

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

HOÀNG TRUNG KIÊN

**ỨNG DỤNG HỆ THỐNG ĐIỀU CHẾ
MÃ CÓ XÁO TRỘN VỊ TRÍ BÍT VÀ
GIẢI MÃ LẶP ĐỂ NÂNG CAO CHẤT
LƯỢNG GHI/ĐỌC DỮ LIỆU**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – 2014

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

HOÀNG TRUNG KIÊN

**ỨNG DỤNG HỆ THỐNG ĐIỀU CHẾ
MÃ CÓ XÁO TRỘN VỊ TRÍ BÍT VÀ
GIẢI MÃ LẶP ĐỂ NÂNG CAO CHẤT
LƯỢNG GHI/ĐỌC DỮ LIỆU**

Chuyên ngành: Kỹ thuật điện tử

Mã số: 62 52 02 03

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. PGS TS TRƯƠNG VĂN CẬP
2. PGS TS ĐÌNH THẾ CƯỜNG

HÀ NỘI – 2014

MỞ ĐẦU

Như chúng ta đã biết, việc lưu trữ và phục hồi dữ liệu của thông tin số là một trường hợp đặc biệt của liên lạc số. Các đường liên lạc truyền thông tin từ nơi này đến nơi khác, trong khi đó các thiết bị lưu trữ dữ liệu truyền thông tin từ thời điểm này đến thời điểm khác. Bởi vậy khi lý thuyết thông tin cung cấp các nền tảng lý thuyết cho thông tin số, thì ngoài ra nó còn được xem là cơ sở để hiểu các giới hạn cơ bản đối với tỷ lệ dữ liệu và mật độ lưu trữ trong việc ghi dữ liệu số tin cậy.

Cũng như ở trong các hệ thống liên lạc số, một số phương pháp liên kết với mã kênh đã được áp dụng trong việc ghi dữ liệu, bao gồm một mã sửa lỗi đại số kết hợp với một mã điều chế. Mã điều chế vòng trong có chức năng chính là làm phù hợp các tín hiệu được ghi với kênh vật lý và với các kỹ thuật xử lý tín hiệu được sử dụng trong phục hồi dữ liệu. Trong khi đó các mã sửa lỗi vòng ngoài được thiết kế để loại trừ các lỗi còn lại sau quá trình nhận dạng và giải điều chế.

Song song với sự phát triển của truyền dẫn số, lĩnh vực ghi từ cũng có những phát triển vượt bậc trong suốt hơn 60 năm qua. Nếu tăng tỷ lệ truyền dẫn số tin cậy là thành quả của truyền tin thì mục tiêu của các kỹ thuật ghi từ là tăng mật độ ghi. Để đạt được mục tiêu này, các nghiên cứu được tiến hành trên cả ba hướng, đó là a) Nghiên cứu về vật liệu và phương pháp ghi, b) Mô hình hóa kênh ghi, và c) Các phương pháp xử lý tín hiệu và mã hóa. Trong luận án này giới hạn việc nghiên cứu về mã hóa và giải mã cho các kênh ghi từ (Magnetic Recording - MR).

Sự phức tạp của việc xử lý tín hiệu trong quá trình đọc và biến đổi tín hiệu từ tính trở thành tín hiệu số ở mật độ cao đã thúc đẩy việc ứng dụng các kỹ thuật mã hoá và xử lý tín hiệu số tiên tiến cho các hệ thống ghi từ. Các kênh ghi từ có thể xem là một kênh ISI bị ràng buộc đầu vào nhị phân. San bằng và mã hoá là những công cụ hữu ích nhất để đạt được truyền tin tin cậy

trên các kênh như vậy. Tuy nhiên, ràng buộc đầu vào nhị phân yêu cầu phải có tăng ích mã hoá lớn để bù suy giảm chất lượng do tăng tỷ lệ hóa mã, và chính điều này làm hạn chế khả năng áp dụng kỹ thuật mã hoá cho ghi từ. Trong những năm gần đây, việc phát minh ra mã Turbo và mã LDPC đã thúc đẩy những nghiên cứu về mã tiệm cận dung lượng và các thuật toán giải mã lặp cho ghi từ.

