(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)**
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11) **1-0043550**

(51)[7] **H03M 13/13**

(13) **B**

(21) 1-2019-01766 (22) 13/09/2017

(86) PCT/CN2017/101528 13/09/2017 (87) WO/2018/050062 22/03/2018

(30) 62/395,312 15/09/2016 US; 62/396,618 19/09/2016 US; 62/402,862 30/09/2016 US; 62/432,416 09/12/2016 US; 62/432,448 09/12/2016 US; 62/433,127 12/12/2016 US; 15/699,967 08/09/2017 US

(45) 25/02/2025 443 (43) 27/05/2019 374A

(73) HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (CN)
Huawei Administration Building, Bantian, Longgang, Shenzhen, Guangdong 518129, China

(72) ZHANG, Huazi (CN); TONG, Jiajie (CN); LI, Rong (CN); WANG, Jun (CN); TONG, Wen (CA); GE, Yiqun (CN); LIU, Xiaocheng (CN); ZHANG, Gongzheng (CN); WANG, Jian (CN); CHENG, Nan (CN); ZHANG, Qifan (CA).

(74) Công ty Luật TNHH quốc tế BMVN (BMVN INTERNATIONAL LLC)

(54) PHƯƠNG PHÁP VÀ THIẾT BỊ DÙNG ĐỂ MÃ HÓA VÀ GIẢI MÃ DỮ LIỆU

(21) 1-2019-01766

(57) Sáng chế đề xuất phương pháp và thiết bị truyền thông để mã hoá/giải mã dữ liệu bằng cách sử dụng mã cực và phương tiện lưu trữ đọc được bằng máy tính, trong đó các phương án kỹ thuật ánh xạ các bit chẵn lẻ đến các kênh phụ dựa trên các trọng số theo hàng của chúng. Trọng số theo hàng đối với kênh phụ có thể được xem như là số lượng "các số 1" trong hàng tương ứng của ma trận Kronecker hoặc như là luỹ thừa của 2 với số mũ (tức là, trọng số Hamming) là số lượng "các số 1" trong biểu diễn nhị phân của chỉ số kênh phụ (được mô tả thêm dưới đây). Theo một phương án, các kênh phụ ứng viên có các giá trị trọng số theo hàng nhất định được dự trữ cho (các) bit chẵn lẻ. Sau đó, K bit thông tin có thể được ánh xạ đến K kênh phụ còn lại đáng tin cậy nhất này, và số lượng các bit đóng băng (ví dụ, N-K) có thể được ánh xạ đến các kênh phụ ít tin cậy nhất này. Các bit chẵn lẻ có thể sau đó được ánh xạ đến các kênh phụ ứng viên này, và các giá trị bit chẵn lẻ được xác định dựa trên hàm số của của bit thông tin này.

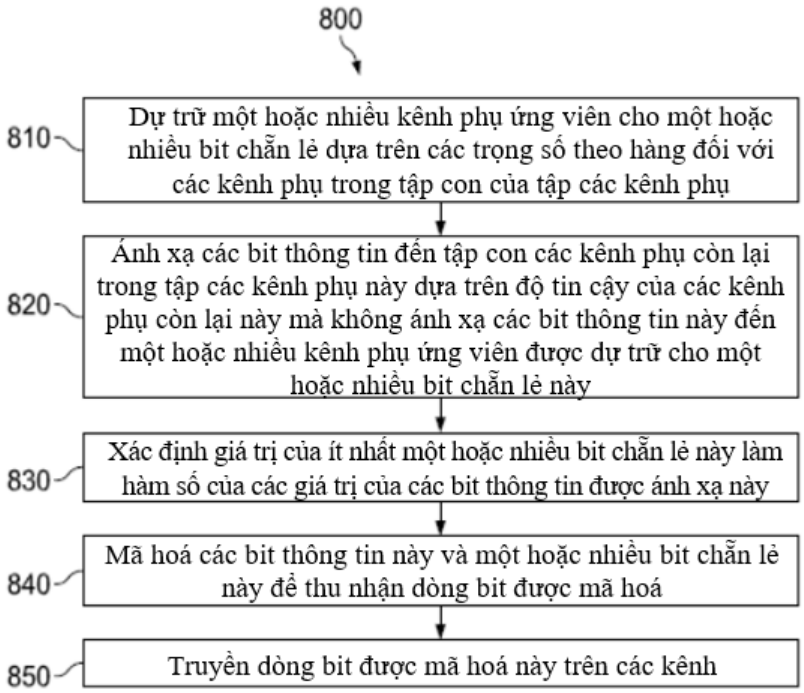


FIG. 8

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế nói chung liên quan đến phương pháp và thiết bị truyền dữ liệu, và cụ thể là đến phương pháp và thiết bị truyền thông để mã hoá/giải mã dữ liệu bằng cách sử dụng mã cực và phương tiện lưu trữ đọc được bằng máy tính.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các mã cực là các mã sửa lỗi khối tuyến tính khai thác sự phân cực kênh để cải thiện tổng dung lượng truyền dẫn. Cụ thể là, các mã cực được thiết kế để truyền các bit thông tin trên các kênh phụ có độ tin cậy cao hơn (ví dụ, các kênh phụ ít tạp âm hơn), trong khi truyền các bit cố định (hoặc bị đóng băng) trên các kênh phụ có độ tin cậy thấp hơn (ví dụ, các kênh phụ nhiều tạp âm hơn). Việc mã hoá cực được mô tả chi tiết hơn bởi bài báo có tiêu đề "Channel Polarization and Polar Codes" (Phân cực kênh và các mã cực).

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Nói chung, các ưu điểm kỹ thuật đạt được bởi các phương án của sáng chế, các phương án này mô tả phương pháp và thiết bị dùng để mã hoá phân cực.

Theo một phương án, sáng chế đề xuất phương pháp mã hoá dữ liệu bằng mã cực. Theo phương án này, phương pháp này bao gồm việc mã hóa cực các bit thông tin và ít nhất một bit chẵn lẻ để thu nhận dữ liệu được mã hoá bằng bộ mã hoá của thiết bị. Ít nhất một bit chẵn lẻ này được đặt trong ít nhất một kênh phụ được lựa chọn cho ít nhất một bit chẵn lẻ này dựa trên tham số trọng số. Phương pháp này còn bao gồm việc truyền dữ liệu được mã hoá này đến thiết bị khác. Trong một ví dụ, tham số trọng số này bao gồm trọng số tối thiểu. Trong ví dụ này, ít nhất một bit chẵn lẻ này có thể được đặt trong ít nhất một trong số số lượng các kênh phụ thứ nhất có trọng số tối thiểu hoặc trong số lượng các kênh phụ thứ hai có trọng số tối thiểu gấp đôi. Trong cùng ví dụ này, hoặc trong ví dụ khác, phương pháp này có thể còn bao gồm việc lựa chọn, từ một phân đoạn gồm các kênh phụ được sắp xếp, ít nhất một kênh phụ có trọng số tối thiểu này. Ít nhất một kênh phụ có trọng số tối thiểu này có thể được lựa chọn từ một phân đoạn gồm K kênh phụ trong số các kênh phụ được sắp xếp này, mỗi kênh phụ trong số K kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn các kênh phụ của phân đoạn $N_0 - K$ gồm các kênh phụ được sắp xếp này, trong đó K là độ dài khối thông tin và N_0 là độ dài mã gốc. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, phương pháp này có thể còn bao gồm việc lựa chọn, từ phân đoạn gồm các kênh phụ được sắp xếp này, ít nhất một kênh phụ có trọng số tối thiểu này bao gồm nếu số lượng n các kênh phụ có trọng số tối thiểu trong phân đoạn gồm K kênh phụ này lớn hơn giá trị F được xác định trước, lựa chọn từ phân đoạn gồm K kênh phụ này, F kênh phụ có trọng số tối thiểu theo thứ tự số đo độ tin cậy giảm dần. Trong ví dụ này, hoặc trong ví dụ khác, bộ mã hoá này có thể áp dụng hàm kiểm tra chẵn lẻ để xác định giá trị cho mỗi bit trong số ít nhất một bit chẵn lẻ này. Trong ví dụ này, hàm kiểm tra chẵn lẻ này có thể là hàm kiểm tra chẵn lẻ số

