín hiệu đến sớm nhất. Điều này chỉ ra sự chồng lấn giữa symbol OFDM này đến đoạn đầu CP của symbol OFDM kế tiếp. Như vậy, nếu sử dụng lại CP thì lấy đoạn sau của CP sẽ có lợi hơn. Mặt khác, dưới tác động của pha-đỉnh lên tín hiệu và phương pháp xáo trộn/giải xáo trộn trong cấu trúc giải lặp, việc tính toán hiệu quả hệ thống OFDM tái sử dụng CP bằng giải tích là không khả thi. Vì vậy,

phần này khảo sát hệ thống bằng mô phỏng với độ dài CP khác nhau nhằm tìm ra độ dài CP thích hợp nhất cho hệ thống đề xuất trên kênh pha-đỉnh đa đường.

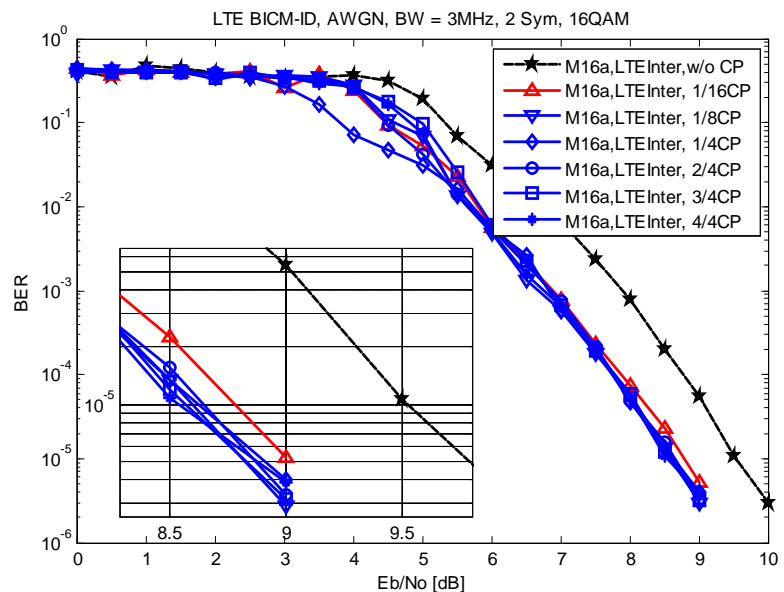
Các tham số mô phỏng dựa theo một số điều kiện cụ thể với độ dài của đoạn CP thay thế là cả đoạn CP (4/4CP), 3/4CP, 2/4CP hay 1/4CP như minh hoạ ở Hình 2.2c, d, e, f, hoặc có thể lấy đến 1/8CP, 1/16CP. Tuy nhiên, việc chia quá nhỏ CP sẽ khó thực hiện trong thực tế.



Hình 2.2: Minh họa các đoạn CP được dùng để tái sử dụng.

Kết quả mô phỏng hệ thống trên kênh Gauss với tập ánh xạ M16a, bộ xáo trộn của LTE được cho trong Hình 2.3.

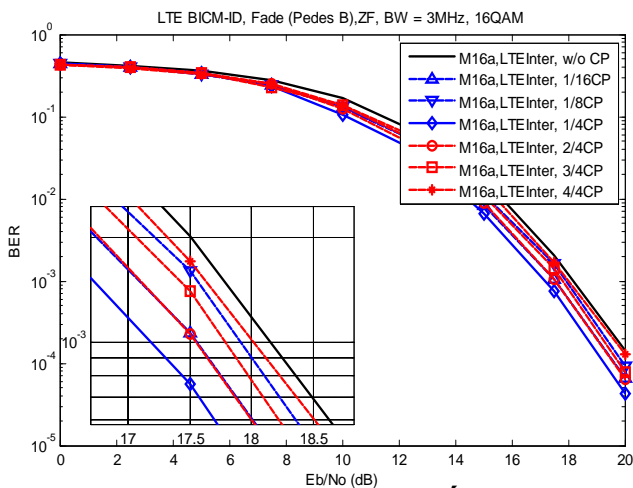
Theo kết quả trên hình này, đường hình ngôi sao nét đứt là BER của hệ thống BICM-ID OFDM thông thường được mô phỏng theo sơ đồ Hình 1.4



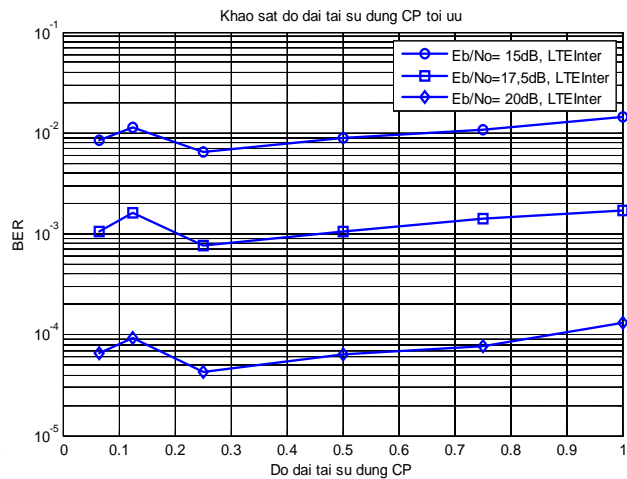
Hình 2.3: So sánh hệ thống tái sử dụng CP so với hệ thống BICM-ID OFDM thông thường trên kênh Gauss, băng thông 3MHz, xáo trộn LTE.

(sau này gọi tắt là hệ thống thông thường). Các đường BER còn lại là của hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP (gọi tắt là hệ thống tái sử dụng CP) theo Hình 2.1 với độ dài đoạn CP sử dụng lại là $1/16CP$, $1/8CP$, $1/4CP$, $2/4CP$, $3/4CP$ và cả đoạn CP ($4/4CP$) tương ứng như chú thích trên hình.