Sơ đồ điều chế mã có hoán vị bit và giải mã lặp (BICM-ID: Bit Interleaved Coded Modulation with Iterative Decoding), có cấu trúc kết hợp giải điều chế/giải mã mềm theo nguyên lý xử lý lặp, trong đó việc giải mã từng bit được tiến hành dựa trên thông tin về các bit khác trong cùng dấu. Thông tin này được cải thiện qua từng lần lặp, và khi đạt mức độ hoàn hảo thì bộ tín hiệu M mức có thể được coi tương đương như $M/2$ cặp tín hiệu BPSK độc lập [33]. Nếu phép ánh xạ được lựa chọn hợp lý nhằm tăng cự ly O-cơ-lit tối thiểu giữa các cặp tín hiệu BPSK này đối với tất cả các vị trí bit trong khi vẫn giữ được cự ly Hamming như mong muốn, thì sơ đồ BICM-ID sẽ phát huy hiệu quả cao trên kênh Gauss nhờ nguyên lý giải mã lặp [34]. Chất lượng của hệ thống BICM-ID phụ thuộc vào mã chập, bộ hoán vị, bộ tín hiệu, phương pháp ánh xạ chuỗi bit lên bộ tín hiệu và phương pháp giải mã lặp.

Trong [2], TS Nguyễn Bình Minh đã nghiên cứu cơ bản về mã chập và trình bày phương pháp tìm mã chập tốt nhất cho kênh Gauss. Trong [2] đã khẳng định có thể sử dụng tiêu chuẩn xác suất lỗi để đánh giá trực tiếp các mã chập tại từng vùng SNR, các mã tốt theo cách đánh giá này được gọi là mã theo tiêu chuẩn tối thiểu hoá xác suất lỗi (Tiêu chuẩn OEP). Cận xác suất lỗi OEP của mã chập và phương pháp tính cận bằng số là cơ sở để thực hiện việc đánh giá mã theo OEP bằng công cụ máy tính. Khi thực hiện đánh giá và lựa chọn mã theo tiêu chuẩn OEP ta nhận được các mã tốt theo tiêu chuẩn OEP. Tồn tại các mã chập tương đương, ta sẽ nhận được mã tương đương khi đảo

chiều, đảo cột ma trận sinh. Khi đánh giá mã theo tiêu chuẩn OEP thì ta chỉ cần xét đến một đại diện trong nhóm mã tương đương.

Trong [3], TS Nguyễn Văn Giáo nghiên cứu đề xuất một số giải pháp để cải thiện chất lượng hệ thống BICM-ID điều chế đa mức (M-PSK) cho kênh thông tin vô tuyến. Trong hệ thống BICM-ID việc giải mã lặp tại phần thu nếu dùng thuật toán Log-Map thì nó rất nhạy cảm với sai số ước lượng tỷ số SNR, còn nếu dùng thuật toán Max-Log-Map thay cho thuật toán Log-Map làm cho hệ thống BICM-ID giảm độ phức tạp tính toán, tuy nhiên chất lượng có giảm sút do sai số trong phép tính xấp xỉ. Trong [3], TS Nguyễn Văn Giáo đã chứng minh trong mỗi vòng lặp giải mã việc dùng hệ số chuẩn hoá SF để nhân với thông tin ngoài làm thông tin tiên nghiệm cho vòng lặp sau có thể cải thiện chất lượng của hệ thống BICM-ID sử dụng thuật toán Log-Map và Max-Log-Map. Giá trị tối ưu của SF cho thuật toán Max-Log-Map là 0,55 và cho thuật toán Log-MAP là SF=0,85. Hơn nữa, với SF = 0,6 đã giúp hệ thống BICM-ID sử dụng Log-MAP bớt nhạy cảm với sai số khi ước lượng SNR. Hệ thống vẫn đảm bảo chất lượng khi ước lượng SNR có sai số từ 0 dB đến 4 dB.

Trong hệ thống BICM-ID sử dụng điều chế đa mức để sử dụng thông tin của bit này để giải mã cho các bit khác trong cùng Symbol. Đối với các bộ ánh xạ đa mức, hiệu quả của chúng khi sử dụng trong hệ thống BICM-ID liên quan chặt chẽ đến hồ sơ cự ly O-cơ-lít. Bit nào có cự li bit càng lớn thì xác suất lỗi của bit ở vị trí đó càng nhỏ, nói cách khác là mức bảo vệ bit lớn hơn. Trên cơ sở khái niệm ánh xạ có mức bảo vệ đều, [3] đã trình bày phương pháp xây dựng bộ ánh xạ tín hiệu bằng cách lấy ánh xạ theo phân hoạch tập (SP) làm cơ sở, sau đó lấy bit có mức bảo vệ thấp nhất cộng modulo 2 vào bit có mức bảo vệ bit cao nhất.