nguyên tố. Trong ví dụ bất kỳ trong các ví dụ nêu trên, hoặc trong ví dụ khác, phương pháp này còn bao gồm các kênh phụ được sắp xếp này được sắp xếp dựa trên số đo độ tin cậy. Trong ví dụ bất kỳ trong số ví dụ nêu trên, hoặc trong ví dụ khác, tham số trọng số này có thể bao gồm trọng số theo hàng thấp nhất. Phương pháp này còn bao gồm lựa chọn ít nhất một kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất trong tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất trong số chuỗi các kênh phụ được sắp xếp, trong đó trọng số theo hàng của kênh phụ là số lượng các số 1 trong một hàng của ma trận Kronecker, và hàng này tương ứng với kênh phụ này. Trong ví dụ này, việc lựa chọn ít nhất một kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất trong tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất này có thể bao gồm lựa chọn F_P kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất trong tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất này nếu số lượng các kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất trong số K kênh phụ đáng tin cậy nhất này lớn hơn số lượng F_P được xác định trước. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, ít nhất một kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất có thể được lựa chọn từ tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất này theo thứ tự độ tin cậy giảm dần. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, phương pháp này có thể còn bao gồm lựa chọn các kênh phụ cho các bit thông tin trong chuỗi các kênh phụ được sắp xếp này, bỏ qua ít nhất một kênh phụ được lựa chọn cho ít nhất một bit chẵn lẻ này, cho đến khi số lượng các kênh phụ được lựa chọn cho các bit thông tin này đạt tới K. Sáng chế cũng đề xuất thiết bị để thực hiện phương pháp này.

Theo một phương án khác nữa, sáng chế đề xuất thiết bị được tạo cấu hình để mã hoá dữ liệu bằng mã cực. Theo phương án này, thiết bị này bao gồm bộ mã hoá được tạo cấu hình để mã hoá cực các bit thông tin và ít nhất một bit chẵn lẻ để thu nhận dữ liệu được mã hoá. Ít nhất một bit chẵn lẻ này được đặt trong ít nhất một kênh phụ được lựa chọn cho ít nhất một bit chẵn lẻ này dựa trên tham số trọng số và giao diện được tạo cấu hình để truyền dữ liệu được mã hoá này đến thiết bị khác. Trong một ví dụ theo phương án bất kỳ trong số các phương án mã hoá nêu trên, tham số trọng số này bao gồm trọng số tối thiểu. Trong ví dụ này, ít nhất một bit chẵn lẻ này có thể được đặt trong ít nhất một trong số số lượng các kênh phụ thứ nhất có trọng số tối thiểu hoặc trong số lượng các kênh phụ thứ hai có trọng số tối thiểu gấp đôi. Trong cùng ví dụ này, hoặc trong ví dụ khác, bộ mã hoá này có thể còn được tạo cấu hình để lựa chọn, từ phân đoạn gồm các kênh phụ được sắp xếp, ít nhất một kênh phụ có trọng số tối thiểu. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, ít nhất một kênh phụ có trọng số tối thiểu này có thể được lựa chọn từ phân đoạn gồm K kênh phụ trong số các kênh phụ được sắp xếp này, mỗi kênh phụ trong số K kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn các kênh phụ của phân đoạn $N_0 - K$ gồm các kênh phụ được sắp xếp này, trong đó K là độ dài khối thông tin và N_0 là độ dài mã gốc. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, thiết bị/bộ mã hoá này có thể lựa chọn, từ phân đoạn gồm các kênh phụ được sắp xếp này, ít nhất một kênh phụ có trọng số tối thiểu này, và lựa chọn từ phân đoạn gồm K kênh phụ này, F kênh phụ có trọng số tối thiểu theo thứ tự số đo độ tin cậy giảm dần nếu số lượng các kênh phụ có trọng số tối thiểu trong phân đoạn gồm K kênh phụ này lớn hơn giá trị F được xác định trước. Trong ví dụ này, hoặc trong ví dụ khác, bộ mã hoá này có

thể còn được tạo cấu hình để áp dụng hàm kiểm tra chẵn lẻ để xác định giá trị cho mỗi bit trong số ít nhất một bit chẵn lẻ này. Trong ví dụ này, hàm kiểm tra chẵn lẻ này có thể là hàm kiểm tra chẵn lẻ số nguyên tố. Trong ví dụ bất kỳ trong số ví dụ nêu trên, hoặc trong ví dụ khác, các kênh phụ được sắp xếp bởi thiết bị này có thể được sắp xếp dựa trên số đo độ tin cậy. Trong ví dụ bất kỳ trong số ví dụ nêu trên, hoặc trong ví dụ khác, tham số trọng số này có thể bao gồm trọng số theo hàng thấp nhất, và bộ mã hoá này có thể còn được tạo cấu hình để lựa chọn ít nhất một kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất trong tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất trong số chuỗi các kênh phụ được sắp xếp. Trọng số theo hàng của kênh phụ là số lượng các số 1 trong hàng của ma trận Kronecker. Hàng này có thể tương ứng với kênh phụ này. Trong ví dụ này, thiết bị này có thể lựa chọn ít nhất một kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất trong tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất. Bộ mã hoá này có thể còn được tạo cấu hình để lựa chọn F_P kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất trong tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất khi số lượng n các kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất trong số K kênh phụ đáng tin cậy nhất này lớn hơn số lượng F_P được xác định trước. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, ít nhất một kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất có thể được lựa chọn từ tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất theo thứ tự độ tin cậy giảm dần. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, bộ mã hoá này có thể còn được tạo cấu hình để lựa chọn các kênh phụ cho các bit thông tin trong chuỗi các kênh phụ được sắp xếp này, bỏ qua ít nhất một kênh phụ được lựa chọn cho ít nhất một bit chẵn lẻ này, cho đến khi số lượng các kênh phụ được lựa chọn cho các bit thông tin này đạt tới K.