Như vậy, với cùng bộ xáo trộn khối của LTE, kết quả mô phỏng trên cho thấy hệ thống tái sử dụng CP cho kết quả tốt hơn hệ thống thông thường và có độ lợi *xấp xỉ 1dB* ở các giá trị $BER=10^{-3}$, $BER=10^{-4}$, $BER=10^{-5}$ (vì chúng đều chạy song song với nhau) với các độ dài đoạn CP sử dụng lại khác nhau. Ngoài ra, với độ dài CP sử dụng lại khác đều cho kết quả như nhau, điều này có thể tận dụng trong trường hợp kênh pha-đỉnh. Đó là có thể sử dụng độ dài ngắn hơn ($1/4CP$, $1/8CP$ cuối) là đủ đem lại hiệu quả nếu trong trường hợp các đoạn CP phía trước bị ISI.



Hình 2.4: So sánh hệ thống tái sử dụng CP với hệ thống BICM-ID OFDM thông thường trên kênh pha-đỉnh đa đường, băng thông 3MHz, xáo trộn LTE.



Hình 2.5: Khảo sát độ dài tái sử dụng CP tối ưu cho hệ thống tái sử dụng CP.

Để khẳng định hiệu quả của sơ đồ BICM-ID OFDM tái sử dụng CP đề xuất, các kết quả mô phỏng hệ thống này trên kênh pha-đỉnh đa

đường theo mô hình TDL như phần tham số đã đề cập. Các mô phỏng trên kênh pha-đỉnh được chỉ ra ở Hình 2.4.

Theo Hình 2.4, đường trơn nét liền là đường BER của hệ thống thông thường, các đường BER còn lại của hệ thống tái sử dụng CP với độ dài CP sử dụng lại là $4/4CP$, $3/4CP$, $2/4CP$, $1/4CP$, $1/8CP$ và $1/16CP$. Kết quả mô phỏng trên hình cho thấy với việc thay thế độ dài CP khác nhau thì hiệu quả của hệ thống tái sử dụng CP cũng khác nhau. Theo kết quả này, hiệu quả của hệ thống tái sử dụng CP với độ dài đoạn lặp là $1/4CP$ là tốt nhất và *có độ lợi khoảng 1dB* tại giá trị $BER=10^{-3}$ so với hệ thống thông thường, tương tự như kết quả trên kênh Gauss. Để minh họa rõ hơn độ dài tối ưu là $1/4CP$, Hình 2.5 đưa ra các kết quả cụ thể của Hình 2.4 với từng giá trị E_b / N_0 khác nhau. Như vậy, với trường hợp các tham số cụ thể thì chỉ cần sử dụng độ dài $1/4CP$ đạt hiệu quả tối ưu cho hệ thống.

2.4. Kết luận chương

Trên cơ sở phân tích phân giải mã lặp, chương này đề xuất hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP nhằm tận dụng thông tin nằm trong tiền tố vòng để nâng cao hơn nữa hiệu quả của hệ thống. Các kết quả mô phỏng hệ thống cho thấy hệ thống đề xuất có độ lợi có thể lên đến 1dB so với hệ thống BICM-ID OFDM thông thường trên cả kênh Gauss và kênh pha-đỉnh. Độ dài CP tối ưu có thể sử dụng là $1/4CP$.

CHƯƠNG 3

THIẾT KẾ BỘ XÁO TRỘN CHO HỆ THỐNG BICM-ID OFDM TÁI SỬ DỤNG CP

Để có thể triển khai hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP vào thực tiễn, cần phải xem xét đến tính khả thi của hệ thống. Do đó, trong chương này đề xuất một kỹ thuật xáo trộn mới đơn giản, phù hợp với thiết kế thực tiễn cho hệ thống thực đồng thời vẫn cho phép sơ đồ BICM-ID đạt hiệu quả cao để áp dụng cho hệ thống tái sử dụng CP và hệ thống BICM-ID OFDM thông thường.

3.1. Tổng quan về một số kỹ thuật xáo trộn

Mục đích của bộ xáo trộn là làm phân tán chùm lỗi (lỗi cụm) trong truyền dẫn trên kênh pha-đỉnh thành các lỗi đơn, sau đó các bộ giải mã sẽ giúp khắc phục các lỗi đơn này để làm cho hệ thống tin cậy hơn. Có nhiều phương pháp và kỹ thuật để thiết kế các bộ xáo trộn. Việc thiết kế bộ xáo trộn cũng như việc lựa chọn độ dài khối bit xáo trộn một cách hợp lý có tính chất quyết định đến chất lượng của bộ xáo trộn và qua đó ảnh hưởng đến hiệu quả của hệ thống BICM-ID.

Các bộ xáo trộn thường được sử dụng có thể phân chia làm ba loại chính: xáo trộn khối, xáo trộn giả ngẫu nhiên và xáo trộn ngẫu nhiên. Kỹ thuật xáo trộn khối là kỹ thuật xáo trộn đơn giản nhất trong đó các thông tin đầu vào được ghi thành một khối dữ liệu (có thể là khối vuông hoặc không vuông) theo một quy tắc nhất định, thông tin đầu ra được đọc trên khối dữ liệu đó theo một quy tắc khác. Quá trình xáo trộn đạt được chính là quá trình ghi và đọc thông tin trên khối dữ liệu đó. Kỹ thuật xáo trộn thứ hai là kỹ thuật xáo trộn giả ngẫu nhiên trong đó quan hệ giữa các

bít đầu ra và các bít đầu vào theo một quy luật nào đó để có tính ngẫu nhiên lớn nhất. Kỹ thuật xáo trộn thứ ba kỹ thuật xáo trộn ngẫu nhiên (*Random*), kỹ thuật này cần số bước bằng đúng độ dài bít cần xáo trộn trong đó địa chỉ đầu ra lần lượt được chọn một cách ngẫu nhiên một trong số địa chỉ các bít đầu vào.