Với một bộ tín hiệu M-PSK, từ trạng thái đối xứng ban đầu, nếu dịch chuyển vị trí các điểm tín hiệu lệch đi sao cho cự li bit tăng lên, thì chắc chắn cải thiện được hiệu quả của hệ thống. Có thể điều chỉnh vị trí các điểm

tín hiệu trong chòm sao tín hiệu thích nghi theo tỉ số SNR để cải thiện phẩm chất BER của hệ thống. Trong [3] đã đề xuất phương pháp và lựa chọn tham số điều chỉnh tối ưu điểm tín hiệu trong chòm sao 4-PSK và 8-PSK thích nghi với SNR, theo nghĩa đạt sàn lỗi thấp nhất tại SNR cho trước. Các kết quả này có thể dùng cho thuật toán thích nghi nhằm đạt được chất lượng tốt nhất cho kênh biến đổi chậm.

Nhiều công trình nghiên cứu về BICM-ID [3], [33], [52], [47], [57] đã khẳng định rằng sơ đồ này phát huy hiệu quả cao trong hệ thống truyền tin trên kênh Gauss. Tuy nhiên hệ thống BICM-ID lại đòi hỏi điều chế đa mức, điều này làm hạn chế việc áp dụng trực tiếp mô hình BICM-ID cho ghi từ do tín hiệu đầu vào kênh ghi từ bị ràng buộc phải là nhị phân. Với mục đích ứng dụng các kỹ thuật mã hoá và xử lý tín hiệu rất thành công trong các hệ thống thông tin số cho các hệ thống ghi từ để nâng cao chất lượng ghi/đọc dữ liệu, luận án chọn đề tài nghiên cứu “ **Ứng dụng hệ thống điều chế mã có xáo trộn vị trí bit và giải mã lặp để nâng cao chất lượng ghi/đọc dữ liệu**”

Luận án này đề xuất một phương án xây dựng bộ điều chế/giải điều chế đa chiều kết hợp với việc chọn các cặp mã hoá – ánh xạ tốt nhất để có thể ứng dụng hệ thống BICM-ID cho các hệ thống ghi từ, đồng thời cũng đề mở khả năng cho những phát triển nghiên cứu sau này.

Mục tiêu và cũng là nhiệm vụ cụ thể của đề tài là giải quyết các vấn đề sau:

- Hệ thống BICM-ID đạt được hiệu quả cao trong hệ thống truyền tin. Tuy nhiên hệ thống BICM-ID lại đòi hỏi điều chế đa mức, điều này làm hạn chế việc áp dụng trực tiếp mô hình BICM-ID cho ghi từ. Vấn đề nghiên cứu là thiết kế bộ điều chế/giải điều chế đa chiều kết hợp với việc chọn các bộ ánh xạ có mức bảo vệ bit trung bình lớn trong hệ thống điều chế mã có hoán vị bit và giải mã lặp (BICM-ID) để ứng dụng cho các hệ thống ghi từ.
- Khoảng cách tự do của mã biểu hiện chất lượng của mã kênh, người ta

đã dùng nó trong các công thức tính cận xác suất lỗi của mã. Khi xét thêm ảnh hưởng của điều chế trong một hệ điều chế mã hoá thì trọng số của cự ly bit của bộ tín hiệu điều chế cũng sẽ tham gia vào công thức tính cận xác suất lỗi của hệ thống BICM-ID. Chất lượng của hệ thống BICM-ID tăng cùng với số điểm tín hiệu (mã vòng trong) và số trạng thái của máy mã chập (mã vòng ngoài). Tuy nhiên độ phức tạp cũng tăng theo, trong khi các hệ thống đọc/ghi dữ liệu yêu cầu độ trễ xử lý nhỏ. Để có thể đơn giản trong thiết kế, đánh giá hệ thống BICM-ID dùng tín hiệu đa chiều cho ghi từ, luận án xây dựng mô hình hệ thống tuyến tính trên cơ sở khái niệm ánh xạ lỗi bit đều BGU.

- Chất lượng của hệ thống BICM-ID phụ thuộc vào mã chập, bộ hoán vị, bộ tín hiệu và ánh xạ từ chuỗi bit lên bộ tín hiệu. Để nâng cao hiệu quả của sơ đồ BICM-ID điều chế đa chiều cho ghi từ, luận án trình bày phương pháp và kết quả tìm kiếm vét cạn cặp máy mã - ánh xạ tốt nhất trong hệ thống BICM-ID dùng tín hiệu lưỡng cực nhị phân trong không gian đa chiều.