Theo một phương án khác nữa, sáng chế đề xuất phương pháp mã hoá dữ liệu khác. Theo phương án này, phương pháp này bao gồm cấp phát một hoặc nhiều kênh phụ cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ dựa trên các trọng số theo hàng đối với kênh phụ trong tập con của tập các kênh phụ và ánh xạ các bit thông tin đến các kênh phụ còn lại trong tập các kênh phụ này dựa trên độ tin cậy của các kênh phụ còn lại này mà không ánh xạ các bit thông tin này đến một hoặc nhiều kênh phụ được cấp phát cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này. Phương pháp này có thể còn bao gồm việc mã hoá các bit thông tin này và một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này bằng cách sử dụng mã cực để thu nhận dòng bit được mã hoá và truyền dòng bit được mã hoá này. Trong một ví dụ của phương án bất kỳ trong số các phương án mã hoá nêu trên, trọng số theo hàng đối với kênh phụ biểu diễn số lượng các số 1 trong hàng của ma trận Kronecker, với hàng này tương ứng với kênh phụ này. Trong ví dụ này, hoặc trong ví dụ khác, các trọng số theo hàng này có thể bao gồm ít nhất trọng số theo hàng tối thiểu. Trong ví dụ này, phương pháp này có thể bao gồm cấp phát một hoặc nhiều kênh phụ cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ dựa trên các trọng số theo hàng đối với các kênh phụ trong tập con của tập các kênh phụ, và cấp phát cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này, số lượng các kênh phụ có trọng số theo hàng bằng với trọng số theo hàng tối thiểu trong tập con các kênh phụ này. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, số lượng các kênh phụ được cấp phát này có thể là một và các kênh phụ trong tập này có thể được sắp xếp dựa trên các độ tin cậy của chúng để tạo thành chuỗi các kênh phụ được sắp xếp, trong đó

tập con các kênh phụ này bao gồm tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ trong chuỗi được sắp xếp này. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ này có thể bao gồm K kênh phụ dùng để mang các bit thông tin này. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ này có thể bao gồm $K+F_P$ kênh phụ, trong đó K là độ dài khối thông tin được kết hợp với các bit thông tin này, và F_P chỉ báo số lượng của một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, kênh phụ đáng tin cậy nhất có trọng số theo hàng bằng trọng số theo hàng tối thiểu trong tập con các kênh phụ này có thể được cấp phát cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ. Trong ví dụ bất kỳ trong số các ví dụ nêu trên, hoặc trong ví dụ khác, một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này có thể bao gồm một hoặc nhiều bit kiểm tra chẵn lẻ (Parity Check - PC). Trong ví dụ này, việc mã hoá các bit thông tin này và một hoặc nhiều bit PC này bằng cách sử dụng mã cực để thu nhận dòng bit được mã hoá này có thể bao gồm việc xác định một hoặc nhiều giá trị cho một hoặc nhiều bit PC làm hàm số của các giá trị của các bit thông tin này và ánh xạ một hoặc nhiều bit PC này đến ít nhất một hoặc nhiều kênh phụ được cấp phát cho các bit PC này.

Theo một phương án khác nữa, sáng chế đề xuất thiết bị dùng để mã hoá dữ liệu bằng mã cực. Theo phương án này, thiết bị này được tạo cấu hình để cấp phát một hoặc nhiều kênh phụ cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ dựa trên các trọng số theo hàng đối với kênh phụ trong tập con của tập các kênh phụ và ánh xạ các bit thông tin đến các kênh phụ còn lại trong tập các kênh phụ này dựa trên độ tin cậy của các kênh phụ còn lại này mà không ánh xạ các bit thông tin đến một hoặc nhiều kênh phụ được cấp phát cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này. Thiết bị này còn được tạo cấu hình để mã hoá các bit thông tin này và một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này bằng cách sử dụng mã cực để thu nhận dòng bit được mã hoá; và truyền dòng bit được mã hoá này. Trong một ví dụ theo phương án bất kỳ trong số các phương án mã hoá được nêu trên, trọng số theo hàng đối với kênh phụ biểu diễn số lượng các số 1 trong hàng của ma trận Kronecker, hàng này tương ứng với kênh phụ này. Trong ví dụ này, hoặc trong ví dụ khác, các trọng số theo hàng này bao gồm ít nhất trọng số theo hàng tối thiểu. Trong ví dụ này, hoặc trong ví dụ khác, thiết bị này có thể cấp phát một hoặc nhiều kênh phụ cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ dựa trên các trọng số theo hàng đối với các kênh phụ trong tập con của tập các kênh phụ. Thiết bị này có thể còn được tạo cấu hình để cấp phát, cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này, số lượng các kênh phụ có trọng số theo hàng bằng với trọng số theo hàng tối thiểu trong tập con các kênh phụ này. Trong ví dụ bất kỳ trong số ví dụ nêu trên, hoặc trong ví dụ khác, số lượng các kênh phụ được cấp phát này có thể là một và các kênh phụ trong tập này có thể được sắp xếp dựa trên các độ tin cậy của chúng để tạo thành chuỗi các kênh phụ được sắp xếp, trong đó tập con các kênh phụ này bao gồm tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ trong chuỗi được sắp xếp này. Trong ví dụ bất kỳ trong số ví dụ nêu trên, hoặc trong ví dụ khác, tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ này có thể bao gồm K kênh phụ mang các bit thông tin này và tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ này bao gồm $K+F_P$ kênh phụ, trong đó K là độ dài

khối thông tin được kết hợp với các bit thông tin này, và F_P chỉ báo số lượng một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, kênh phụ đáng tin cậy nhất có trọng số theo hàng bằng với trọng số theo hàng tối thiểu trong tập con các kênh phụ này có thể được cấp phát cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này có thể bao gồm một hoặc nhiều bit kiểm tra chẵn lẻ PC.

Theo một phương án khác nữa, sáng chế đề xuất phương pháp giải mã cho thiết bị. Theo phương án này, phương pháp này bao gồm nhận từ thiết bị khác, tín hiệu dựa trên dữ liệu được mã hoá, dữ liệu được mã hoá này được tạo ra bằng cách mã hoá bằng mã cực, các bit thông tin và ít nhất một bit chẵn lẻ. Theo phương án này, ít nhất một bit chẵn lẻ này được đặt trong ít nhất một kênh phụ được lựa chọn dựa trên tham số trọng số. Phương pháp này cũng bao gồm việc giải mã tín hiệu này bằng cách sử dụng mã cực này và ít nhất một bit chẵn lẻ để thu nhận các bit thông tin này bằng bộ giải mã của thiết bị này.

Trong một ví dụ, tham số trọng số này bao gồm trọng số tối thiểu. Trong ví dụ này, ít nhất một bit chẵn lẻ này có thể được đặt trong ít nhất một trong số số lượng các kênh phụ thứ nhất có trọng số tối thiểu hoặc trong số lượng các kênh phụ thứ hai có trọng số tối thiểu gấp đôi. Trong cùng ví dụ này, hoặc trong ví dụ khác, ít nhất một kênh phụ được lựa chọn có trọng số tối thiểu và ít nhất một kênh phụ này được lựa chọn từ phân đoạn gồm các kênh phụ được sắp xếp. Ít nhất một kênh phụ có trọng số tối thiểu này có thể được lựa chọn từ phân đoạn gồm K kênh phụ trong số các kênh phụ được sắp xếp này trong đó mỗi kênh phụ trong số K kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn các kênh phụ của phân đoạn $N_0 - K$ gồm các kênh phụ được sắp xếp này, và trong đó K là độ dài khối thông tin và N_0 là độ dài mã gốc. Trong ví dụ này, hoặc trong ví dụ khác, giá trị của mỗi bit trong số ít nhất một bit chẵn lẻ này là dựa trên hàm kiểm tra chẵn lẻ. Trong ví dụ này, hàm kiểm tra chẵn lẻ này có thể là hàm kiểm tra chẵn lẻ số nguyên tố. Trong ví dụ bất kỳ trong số ví dụ nêu trên, hoặc trong ví dụ khác, các kênh phụ được sắp xếp này được sắp xếp dựa trên số đo độ tin cậy. Trong ví dụ bất kỳ trong số ví dụ nêu trên, hoặc trong ví dụ khác, tham số trọng số này có thể bao gồm trọng số theo hàng thấp nhất và ít nhất một kênh phụ được lựa chọn có trọng số theo hàng thấp nhất trong tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất trong số chuỗi các kênh phụ được sắp xếp, trong đó trọng số theo hàng của kênh phụ là số lượng các số 1 trong hàng của ma trận Kronecker, và hàng này tương ứng với kênh phụ này. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, ít nhất một kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất có thể được lựa chọn từ tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất theo thứ tự độ tin cậy giảm dần. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, các kênh phụ cho các bit thông tin này được lựa chọn trong chuỗi các kênh phụ được sắp xếp này bằng cách bỏ qua ít nhất một kênh phụ được lựa chọn cho ít nhất một bit chẵn lẻ này, cho đến khi số lượng các kênh phụ được lựa chọn cho các bit thông tin này đạt tới K. Sáng chế cũng đề xuất thiết bị để thực hiện phương pháp này.