Đối với kỹ thuật xáo trộn khối, kỹ thuật này cho thấy ưu điểm là quá trình xáo trộn rất đơn giản, dễ thiết kế chế tạo nên trên thực tế, bộ xáo trộn này được sử dụng rất nhiều trong các thiết bị truyền dẫn. Nhưng nhược điểm của kỹ thuật này là hiệu quả xáo trộn thấp. Với kỹ thuật xáo trộn giả ngẫu nhiên, việc thiết kế bộ xáo trộn cần phải có các điều kiện ràng buộc giữa đầu vào và đầu ra nên vấn đề thiết kế và áp dụng vào thực tiễn tương đối phức tạp.

Có thể đánh giá bộ xáo trộn khối và bộ xáo trộn giả ngẫu nhiên dựa trên hai nguyên tắc: nguyên lý xáo trộn và phương pháp thực hiện bộ xáo trộn. Về nguyên lý xáo trộn đã được trình bày ở trên. Về phương pháp thực hiện bộ xáo trộn và giải xáo trộn có thể chia làm hai loại: phương pháp sử dụng bảng tra (*Look-Up-Table - LUT*) và phương pháp sử dụng bộ tạo địa chỉ (*Address-Generation-Unit - AGU*). Phương pháp sử dụng LUT có độ phức tạp về phần cứng thấp và các kỹ thuật xáo trộn khối thực tế sử dụng phương pháp này. Với phương pháp sử dụng bộ tạo địa chỉ (AGU), bộ xáo trộn cần có một bộ AGU tạo ra các địa chỉ ghi vào và đọc ra ở bộ nhớ dữ liệu. Bộ AGU dựa trên một thuật toán nào đó để tính toán địa chỉ ghi và đọc. Đối với việc thực hiện bộ xáo trộn và giải xáo trộn sử dụng AGU, thách thức lớn nhất chính là việc đơn giản hoá các tính toán địa chỉ cho AGU và sự đồng bộ với quá trình ghi đọc

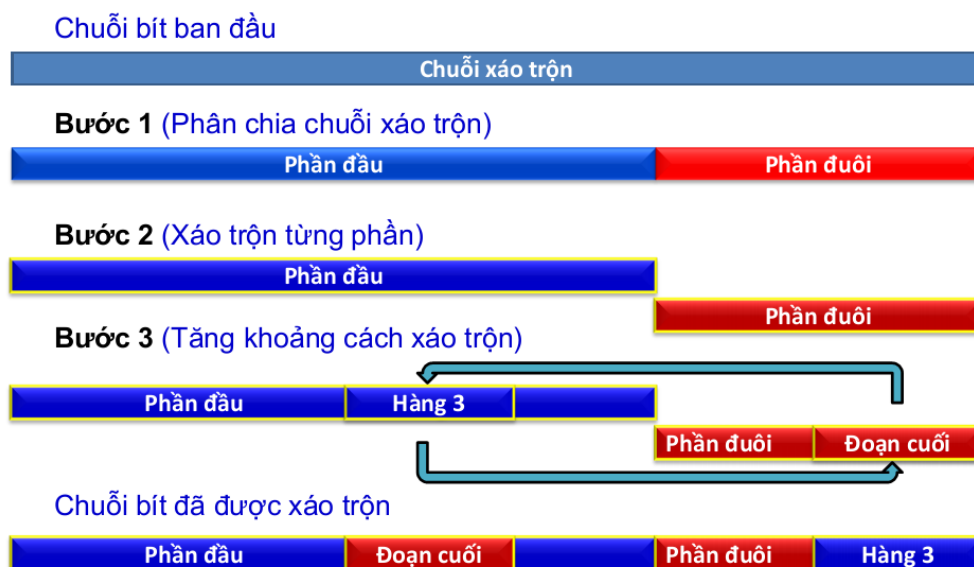
dữ liệu, đặc biệt với hệ thống yêu cầu tốc độ cao. Các bộ xáo trộn giả ngẫu nhiên đều sử dụng phương pháp AGU. Chính vì vậy, các bộ xáo trộn giả ngẫu nhiên phức tạp hơn nhiều so với kỹ thuật xáo trộn khối trên cả nguyên lý và việc thực hiện trong thực tế.

3.2. Thiết kế bộ xáo trộn mới cho hệ thống BICM-ID OFDM

Trong các hệ thống sử dụng BICM-ID, việc quyết định giá trị một bit trong symbol tín hiệu dựa vào các bit khác cùng symbol. Vì vậy, việc thiết kế bộ xáo trộn này được tính toán sao cho: thứ nhất vị trí các bit trong cùng một symbol đảm bảo cách xa nhau; thứ hai vị trí các bit trong cùng một symbol sẽ nằm ở các sóng mang con càng xa nhau càng tốt; thứ ba là các bit nằm ở CP kết hợp với các bit ở điều kiện thuận lợi.

Thiết kế bộ xáo trộn

Kỹ thuật xáo trộn này được thiết kế dựa trên kỹ thuật xáo trộn khối, áp dụng cho kỹ thuật điều chế M mức, tương ứng với m bit/symbol với $m = \log_2 M$, độ dài bit xáo trộn phải chia hết cho $4 \times m$, và được chia làm các bước (được minh họa trong Hình 3.1) như sau:



Hình 3.1: Minh họa các bước thiết kế bộ xáo trộn.

Bước 1: Phân chia chuỗi xáo trộn.

Chuỗi bit có độ dài L được chia làm 2 phần được gọi là phần đầu và phần đuôi (phần đầu dài $3/4 (3L/4)$, phần đuôi dài $1/4 (L/4)$).