- Các hệ thống giải lập thường dùng thuật toán Log-MAP để đạt được phẩm chất tốt nhất về BER. Tuy nhiên việc dùng thuật toán này có hai yếu điểm, đó là khá phức tạp trong tính toán và yêu cầu ước lượng chính xác SNR. Khi chuyển sang tín hiệu đa chiều thì số điểm (véc tơ) tín hiệu tăng lên, độ phức tạp tính toán cao. Luận án nghiên cứu áp dụng kết quả về hệ số chuẩn hoá để thay thuật toán Log-MAP bằng thuật toán Max-Log-MAP đơn giản hơn trong khi không suy hao nhiều về phẩm chất.

Đối tượng nghiên cứu

Sơ đồ điều chế đa chiều xây dựng từ tập ± 1 , ánh xạ có xác suất lỗi bit đều, và hệ thống BICM-ID sử dụng các ánh xạ và bộ tín hiệu đa chiều.

Phương pháp nghiên cứu

- Xây dựng mô hình toán học của hệ thống bằng giải tích
- Phân tích chất lượng bằng giải tích kết hợp với mô phỏng máy tính.

Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Đề tài đã đạt được các kết quả nghiên cứu khoa học là:

- Đề xuất tiêu chuẩn thiết kế các cặp mã hoá – ánh xạ tốt nhất cho sơ đồ BICM-ID với hoán vị từng dòng bit.
- Đưa ra một phương pháp điều chế đa chiều, đa điểm tín hiệu để có thể ứng dụng hệ thống BICM-ID cho các hệ thống ghi từ.
- Trình bày phương pháp và kết quả tìm kiếm cặp mã hóa - ánh xạ tốt nhất cho hệ thống BICM-ID điều chế đa chiều.
- Đề xuất sử dụng hệ số chuẩn hoá SF cho hệ thống BICM-ID điều chế đa chiều.

Bố cục của luận án: Luận án được chia thành 3 chương với nội dung chính như sau:

Chương 1 trình bày về: cấu trúc hệ thống ghi từ, các tính chất cơ bản của quá trình ghi; tín hiệu ghi; đặc tính của nhiễu; các mô hình toán học của kênh ghi; các giới hạn lý thuyết thông tin về dung lượng của các mô hình kênh ghi; các kỹ thuật nhận dạng và xử lý tín hiệu đã được ứng dụng rộng rãi trong ghi từ; các ràng buộc mà các chuỗi đầu vào kênh phải thỏa mãn để đảm bảo sự làm việc thành công của quá trình nhận dạng và xử lý dữ liệu.

Chương 2 trình bày về: Hệ thống BICM-ID và các yếu tố ảnh hưởng tới chất lượng của hệ thống BICM-ID; xác định một lớp các ánh xạ mới cho phép đơn giản hoá việc thiết kế và đánh giá hệ thống BICM-ID. Cận trên xác suất lỗi bit mới cho hệ thống BICM-ID cũng được đề xuất cùng với kết quả tìm kiếm bằng máy tính cặp mã hoá - ánh xạ tốt nhất cho hệ thống BICM-ID với hoán vị từng dòng bit.