Theo phương án khác nữa, sáng chế đề xuất phương pháp giải mã đối với thiết bị. Theo phương án này, phương pháp này bao gồm nhận từ thiết bị khác, tín hiệu dựa trên dòng bit được mã hoá trong đó dòng bit được mã hoá này được tạo ra bằng cách mã hoá bằng mã cực, các bit thông tin và một hoặc nhiều bit chẵn lẻ. Một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này được ánh xạ đến một hoặc nhiều kênh phụ được cấp phát dựa trên các trọng số theo hàng đối với các kênh phụ trong tập con của tập các kênh phụ, và các bit thông tin này được ánh xạ đến các kênh phụ còn lại trong tập các kênh phụ này dựa trên độ tin cậy của các kênh phụ còn lại này. Phương pháp này cũng bao gồm việc giải mã tín hiệu bằng cách sử dụng mã cực này và một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này để thu nhận các bit thông tin này.

Trong một ví dụ của phương án bất kỳ trong số các phương án giải mã nêu trên, trọng số theo hàng đối với kênh phụ biểu diễn số lượng các số 1 trong hàng của ma trận Kronecker, với hàng này tương ứng với kênh phụ này. Trong ví dụ này, hoặc trong ví dụ khác, các trọng số theo hàng này có thể bao gồm ít nhất trọng số theo hàng tối thiểu. Trong ví dụ này, một hoặc nhiều kênh phụ được cấp phát cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ dựa trên các trọng số theo hàng đối với các kênh phụ trong tập con của tập các kênh phụ. Trong ví dụ khác, số lượng các kênh phụ có trọng số theo hàng bằng với trọng số theo hàng tối thiểu trong tập con các kênh phụ này được cấp phát cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, số lượng các kênh phụ được cấp phát này có thể là một và các kênh phụ trong tập này có thể được sắp xếp dựa trên các độ tin cậy của chúng để tạo thành chuỗi các kênh phụ được sắp xếp, trong đó tập con các kênh phụ này bao gồm tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ trong chuỗi được sắp xếp này. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ này có thể bao gồm K kênh phụ mang các bit thông tin này. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ này có thể bao gồm $K+F_P$ kênh phụ, trong đó K là độ dài khối thông tin được kết hợp với các bit thông tin này, và F_P chỉ báo số lượng một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này. Trong cùng ví dụ này, hoặc ví dụ khác, kênh phụ đáng tin cậy nhất có trọng số theo hàng bằng với trọng số theo hàng tối thiểu trong tập con các kênh phụ này có thể được cấp phát cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ. Trong ví dụ bất kỳ trong số ví dụ nêu trên, hoặc trong ví dụ khác, một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này có thể bao gồm một hoặc nhiều bit kiểm tra chẵn lẻ PC. Trong ví dụ này, hoặc ví dụ khác, một hoặc nhiều giá trị cho một hoặc nhiều bit PC là hàm số của các giá trị của các bit thông tin này.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Để hiểu toàn diện hơn về sáng chế, và các ưu điểm của sáng chế, tham chiếu đến phần mô tả sau đây kết hợp với các hình vẽ kèm theo, trong đó:

Fig. 1 là sơ đồ thể hiện một ví dụ về cách thức có thể tạo ra ma trận sinh mã cực từ nhân (kernel);

Fig. 2 là sơ đồ thể hiện một ví dụ sử dụng ma trận sinh mã cực để tạo ra các từ mã và minh họa nguyên lý của bộ mã hoá cực ví dụ;

Fig. 3 là sơ đồ thể hiện một phần cây danh sách quyết định ví dụ có độ rộng được giới hạn bởi kích cỡ danh sách cho trước tối đa và được sử dụng trong bộ giải mã cực danh sách huỷ liên tiếp (Successive Cancellation List - SCL);

Fig. 4 là sơ đồ khối minh hoạ ví dụ của bộ mã hoá cực dựa trên nhân 2x2;

Fig. 5A-5G là các bảng giải thích cách thức tính toán và sử dụng các trọng số theo hàng để lựa chọn các kênh phụ ứng viên để dự trữ cho các bit kiểm tra chẵn lẻ (PC);

Fig. 6A-6G là các bảng giải thích cách thức sử dụng các trọng số Hamming để lựa chọn các kênh phụ ứng viên để dự trữ cho các bit kiểm tra chẵn lẻ (PC);

Fig. 7 là lưu đồ của một phương án về phương pháp mã hoá chuỗi các bit thông tin;

Fig. 8 là lưu đồ của một phương án về phương pháp mã hoá chuỗi các bit thông tin;

Fig. 9 là lưu đồ của một phương án về phương pháp mã hoá chuỗi các bit thông tin;

Fig. 10 là sơ đồ khối của hệ thống truyền thông;

Fig. 11 là lưu đồ của một phương án về phương pháp lựa chọn các bit đóng băng trong quá trình mã hoá cực;

Fig. 12 là sơ đồ khối của thanh ghi được thực hiện trong bộ mã hoá/bộ giải mã cực;

Fig. 13A-13D là các biểu đồ các tỷ lệ lỗi khối (Block Error Rate - BLER) đạt được bởi các mã cực khác nhau;

Fig. 14A-14B là biểu đồ các mức độ tạp âm được ước lượng đạt được khi sử dụng các mã cực khác nhau để mã hoá các dòng dữ liệu;

Fig. 15 là sơ đồ khối của một phương án về thiết bị không dây;

Fig. 16 là sơ đồ của một phương án về kỹ thuật dùng để sử dụng các thao tác so sánh song song để nhận dạng các kênh phụ cần được dự trữ cho (các) bit PC;

Fig. 17 là lưu đồ của một phương án về phương pháp mã hoá chuỗi các bit thông tin;

Fig. 18 là lưu đồ của phương án khác về phương pháp mã hoá chuỗi các bit thông tin;

Fig. 19 là lưu đồ của phương án khác phương pháp mã hoá chuỗi các bit thông tin;

Fig. 20 là sơ đồ của một phương án khác về bộ mã hoá;

Fig. 21 là sơ đồ của chuỗi các kênh phụ được sắp xếp;

Fig. 22 là sơ đồ của một phương án về hoạt động của thanh ghi dịch vòng được sử dụng bởi bộ giải mã kiểm tra chẵn lẻ;

Fig. 23 là sơ đồ của hàm kiểm tra chẵn lẻ;

Fig. 24 là lưu đồ của một phương án về phương pháp mã hoá chuỗi các bit thông tin;

Fig. 25 là sơ đồ khối của một phương án về hệ thống xử lý; và

Fig. 26 là sơ đồ khối của một phương án về bộ thu phát.