Bước 2: Thực hiện xáo trộn cho từng phần.

- Phần đầu được xếp thành khối ma trận với m hàng tương ứng m bit/symbol điều chế và c cột. Hàng 1 sẽ là các bit thứ 1 của các symbol m bit (dịch vòng $(0/m) \times c$ sang phải). Hàng 2 là các bit thứ 2 của các symbol này nhưng được dịch vòng sang phải $(1/m) \times c$ vị trí ($1/m$ số cột). Hàng 3 là các bit thứ 3 và dịch vòng sang phải $(2/m) \times c$. Các hàng tiếp theo được sắp xếp và dịch vòng tương tự trên.

- Phần đuôi của chuỗi bit ($1/4$ chuỗi) cũng được làm tương tự xếp thành khối và thực hiện dịch tương tự như phần đầu. Khoảng cách lớn nhất giữa các bit trong một symbol là: $\frac{(1+m)}{m} \times c'$ vị trí trong đó $c' = L/4m$ với c' là số cột tương ứng của phần đuôi đã sắp xếp thành khối.

Bước 3: Tăng khoảng cách xáo trộn

Thực hiện đảo một phần cuối của phần đuôi cho hàng thứ 3 phần đầu (tương ứng số bit cần đảo là: $\frac{1}{m} \cdot \frac{3L}{4m} = \frac{3L}{4m^2}$ ($1/m$ của $3/4$ chuỗi bit)).

Cuối cùng là đọc ra theo hàng (như xáo trộn khối thông thường) của phần đầu rồi đến phần đuôi.

3.3. Khảo sát hiệu quả bộ xáo trộn mới với hệ thống BICM-ID OFDM

Trong hệ thống BICM-ID OFDM, phần tính số đo bit, xáo trộn/giải xáo trộn, giải mã mềm (SISO) tạo thành cấu trúc giải lặp (BICM-ID) là yếu tố quyết định đến chất lượng hệ thống. Vì vậy trong phần này, luận

án dựa trên các yếu tố ảnh hưởng đến hệ thống BICM-ID làm cơ sở để khảo sát hiệu quả của bộ xáo trộn đề xuất. Dựa trên các yếu tố này, mục tiếp theo luận án khảo sát hiệu quả bộ xáo trộn mới cho hệ thống BICM-ID OFDM. Từ các khảo sát đó, luận án đưa ra được các tham số phù hợp nhất cho hệ thống này.

3.3.1. Các yếu tố ảnh hưởng tới chất lượng của hệ thống BICM-ID

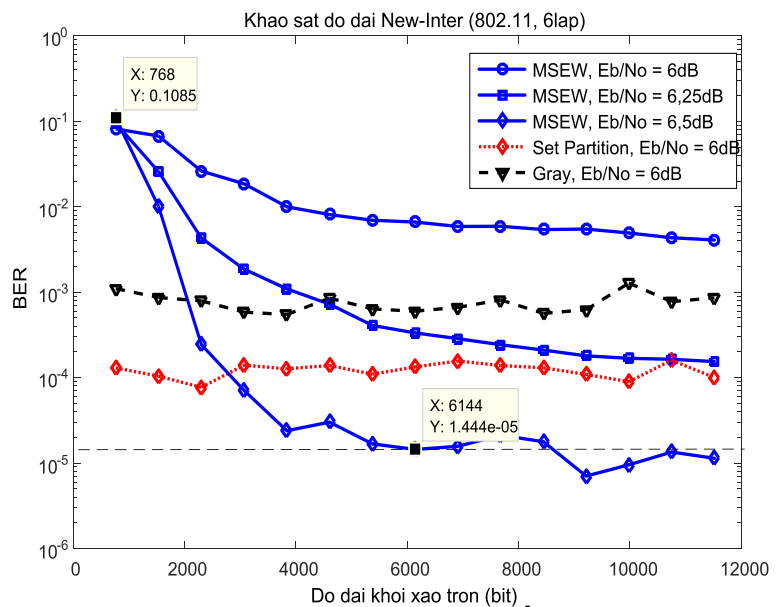
Chất lượng của sơ đồ BICM-ID phụ thuộc vào tập ánh xạ, bộ mã chập, hệ số tỷ lệ SF, số lần lặp cho hệ thống và bộ xáo trộn bit.

3.3.2. Khảo sát hiệu quả bộ xáo trộn mới với hệ thống BICM-ID OFDM

Khảo sát độ dài khối bit xáo trộn

Các kết quả khảo sát sử dụng chương trình mô phỏng bằng phần mềm MATLAB với các tập ánh xạ dùng để khảo sát: phân hoạch tập SP (*Set Partition*), Gray và bình phương trọng số σ -cơ-lít cực đại MSEW (*Maximum Squared Euclidan Weight*). Kết quả được thể hiện ở Hình 3.2.

Dựa trên kết quả Hình 3.2 cho thấy, với hai tập ánh xạ này Gray và phân hoạch tập, việc thay đổi độ dài xáo trộn không làm thay đổi chất lượng hệ thống. Với tập ánh xạ MSEW, kết quả này chỉ ra rằng hiệu quả bộ xáo trộn đề xuất phụ thuộc kích



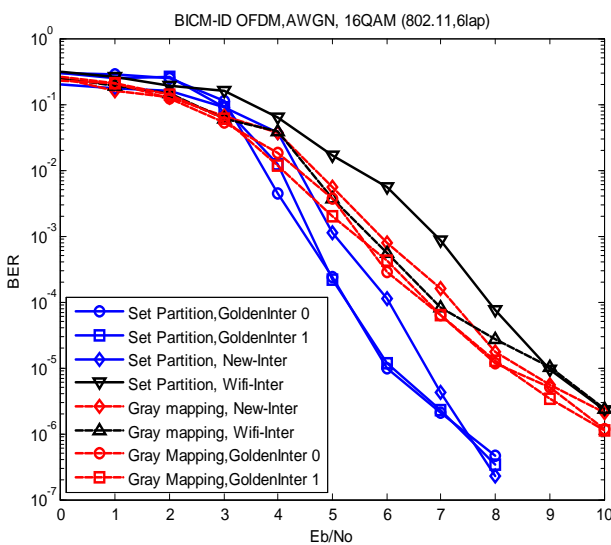
Hình 3.2: Khảo sát độ dài khối xáo trộn với các tập ánh xạ và mức năng lượng bit E_b / N_0

thước bộ xáo trộn và mức năng lượng bit để đạt được thông tin tin cậy.