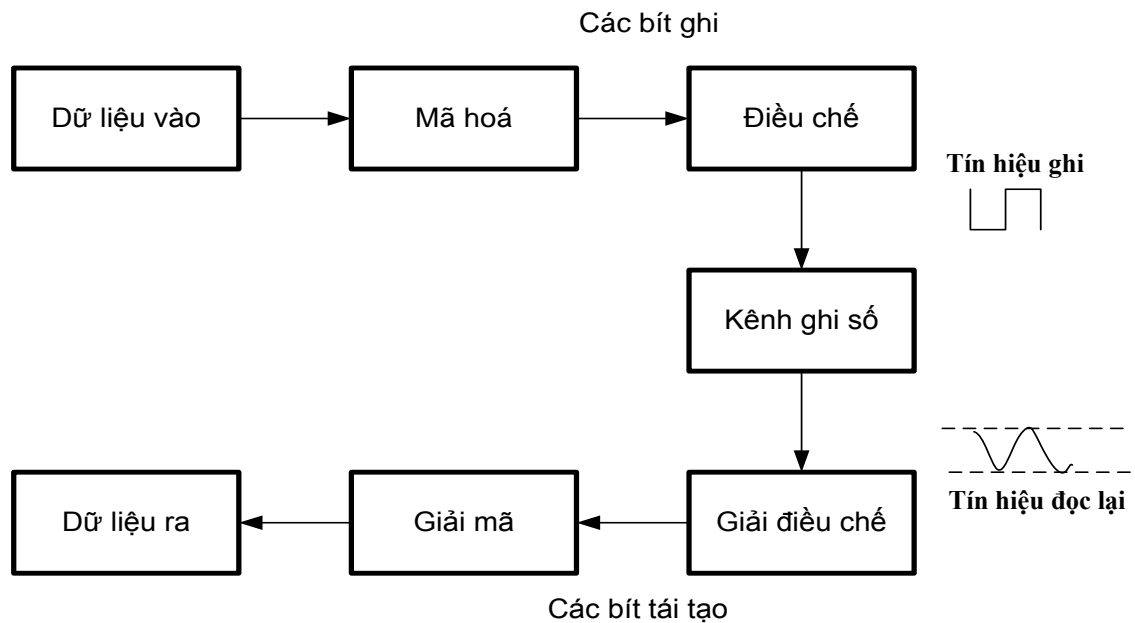
Chương 3 đề xuất một phương án áp dụng nguyên lý xử lý tín hiệu của sơ đồ điều chế mã có hoán vị bit và giải mã lặp (BICM-ID) cho ghi từ trên cơ sở coi véc-tơ của m dấu nhị phân ± 1 liên tiếp như là một điểm trong tập tín hiệu đa chiều. Có nghĩa là chúng ta thay việc ánh xạ một bit vào một dấu nhị

phân ± 1 bằng ánh xạ một tổ hợp m bit vào một véc-tơ chứa m dấu nhị phân ± 1 , với $m \geq 2$. Trình bày phương pháp và kết quả tìm kiếm vét cạn các cặp máy mã - ánh xạ tốt nhất cho sơ đồ BICM-ID dùng tín hiệu lưỡng cực điều chế đa chiều. Đề xuất áp dụng hệ số chuẩn hoá SF để đơn giản việc tính toán trong hệ thống BICM-ID.

Chương 1 **CƠ SỞ LÝ THUYẾT CHO GHI TỪ**

1.1 Hệ thống ghi từ

Nói một cách tổng quát, một hệ thống ghi từ tương đồng với một hệ thống truyền tin. Mục đích của hệ thống truyền tin là làm sao có thể truyền được nhiều bit trong một khoảng thời gian xác định, trong khi đó mục đích của hệ thống ghi từ là làm sao có thể ghi được nhiều bit trong một không gian xác định. Sơ đồ khối mô tả các bước ghi và hồi phục dữ liệu trong một hệ thống ghi từ được trình bày trên Hình 1.1



Hình 1. 1 Sơ đồ khối hệ thống ghi từ

Ghi từ là quá trình lưu trữ dữ liệu số bằng hình thức từ hóa một môi trường vật lý (môi trường ghi). Trong cuộc sống hàng ngày, chúng ta thực hiện lưu trữ rất nhiều dữ liệu trên các vật liệu từ tính. Thẻ tín dụng, vé tàu xe, phù hiệu an ninh, đĩa cứng máy tính, máy ảnh, băng video ... chứa các dữ liệu số được ghi lại bằng từ tính. Dung lượng lưu trữ của đĩa cứng đã tăng lên một cách đáng kể từ khi phát minh ra đĩa cứng đầu tiên của IBM năm 1957. Tương ứng với dung lượng ngày càng tăng của các thiết bị lưu trữ là sự phức tạp của việc xử lý tín hiệu cần thiết để đọc và chuyển đổi tín hiệu từ tính trở thành tín hiệu số.

Lịch sử của việc xử lý tín hiệu trong các hệ thống ghi từ có thể chia một cách rõ ràng thành 2 giai đoạn. Giai đoạn 1 từ năm 1956 đến năm 1990, các thiết bị lưu trữ truy nhập trực tiếp dựa vào các phương pháp tách sóng tương tự, nổi bật nhất là phương pháp tách sóng đỉnh. Giai đoạn 2 từ năm 1990 đến nay, ngành lưu trữ chuyển sang kỹ thuật số, dựa vào san bằng đáp ứng xung bộ phận và tách sóng chuỗi hợp lý cực đại, một phương pháp đã được giới thiệu trước đây 40 năm bởi Kobayashi và Tang [27], [28], [29].