Mô tả chi tiết sáng chế

Việc tạo ra và sử dụng các phương án này được mô tả chi tiết dưới đây. Tuy nhiên, cần hiểu rằng sáng chế đề xuất nhiều ý tưởng sáng tạo có thể ứng dụng được, các ý tưởng sáng tạo này có thể được thể hiện trong nhiều bối cảnh cụ thể. Các phương án cụ thể được mô tả chỉ nhằm minh họa các cách thức cụ thể để tạo ra và sử dụng sáng chế, và không làm giới hạn phạm vi bảo hộ của sáng chế.

Các bit chẵn lẻ có thể được thêm vào xâu các bit thông tin trong quá trình mã hoá cực để hỗ trợ việc giải mã và tạo điều kiện phát hiện hoặc sửa lỗi ở bộ thu. Các thuật ngữ "các bit kiểm tra chẵn lẻ (PC)", "các bit chẵn lẻ", và các bit đóng băng động được sử dụng hoán đổi nhau trong toàn bộ sáng chế. Cho dù đa phần sáng chế mô tả các phương án sáng tạo trong bối cảnh của các bit chẵn lẻ, cần hiểu rằng các bit chẵn lẻ là kiểu bit hỗ trợ cụ thể, và việc các nguyên lý được bộc lộ trong bản mô tả này có thể được áp dụng bằng cách sử dụng các kiểu bit hỗ trợ khác, chẳng hạn như các bit sửa lỗi khác, hoặc các mã như các bit kiểm tra độ dư vòng (Cyclic Redundancy Check - CRC), các bit kiểm tra tổng, các bit hàm băm, các mã mật mã, các mã lặp, hoặc các bit hoặc các mã phát hiện lỗi. Theo một số phương án, các bit chẵn lẻ được gọi là các bit đóng băng kiểm tra chẵn lẻ (PC) (hay "các bit PF - parity check frozen").

Một vấn đề phát sinh khi chèn các bit chẵn lẻ (parity - P) trong quá trình mã hoá cực là cách thức lựa chọn (các) kênh phụ (trong số N kênh phụ) để truyền các bit chẵn lẻ trên đó. Một tuỳ chọn để xử lý các bit chẵn lẻ trong quá trình mã hoá cực là ánh xạ K bit thông tin cần được mã hoá (các bit thông tin này cũng có thể bao gồm các bit hỗ trợ khác) đến các kênh phụ đáng tin cậy nhất, và sau đó ánh xạ (các) bit chẵn lẻ này đến (các) kênh phụ đáng tin cậy nhất kế tiếp, các kênh phụ đáng tin cậy nhất kế tiếp này là khả dụng sau khi ánh xạ các bit thông tin đến các kênh phụ đáng tin cậy nhất này. Tuỳ chọn khác là ánh xạ (các) bit chẵn lẻ này đến (các) kênh phụ đáng tin cậy nhất này, và sau đó ánh xạ các bit thông tin này đến các kênh phụ đáng tin cậy nhất kế tiếp này, các kênh phụ đáng tin cậy nhất kế tiếp này là khả dụng sau khi ánh xạ (các) bit chẵn lẻ đến các kênh phụ đáng tin cậy nhất này.

Nói chung, các mô phỏng đã thể hiện rằng hai tuỳ chọn này tạo ra các mức hiệu suất thấp hơn so với phương án về các kỹ thuật ánh xạ các bit chẵn lẻ này đến các kênh phụ dựa trên các trọng số theo hàng của chúng. Trọng số theo hàng này đối với kênh phụ có thể được xem như là số lượng "các số 1" trong hàng tương ứng của ma trận Kronecker hoặc là luỹ thừa của 2 với số mũ (tức là, trọng số Hamming) là số lượng "các số 1" dưới dạng biểu diễn nhị phân của chỉ số kênh phụ (được mô tả thêm dưới đây). Theo một phương án, các kênh phụ ứng viên có các giá trị trọng số theo hàng nhất định (ví dụ, trọng số theo hàng tối thiểu - w_{min} hoặc gấp hai lần trọng số theo hàng tối thiểu $2*w_{min}$) được đặt sang một bên và được sử dụng cho (các) bit chẵn lẻ. Các kênh phụ ứng viên được dự trữ cho (các) bit

chẵn lẻ này không cần thiết phải là các kênh phụ đáng tin cậy nhất này, như được nhận thấy dựa trên các phần mô tả để tính toán các trọng số theo hàng được mô tả dưới đây. Sau khi các kênh phụ ứng viên này được nhận dạng, K bit thông tin này được ánh xạ đến K kênh phụ còn lại đáng tin cậy nhất này, và số lượng các bit đóng băng (ví dụ, N-K) được ánh xạ đến các kênh phụ còn lại ít tin cậy nhất. Các bit chẵn lẻ được ánh xạ đến các kênh phụ ứng viên này và các giá trị bit chẵn lẻ được xác định dựa trên hàm số của các bit thông tin này.

Có nhiều cách thức để xác định trọng số theo hàng đối với kênh phụ. Theo một phương án, trọng số theo hàng này có thể được tính toán là hàm số của trọng số Hamming của chỉ số kênh được kết hợp với kênh phụ này. Trọng số Hamming này là số lượng các phần tử khác 0 (non-zero) trong chuỗi nhị phân biểu diễn chỉ số kênh này. Trong một ví dụ, các kênh phụ (N) này được sắp xếp vào chuỗi được sắp xếp (Q) dựa trên các độ tin cậy kênh của chúng sao cho chuỗi được sắp xếp (Q) này liệt kê các kênh phụ này theo thứ tự tăng dần (Q_0, Q_1, ..., Q_N) dựa trên độ tin cậy của chúng (trong đó Q_N là kênh phụ đáng tin cậy nhất). Giá trị trọng số theo hàng tối thiểu, được ký hiệu hoán đổi nhau trong toàn bộ sáng chế là w_{min} hoặc d_{min}, có thể sau đó được nhận dạng dựa trên các trọng số theo hàng của tập con các kênh đáng tin cậy nhất chẳng hạn như, ví dụ, tập con K đáng tin cậy nhất này được sử dụng cho K bit thông tin (ví dụ, $Q_{(N-K+1)}$, ..., Q_N) hoặc tập con K+P đáng tin cậy nhất này được sử dụng cho K bit thông tin và P bit chẵn lẻ (ví dụ, $Q_{(N-K-P)}$, ..., Q_N). Giá trị trọng số theo hàng tối thiểu này trong tập con đáng tin cậy nhất sau đó có thể được sử dụng để dự trữ các kênh phụ cho các bit chẵn lẻ này.

Theo một số phương án, nếu quá trình tính toán động tham số w_{min} này bổ sung thêm độ trễ cho hoạt động mã hoá này, bảng tra cứu (Look Up Table - LUT) có thể được triển khai để nhận dạng tham số w_{min} này.

Cụ thể là, các kỹ thuật dựa trên LUT này tạo ra bảng tra cứu ngoại tuyến bằng cách tính toán các tham số w_{min} có thể là hàm số của các kết hợp tiềm năng của các độ dài khối thông tin K và các độ dài mã gốc M mà K và M này có thể được sử dụng trong quá trình mã hoá cực. Sau đó, bảng tra cứu này được sử dụng để xác định tham số w_{min} này trong quá trình mã hoá cực trực tuyến. Bảng 1 cung cấp ví dụ của bảng tra cứu có thể được sử dụng để xác định các tham số mã này, trong đó bao gồm tham số w_{min} này, và các chỉ số (f_1,f_2) được sử dụng để xác định số lượng các kênh phụ tiềm năng cần được dự trữ cho các bit chẵn lẻ (các chi tiết thêm dưới đây).