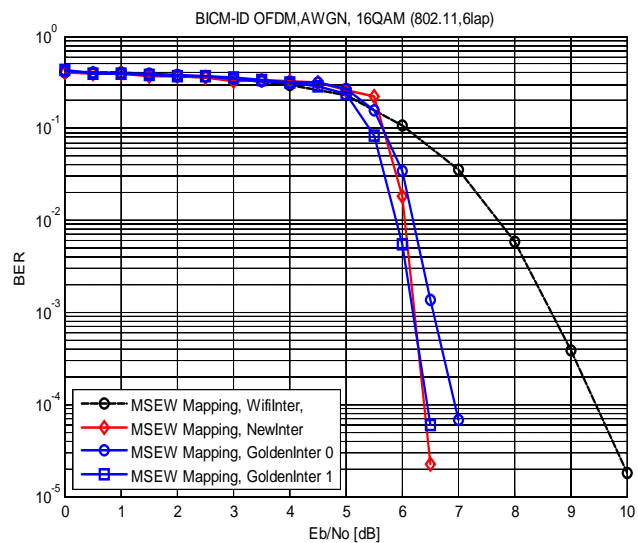
Như vậy, bộ xáo trộn mới đề xuất cho hệ thống BICM-ID OFDM đạt hiệu quả cao khi sử dụng tập ánh xạ phù hợp (MSEW) với độ dài xáo trộn nhất định (6144bit).

Khảo sát chất lượng của bộ xáo trộn mới với một số bộ xáo trộn khác

Để đánh giá hiệu quả của kỹ thuật xáo trộn mới (NewInter), luận án thực hiện so sánh và đánh giá với các kỹ thuật xáo trộn khác là: hai kỹ thuật xáo trộn giả ngẫu nhiên Relative Prime (GoldenInter0) và Dithered Relative Prime trong (GoldenInter1), bộ xáo trộn khối của chuẩn 802.11 (WifiInter), bộ xáo trộn của LTE (LTEInter). Hình 3.3, Hình 3.4, Hình 3.5 và Hình 3.6 chỉ ra kết quả so sánh giữa các kỹ thuật xáo trộn trên cả kênh Gauss và kênh pha-đỉnh.



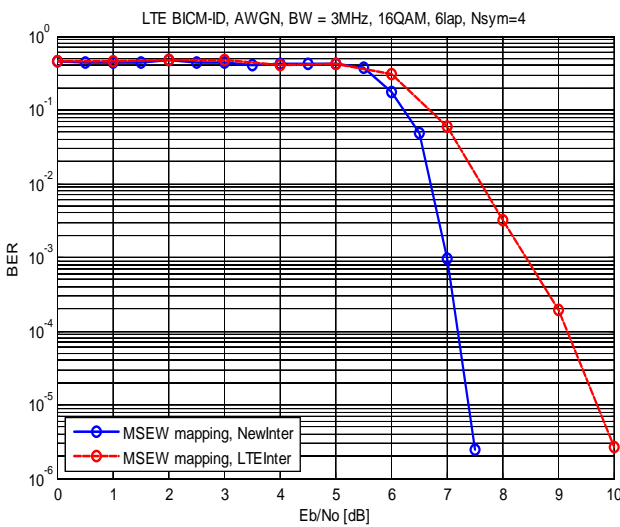
Hình 3.3: So sánh hiệu quả của các kỹ thuật xáo trộn với tập ánh xạ phân hoạch tập và Gray trên kênh Gauss, độ dài khối xáo trộn 6144 bit.



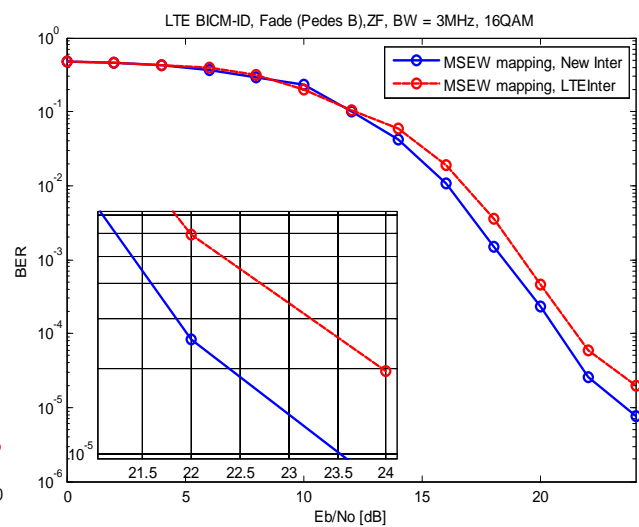
Hình 3.4: So sánh hiệu quả của các kỹ thuật xáo trộn với tập ánh xạ MSEW trên kênh Gauss, độ dài khối xáo trộn 6144 bit.

Kết quả mô phỏng trên Hình 3.4 đã cho thấy, bộ xáo trộn mới mặc dù là bộ xáo trộn khối nhưng *chất lượng của bộ xáo trộn này tương*

đương với 2 bộ xáo trộn giả ngẫu nhiên. Khi so sánh các bộ xáo trộn khối với nhau ở các kết quả mô phỏng trên Hình 3.4, Hình 3.5 và Hình 3.6. Bộ xáo trộn đề xuất cho chất lượng tốt hơn kỹ thuật xáo trộn khối của chuẩn 802.11 và LTE. Đặc biệt là với hệ thống LTE đang rất thịnh hành, mặc dù với tập ánh xạ MSEW nhưng các kết quả mô phỏng (trên kênh Gauss và kênh pha-đỉnh đa đường) cho thấy hiệu quả của kỹ thuật xáo trộn đề xuất tốt hơn kỹ thuật xáo trộn của hệ thống LTE.



Hình 3.5: So sánh kỹ thuật xáo trộn mới với kỹ thuật xáo trộn LTE dùng tập ánh xạ MSEW trên kênh Gauss, độ dài khối xáo trộn 2880 bit.

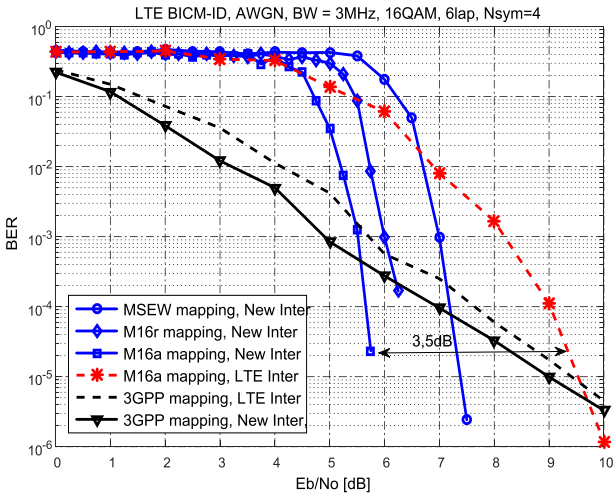


Hình 3.6: So sánh kỹ thuật xáo trộn mới và kỹ thuật xáo trộn LTE dùng tập ánh xạ MSEW trên kênh pha-đỉnh đa đường, độ dài khối xáo trộn 2880 bit.

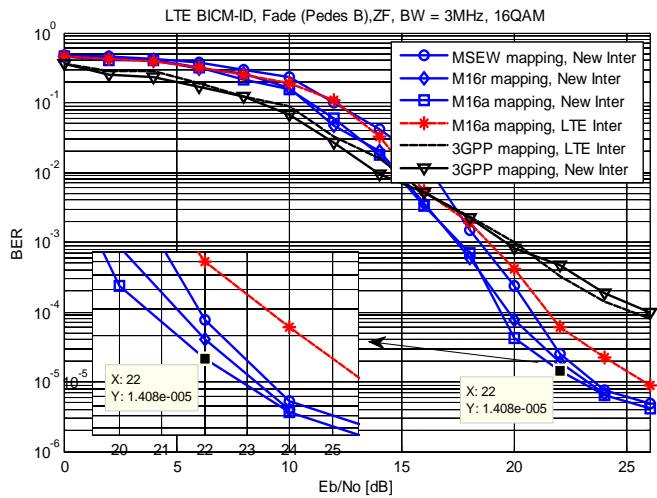
Khảo sát chất lượng của bộ xáo trộn mới với các tập ánh xạ

Các tham số về bộ mã hoá kênh, OFDM, tập ánh xạ điều chế 16QAM, kênh truyền TDL. Các kết quả khảo sát chất lượng của bộ xáo trộn đề xuất với các tập ánh xạ khác nhau được cho trong Hình 3.7 và Hình 3.8. Dựa vào các kết quả này, với bộ xáo trộn mới, chất lượng của hệ thống BICM-ID OFDM được cải thiện đáng kể so với bộ xáo trộn khối thông thường. Khi khảo sát chất lượng của hệ thống với các tập ánh

xạ khác nhau kết hợp với bộ xáo trộn mới, các kết quả đều chỉ ra các tập ánh xạ tối ưu M16a, M16r và MSEW đều cho phẩm chất tốt, và tập ánh xạ tốt nhất là tập ánh xạ tối ưu M16a.



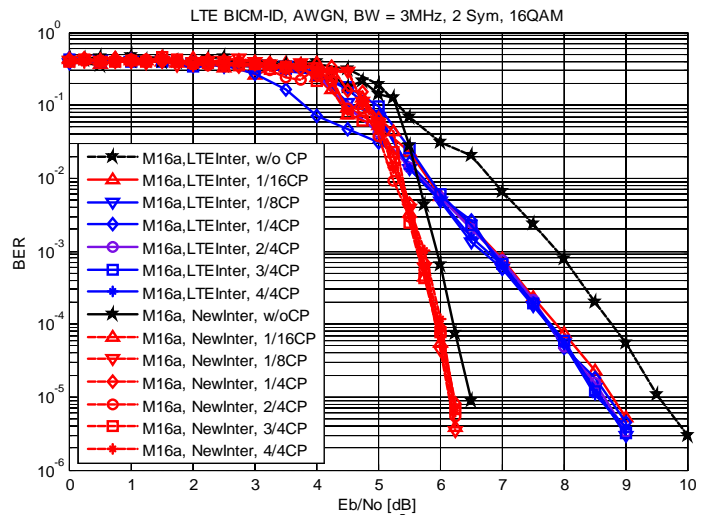
Hình 3.7: Đánh giá các tập ánh xạ và bộ xáo trộn khác nhau của hệ thống BICM-ID OFDM trên kênh Gauss dựa trên tham số của LTE, dải thông 3MHz.