Bảng 1

w_{min},f_1,f_2	K=100	K=400	K=1000	K=2000	K=4000	K=6000	K=8000
K/M=1/5	32,12,0	32,5,7	32,2,11	32,1,13	64,20,0	64,20,0	64,21,0
K/M=1/3	32,13,0	16,4,9	16,1,13	32,19,0	32,21,0	32,17,4	32,15,5
K/M=2/5	8,1,8	16,10,4	16,5,10	16,3,13	16,2,14	16,1,15	16,1,16
K/M=1/2	8,10,1	8,1,10	16,17,0	16,14,3	16,9,8	16,7,10	16,6,11
K/M=2/3	4,3,7	8,15,0	8,7,7	8,5,10	8,3,12	8,2,14	8,2,14
K/M=3/4	4,11,0	4,1,10	8,15,0	8,17,0	8,16,1	8,7,8	8,11,7
K/M=5/6	2,1,6	4,5,5	4,4,7	4,2,10	4,1,12	4,1,12	8,18,0
K/M=8/9	2,2,4	4,11,0	4,12,1	4,8,4	4,4,9	4,3,10	4,3,10

Thời gian cần thiết để nhận dạng tham số w_{min} này trong quá trình mã hoá cực trực tuyến bị ảnh hưởng rất nhiều bởi kích cỡ của bảng tra cứu này, do các bảng lớn hơn thường yêu cầu các thời gian tra cứu dài hơn. Kết quả là, các yêu cầu về độ trễ của bộ mã hoá này có thể ràng buộc độ chi tiết của các sự kết hợp mã hoá khả dụng trong bảng tra cứu này, do đó ảnh hưởng đến hiệu suất mã hoá.

Các phương án khác của sáng chế đề xuất các kỹ thuật trễ thấp dự trữ hoặc cấp phát các kênh phụ cho các bit chẵn lẻ dựa trên tham số trọng số Hamming tối thiểu (u_{min}), do đó tránh được việc tính toán của các trọng số theo hàng này. Như được mô tả trên đây, các trọng số theo hàng có thể được tính toán như là hàm số của các trọng số Hamming này. Trong một ví dụ, dựa trên phương trình: $rw = 2^{hw}$, trong đó *rw* là trọng số theo hàng đối với kênh phụ cho trước này, và *hw* là trọng số Hamming của việc biểu diễn nhị phân của chỉ số kênh đối với kênh phụ cho trước này. Các ký hiệu "hw" và "u" được sử dụng hoán đổi nhau trong bản mô tả này để chỉ trọng số Hamming. Từ đây, rõ ràng là kênh phụ được kết hợp với trọng số Hamming thấp nhất này cũng sẽ có trọng số theo hàng thấp nhất. Do đó, có thể nhận dạng được trọng số Hamming tối thiểu (u_{min}) này dựa trên các trọng số Hamming được kết hợp với các kênh phụ trong tập con các kênh đáng tin cậy nhất (ví dụ, $Q_{(N-(K+P))}$, ..., Q_N), và sau đó sử dụng trọng số Hamming tối thiểu này để dự trữ các kênh phụ cho các bit chẵn lẻ.

Như được mô tả dưới đây, hai lần giá trị trọng số theo hàng tối thiểu $2*w_{min}$ thỉnh thoảng được sử dụng, kết hợp với w_{min}, để dự trữ các kênh phụ cho các bit chẵn lẻ. Ví dụ, số lượng các kênh phụ đáng tin cậy nhất thứ nhất (ví dụ, f_1) có trọng số theo hàng bằng w_{min} có thể được dự trữ cho các bit chẵn lẻ, và số lượng các kênh phụ đáng tin cậy nhất thứ hai (ví dụ, f_2) có trọng số theo hàng bằng $2*w_{min}$ có thể được dự trữ cho các bit chẵn lẻ. Từ

phương trình: $rw = 2^{hw}$, rõ ràng là tham số 2^*w_{min} tương ứng với một cộng trọng số Hamming tối thiểu này. Do đó, các phương án của sáng chế có thể dự trữ số lượng các kênh phụ đáng tin cậy nhất thứ nhất có trọng số Hamming bằng với trọng số Hamming tối thiểu cho các bit chẵn lẻ, và số lượng các kênh phụ đáng tin cậy nhất thứ hai có trọng số Hamming bằng một cộng trọng số Hamming tối thiểu cho các bit chẵn lẻ.

Phần mô tả ngắn gọn của việc mã hoá cực được đưa ra dưới đây để hỗ trợ việc hiểu các khía cạnh này và các khía cạnh sáng tạo khác của sáng chế, các khía cạnh sáng tạo khác này sẽ được mô tả chi tiết hơn tiếp theo dưới đây. Fig. 1 là sơ đồ thể hiện, bằng cách dùng ví dụ minh hoạ, về cách thức có thể tạo ra ma trận sinh mã cực từ nhân $\mathbf{G_2}$ 100 . Lưu ý rằng Fig. 1 chỉ là ví dụ. Cũng có thể có các dạng khác của nhân. Sự phân cực xuất phát từ cách thức "lồng nhau" trong đó ma trận sinh được tạo ra từ nhân (hoặc sự kết hợp của các nhân).

Ma trận tích Kronecker 2 lần $\mathbf{G_2}^{\otimes 2}$ 102 và ma trận tích Kronecker 3 lần $\mathbf{G_2}^{\otimes 3}$ 104 trong Fig. 1 là các ví dụ của các ma trận sinh mã cực. Cách tiếp cận ma trận sinh này được minh hoạ trong Fig. 1 có thể được mở rộng để tạo ra ma trận tích Kronecker m lần $\mathbf{G_2}^{\otimes m}$.

Mã cực có thể được tạo thành từ ma trận tích Kronecker dựa trên ma trận $\mathbf{G_2}$ 100. Đối với mã cực có các từ mã với độ dài $N = 2^m$, ma trận sinh này là $\mathbf{G_2}^{\otimes m}$. Fig. 2 là sơ đồ thể hiện một ví dụ của việc sử dụng ma trận sinh mã cực để tạo ra các từ mã và minh hoạ sơ đồ bộ mã hoá cực ví dụ. Trong Fig. 2, ma trận sinh $\mathbf{G_2}^{\otimes 3}$ 104 này được sử dụng để tạo ra các từ mã có độ dài $2^3 = 8$. Từ mã $\mathbf{x}$ được tạo thành bởi tích của véc-tơ đầu vào $\mathbf{u} = [0\ 0\ 0\ u_3\ 0\ u_5\ u_6\ u_7]$ và ma trận sinh $\mathbf{G_2}^{\otimes 3}$ 104 này như được chỉ báo ở 200. Véc-tơ đầu vào $\mathbf{u}$ này bao gồm các bit thông tin và các bit cố định hoặc đóng băng. Trong ví dụ cụ thể được thể hiện trong Fig. 2, N=8, do đó véc-tơ đầu vào $\mathbf{u}$ này là véc-tơ 8-bit, và từ mã $\mathbf{x}$ này là véc-tơ 8-bit. Véc-tơ đầu vào này có các bit đóng băng ở các vị trí 0, 1, 2, và 4, và có các bit thông tin ở các vị trí 3, 5, 6, và 7. Cách thức thực hiện ví dụ của bộ mã hoá tạo ra các từ mã được chỉ báo ở 212, trong đó tất cả các bit đóng băng này được đặt là 0 (không), và các ký hiệu "+" được khoanh tròn biểu diễn phép cộng mô-đun 2. Đối với ví dụ ở Fig. 2, véc-tơ đầu vào N = 8-bit được tạo thành từ K = 4 bit thông tin và N-K = 4 bit đóng băng. Các mã của hình thức này được gọi là các mã cực và bộ mã hoá này được gọi là bộ mã hoá cực. Các bộ giải mã dùng để giải mã các mã cực được gọi là các bộ giải mã cực. Các bit đóng băng được đặt là 0 (zero) trong ví dụ được thể hiện trong Fig. 2. Tuy nhiên, các bit đóng băng có thể được đặt là các giá trị bit cố định khác được nhận biết bởi cả bộ mã hoá và bộ giải mã. Để dễ dàng mô tả, tất cả các bit đóng băng là 0 (zero) đều được cân nhắc trong bản mô tả này, và nói chung có thể được ưu tiên.