Hình 3.8: Đánh giá các tập ánh xạ và bộ xáo trộn khác nhau của hệ thống BICM-ID OFDM trên kênh pha-đỉnh đa đường dựa trên tham số của LTE, dải thông 3MHz.

3.4. Kết quả mô phỏng bộ xáo trộn đề xuất cho hệ thống tái sử dụng CP

Với bộ xáo trộn đề xuất mới, cùng với tập ánh xạ M16a, Hình 3.9 cho thấy kết quả so sánh hệ thống tái sử dụng CP so với hệ thống thông thường trên kênh Gauss. Theo kết quả này, hệ

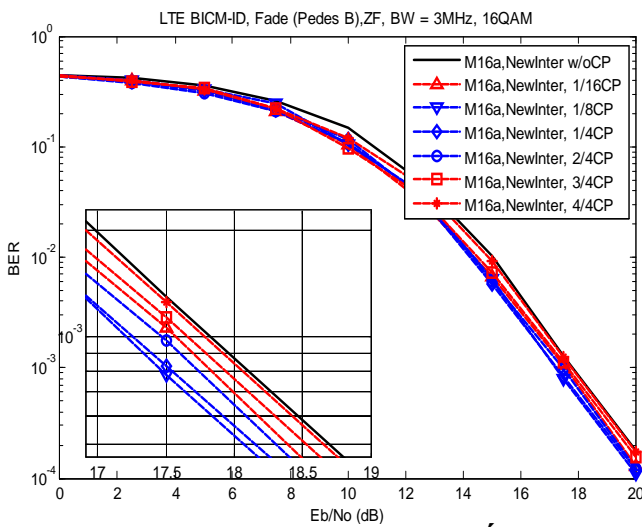


Hình 3.9: So sánh hệ thống tái sử dụng CP so với hệ thống BICM-ID OFDM thông thường trên kênh Gauss dựa trên tham số của LTE, băng thông 3MHz, bộ xáo trộn mới và bộ xáo trộn khối của LTE.

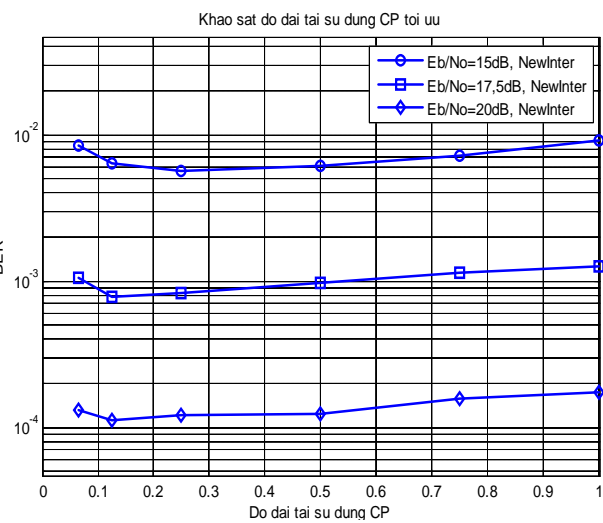
thống tái sử dụng CP (với độ dài CP sử dụng lại tương ứng theo chú thích) có độ lợi so với hệ thống thông thường khoảng 0,25dB. Kết quả

cũng chỉ ra chất lượng của bộ xáo trộn mới tốt hơn bộ xáo trộn của LTE (đã chỉ ra trong Hình 2.3). Ngoài ra, tại giá trị $BER=10^{-5}$ thì bộ xáo trộn mới có độ lợi khoảng $2,25dB$ so với bộ xáo trộn của LTE khi cùng thực hiện trên hệ thống tái sử dụng CP.

Các kết quả mô phỏng hệ thống thông thường và hệ thống tái sử dụng CP sử dụng bộ xáo trộn mới trên kênh pha-đỉnh được chỉ ra ở Hình 3.10 và Hình 3.11.



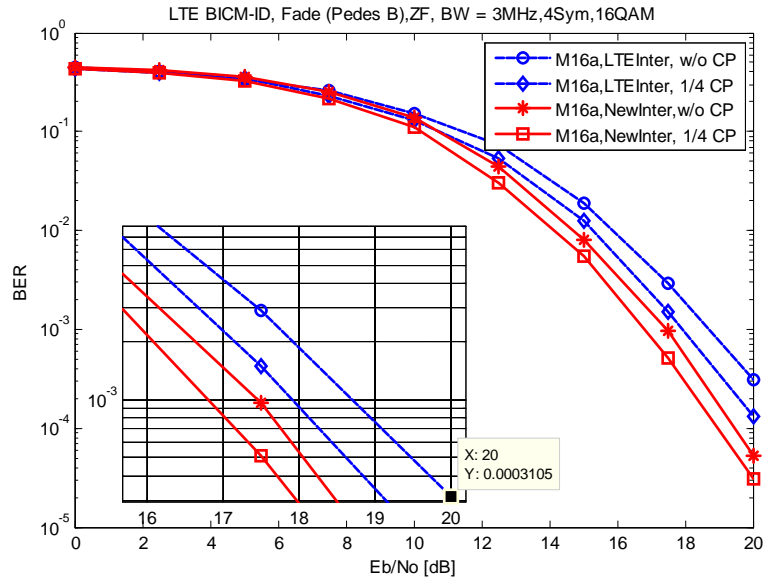
Hình 3.10: So sánh hệ thống tái sử dụng CP với hệ thống thông thường trên kênh pha-đỉnh đa đường, dựa trên tham số của LTE, băng thông 3MHz sử dụng bộ xáo trộn đề xuất.



Hình 3.11: Khảo sát độ dài tái sử dụng CP tối ưu với kỹ thuật xáo trộn mới.