Fig. 3 là sơ đồ thể hiện một phần cây danh sách quyết định ví dụ có độ rộng bị giới hạn bởi kích cỡ danh sách cho trước tối đa và được sử dụng trong bộ giải mã cực SCL. Trong Fig. 3, kích cỡ danh sách L là 4. Năm cấp độ 302, 304, 306, 308, 310 của cây quyết định này được minh hoạ. Cho dù năm cấp độ được minh hoạ, cần hiểu rằng cây quyết định giải mã N bit có N + 1 cấp độ. Ở mỗi cấp độ sau cấp độ gốc 302 này, mỗi đường giải mã

trong số lên đến 4 đường giải mã tồn tại được mở rộng bởi một bit. Các nút lá hoặc các nút con của nút gốc 320 biểu diễn các sự lựa chọn có thể cho bit đầu tiên, và các nút lá tiếp theo biểu diễn các sự lựa chọn có thể cho các bit tiếp theo. Đường giải mã từ nút gốc 320 này đến nút lá 330a, ví dụ, biểu diễn chuỗi bit từ mã được ước lượng: 0, 1, 0, 0. Ở cấp độ 308, số lượng các đường có thể lớn hơn L, do đó L đường có tính hợp lý cao nhất này (các số đo đường (Path Metric - PM) tốt nhất) được nhận dạng, và các đường còn lại bị loại bỏ. Các đường giải mã tồn tại sau quá trình sắp xếp và lược bớt đường ở cấp độ 306 được thể hiện in đậm trong Fig. 3. Tương tự, ở cấp độ 310, số lượng các đường có thể một lần nữa lớn hơn L, do đó L đường có tính hợp lý cao nhất này (PM tốt nhất) được nhận dạng, và các đường còn lại một lần nữa bị loại bỏ. Trong ví dụ được thể hiện, các đường kết thúc trong các nút lá 330a, 330b, 330c, và 330d biểu diễn các đường có tính hợp lý cao nhất. Các đường kết thúc trong các nút lá 340a, 340b, 340c, 340d biểu diễn các đường có tính hợp lý thấp nhất, các đường này bị loại bỏ.

Việc giải mã SCL có thể còn được chia thành giải mã danh sách được hỗ trợ bởi CRC và giải mã danh sách thuần tuý. Với giải mã danh sách thuần tuý, các đường tồn tại có tính hợp lý cao nhất được lựa chọn. Giải mã SC là trường hợp đặc biệt của giải mã danh sách thuần tuý, với kích cỡ danh sách L = 1. Kiểm tra CRC có thể cung cấp hiệu suất sửa lỗi tốt hơn trong việc lựa chọn đường sau cùng, nhưng là tuỳ chọn trong giải mã SCL. Các hoạt động khác chẳng hạn như kiểm tra chẵn lẻ dựa trên các bit chẵn lẻ hoặc các bit "PC" có trong véc-tơ đầu vào, có thể được sử dụng thay cho CRC và/hoặc kết hợp với CRC trong việc lựa chọn đường sau cùng trong quá trình giải mã.

Việc giải mã SCL có thể cải thiện hiệu suất của mã cực đối với kích cỡ mã bị giới hạn. Tuy nhiên, so với độ dài mã và các tỷ lệ mã tương tự của các mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (Low Density Parity Check - LDPC) và các mã Turbo, việc giải mã SCL có thể có tỷ lệ lỗi khối BLER kém hơn các mã LDPC và Turbo được thiết kế tốt. Việc giải mã SCL với trợ giúp của CRC (CRC-Aided SCL – CA-SCL) có thể cải thiện hiệu suất BLER này của mã cực có độ dài mã hạn chế. Ví dụ, bộ giải mã CA-SCL có kích cỡ danh sách L=32 có thể cung cấp hiệu suất tốt hơn nhiều so với các mã LDPC và Turbo với độ phức tạp tính toán tương tự.

Với các bộ giải mã kiểu SC, mã cực đang sử dụng chia kênh thành N kênh phụ. N được gọi là độ dài mã gốc và luôn luôn là luỹ thừa của 2 trong mã cực Arikan, mã cực Arikan này dựa trên nhân cực là ma trận 2x2. Mấu chốt để xây dựng mã cho mã cực là xác định các kênh bit nào, còn được gọi trong bản mô tả này là các kênh phụ, được lựa chọn hoặc được cấp phát cho các bit thông tin và các kênh phụ nào được cấp phát cho các bit đóng băng. Theo một số phương án, một hoặc nhiều kênh phụ cũng được cấp phát cho các bit PC, CRC, và/hoặc các kiểu bit khác được sử dụng để hỗ trợ việc giải mã, còn được gọi trong bản mô tả này là các bit hỗ trợ. Về mặt lý thuyết phân cực, các kênh phụ được cấp phát cho các bit đóng băng được gọi là các kênh phụ đóng băng, các kênh phụ được cấp phát cho các bit thông tin được gọi là các kênh phụ thông tin, và các kênh phụ hỗ trợ bổ

sung có thể được cấp phát cho các bit hỗ trợ, các bit hỗ trợ này được sử dụng để hỗ trợ việc giải mã. Theo một số phương án, các bit hỗ trợ được coi là một dạng của các bit thông tin, các kênh phụ đáng tin cậy hơn được lựa chọn hoặc cấp phát cho các bit này.

Các bộ mã hoá cực dựa trên các tích Kronecker của nhân Arikan G_2 2x2 được mô tả trên đây. Fig. 4 là sơ đồ khối minh hoạ một ví dụ của bộ mã hoá cực dựa trên nhân 2x2. Các kênh phụ và các bit được mã hoá được gán nhãn trong Fig. 4, và kênh được chia thành N kênh phụ bởi mã cực như lưu ý trên đây. Khối thông tin và các bit đóng băng được cấp phát lên trên N kênh phụ này, và véc-tơ kết quả kích cỡ N được nhân với ma trận Kronecker NxN bởi bộ mã hoá cực này để tạo ra từ mã bao gồm N bit được mã hoá. Khối thông tin bao gồm ít nhất các bit thông tin và cũng có thể bao gồm các bit hỗ trợ chẳng hạn như các bit CRC hoặc các bit chẵn lẻ. Bộ lựa chọn kênh phụ có thể được ghép với bộ mã hoá cực này để lựa chọn ít nhất các kênh phụ cho các bit thông tin và các bit hỗ trợ bất kỳ, với các kênh phụ bất kỳ còn lại là các kênh phụ đóng băng.