Trong Hình 3.10, các đường BER nét đứt biểu thị cho hệ thống tái sử dụng CP với các độ dài CP sử dụng lại là 4/4CP, 3/4CP, 2/4CP, 1/4CP, 1/8CP và 1/16CP. Theo kết quả này, hiệu quả của hệ thống tái sử dụng CP với độ dài đoạn lặp là 1/4CP và 1/8CP là tốt nhất và có độ lợi khoảng $0,5dB$ tại giá trị $BER=10^{-3}$ so với hệ thống thông thường. Chính vì vậy, bộ xáo trộn mới có thể cho hệ thống tái sử dụng được độ dài CP ngắn (1/8CP). Hình 3.11 minh họa rõ hơn độ dài tối ưu là 1/4CP và 1/8CP với từng giá trị E_b / N_0 khác nhau.

Hiệu quả của kỹ thuật xáo trộn mới đề xuất so với kỹ thuật xáo trộn của LTE với hệ thống thông thường đã được chỉ ra trong mục 3.3.2. Với hệ thống tái sử dụng CP, các kết quả mô phỏng cho hai kỹ thuật xáo trộn này được so sánh trong Hình 3.12 với độ dài chuỗi bit xáo trộn là 2880 bit, tương đương 4 symbol OFDM. Theo kết quả này, tại giá trị $BER = 10^{-3}$ (hình nhỏ), độ lợi của kỹ thuật xáo trộn mới so với kỹ thuật xáo trộn của LTE khoảng hơn 1dB khi cùng sử dụng trên hệ thống tái sử dụng CP.



Hình 3.12: So sánh hiệu quả của kỹ thuật xáo trộn mới với xáo trộn LTE trên kênh pha-đỉnh đa đường với độ dài xáo trộn 2880 bit, băng thông 3MHz

3.5. Kết luận chương

Chương 3 đã đề xuất một bộ xáo trộn mới dựa trên kỹ thuật xáo trộn khối nhằm phù hợp với thiết kế hệ thống thực. Các kết quả mô phỏng đã chỉ ra chất lượng bộ xáo trộn khối đề xuất tương đương với bộ xáo trộn giả ngẫu nhiên và tốt hơn bộ xáo trộn khối của hệ thống Wifi và LTE. Các kết quả khảo sát đã chỉ ra các tham số phù hợp nhất khi dùng bộ xáo trộn mới. Khi áp dụng bộ xáo trộn mới này cho hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP, hiệu quả của hệ thống cũng được cải thiện tốt hơn và tốt hơn nhiều so với bộ xáo trộn của LTE.

KẾT LUẬN VÀ ĐỊNH HƯỚNG NGHIÊN CỨU

Trên cơ sở hệ thống BICM-ID, luận án nghiên cứu sự kết hợp giữa sơ đồ BICM-ID và kỹ thuật truyền dẫn OFDM. Việc kết hợp này cho phép có thể sử dụng lại CP để cải thiện chất lượng hệ thống.

A./ Những kết quả chính của luận án

- 1./ Đề xuất hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP để sử dụng lượng thông tin có ích trong CP nhằm cải thiện chất lượng của hệ thống.
- 2./ Đề xuất một kỹ thuật xáo trộn mới dựa trên xáo trộn khối. Bộ xáo trộn này có tính khả thi cao do phù hợp với hệ thống OFDM thực tế hiện nay đồng thời vẫn phát huy hiệu quả của sơ đồ BICM-ID. Các kết quả khảo sát đã chỉ ra các tham số phù hợp cho hệ thống BICM-ID OFDM và độ dài CP sử dụng lại phù hợp nhất cho hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP.

B./ Hướng nghiên cứu tiếp theo

Trên cơ sở những kết quả đã đạt được của luận án, các hướng phát triển tiếp theo có thể xác định như sau:

- 1./ Nghiên cứu các phương án thực hiện giải mã lặp nhằm cải thiện chất lượng của hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP hơn nữa.
- 2./ Nghiên cứu và khảo sát hiệu quả của hệ thống BICM-ID OFDM tái sử dụng CP trên các mô hình kênh khác như: nakagami-m, kênh pha-đỉnh có hiện tượng doppler,
- 3./ Từng bước triển khai ứng dụng các kết quả nghiên cứu vào thực tế (có thể kết hợp kết quả của nhiều nhóm nghiên cứu) để góp phần cải thiện hiệu quả BICM-ID OFDM.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

- [1]. **Trần Anh Thắng**, Lê Duy Minh, Lê Thị Huyền Trang (2015), "Hiệu quả của giải mã lặp trong hệ thống trải phổ," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Thái Nguyên*, tập số 137, trang 113-119.
- [2]. Phạm Xuân Nghĩa, **Trần Anh Thắng** (07-2016), "Đánh giá hiệu quả sử dụng sơ đồ BICM-ID cho truyền dẫn OFDM và chuẩn 802.11," *Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự*, vol. Số Đặc san ACMEC, trang 112-119,.
- [3]. Đinh Thế Cường, **Trần Anh Thắng**, Phạm Xuân Nghĩa (2017), "Kỹ thuật xáo trộn mới cho hệ thống BICM-ID OFDM," *Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ quân sự*, Số đặc san, ACMEC, trang 99-106.
- [4]. **Trần Anh Thắng**, Phạm Xuân Nghĩa, Đinh Thế Cường (2017), "Cải tiến giải pháp kỹ thuật trên giao diện vô tuyến của hệ thống LTE theo hướng sử dụng sơ đồ BICM-ID," *Tạp chí Khoa học và kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự*, tập số 187, trang 112-122.
- [5]. **Trần Anh Thắng**, Đinh Thế Cường, Phạm Xuân Nghĩa (2017), "Tái sử dụng CP cho hệ thống BICM-ID OFDM," *Tạp chí nghiên cứu khoa học và Công nghệ quân sự*, tập số 52, trang 68-78.