Đối với các mã cực dựa trên nhân 2x2 và ma trận Kronecker NxN, N là luỹ thừa của 2. Kiểu nhân này và các mã cực dựa trên nhân này được mô tả trong bản mô tả này như là các ví dụ minh hoạ. Các dạng khác của các nhân phân cực chẳng hạn như các nhân số nguyên tố (ví dụ, 3x3 hoặc 5x5) hoặc các sự kết hợp của các nhân (số nguyên số hoặc số không nguyên tố) để tạo ra các nhân bậc cao hơn có thể mang lại sự phân cực giữa các kênh phụ mã. Cần lưu ý rằng việc xử lý bit được mã hoá chẳng hạn như chấm thủng, rút gọn, đệm số 0 (không), và/hoặc lặp lại có thể được sử dụng kết hợp với các mã cực dựa trên các nhân 2x2 hoặc các kiểu nhân khác, ví dụ, để phù hợp với tỷ lệ hoặc các mục đích khác.

Kết quả của việc giải mã SC, SCL, hoặc CA-SCL là, hiện tượng phân cực xuất hiện trên các kênh phụ này. Một số kênh phụ có dung lượng cao, và một số kênh phụ có dung lượng thấp. Nói cách khác, một số kênh phụ có tỷ số tín hiệu trên nhiễu (Signal-to-Noise Ratio - SNR) cao và các kênh khác có SNR thấp. Các số đo này là các ví dụ của các đặc tính có thể được sử dụng để định lượng hoặc phân loại "độ tin cậy" kênh phụ. Các số đo khác cho thấy độ tin cậy kênh phụ cũng có thể được sử dụng.

Việc xây dựng mã bao gồm xác định tỷ lệ mã (số lượng các bit K này, hoặc có bao nhiêu kênh phụ sẽ mang các bit thông tin) và lựa chọn K kênh phụ cụ thể trong số N kênh phụ khả dụng, K kênh phụ này sẽ mang các bit thông tin. Để dễ dàng tham chiếu trong bản mô tả này, các bit thông tin có thể bao gồm các bit đầu vào sẽ được mã hoá, và có thể là các bit CRC, các bit chẵn lẻ, và/hoặc các bit hỗ trợ khác được sử dụng để hỗ trợ việc giải mã. Việc lựa chọn kênh phụ dựa trên các độ tin cậy của các kênh phụ, và các kênh phụ có độ tin cậy cao nhất thường được lựa chọn làm các kênh phụ thông tin mang các bit thông tin.

Các độ tin cậy kênh phụ có thể được chỉ định, ví dụ, trong một hoặc nhiều chuỗi được sắp xếp. Chuỗi các kênh phụ được sắp xếp không phụ thuộc SNR, lồng nhau, duy nhất có

thể được tính toán đối với độ dài mã N_{max}, với các chuỗi được sắp xếp đối với các độ dài mã N ngắn hơn được lựa chọn từ chuỗi N_{max} dài hơn này. Thay vào đó, nhiều chuỗi được sắp xếp theo các độ dài mã gốc khác nhau N_i có thể được tính toán, và một trong số các chuỗi có độ dài mã gốc này có thể được lựa chọn cho mã cụ thể dựa trên độ dài mã được ưu tiên. Ví dụ, một tuỳ chọn có thể khác bao gồm tính toán nhiều chuỗi được sắp xếp theo các giá trị SNR, và lựa chọn chuỗi được sắp xếp dựa trên SNR đo được.

Cũng có một vài phương pháp để tính toán các độ tin cậy kênh phụ. Ví dụ, theo phương pháp được hỗ trợ bởi các yếu tố ngẫu nhiên được đề xuất trong đề án thạc sĩ EPFL của R. Pedarsani, tháng 6 năm 2011, có tiêu đề: "Polar Codes: Construction and Performance Analysis" (Các mã cực: Xây dựng và Phân tích hiệu suất), bộ mã hoá mã hoá chuỗi huấn luyện được nhận biết bởi bộ giải mã này trên các kênh phụ khác nhau. Bộ giải mã này phản hồi các kết quả giải mã đến bộ mã hoá này để cho bộ mã hoá này có thể tính toán các thống kê về độ tin cậy đối với mọi kênh phụ, và thu được véc-tơ độ tin cậy thích ứng tốt trên các kênh phụ này.

Phương pháp xấp xỉ Gauss (Gausian-approximation - GA) được đề xuất trong ấn phẩm xuất bản phi sáng chế có tiêu đề "Evaluation and Optimization of Gaussian Approximation for Polar Codes" (Đánh giá và Tối ưu hoá Xấp xỉ Gauss cho Các mã cực), tháng 5 năm 2016, giả định rằng mọi bit được mã hoá đều có xác suất lỗi như nhau. Từ xác suất lỗi này, các độ tin cậy trên các kênh phụ này được thu nhận với thuật toán tiến hoá hàm mật độ (Density Evolution - DE). Do xác suất lỗi này trên các bit được mã hoá có liên quan đến SNR nhận, phương pháp này là có liên quan đến SNR và phức tạp về mặt tính toán.

Có một vài cách thức để tạo ra chuỗi được sắp xếp từ nhân và ma trận sinh của nó. Không nhất thiết mọi cách thức đều dẫn đến chuỗi lồng nhau, và chuỗi lồng nhau này có thể không nhất thiết là duy nhất. Các chuỗi được sắp xếp lồng nhau có thể được tạo ra, ví dụ, dựa trên trọng số phân cực như được mô tả trong Đơn Đăng ký Sáng chế Trung Quốc số CN 201610619696.5, nộp ngày 29 tháng 7 năm 2016, hoặc dựa trên trọng số Hamming như được mô tả trong Đơn Đăng ký Sáng chế Mỹ số 62/438565, nộp ngày 23 tháng 12 năm 2016. Các kỹ thuật khác cũng có thể hoặc được sử dụng thay thế.

Ví dụ của cách thức có thể sử dụng trọng số Hamming làm số đo thứ hai để lựa chọn các kênh phụ hỗ trợ được mô tả chi tiết hơn trong Đơn Đăng ký Sáng chế Tạm thời Mỹ số 62/433127, nộp ngày 12 tháng 12 năm 2016, được tham chiếu trong bản mô tả này. Cần lưu ý rằng trọng số Hamming này chỉ là ví dụ của số đo có thể được sử dụng làm số đo thứ hai. Các ví dụ khác bao gồm hàm số của trọng số Hamming (ví dụ, các trọng số theo hàng như được mô tả trong Đơn Đăng ký Sáng chế Tạm thời Mỹ số 62/432448, nộp ngày 9 tháng 12 năm 2016). Nói chung, bất kỳ số đo khác nào cũng cho thấy độ tin cậy (phân cực) có thể được sử dụng làm số đo thứ hai này. Theo cách khác, số đo thứ hai này khác với số đo thứ nhất nhưng cũng liên quan đến hoặc cho thấy độ tin cậy phân cực này. Tuy nhiên,

theo cách khác nữa, thứ tự tự nhiên của các kênh phụ có thể được sử dụng làm số đo thứ hai để cho, ví dụ, các kênh phụ ở đầu cuối của các kênh phụ thông tin này (ví dụ, theo thứ tự tăng dần số tự nhiên) được lựa chọn làm các kênh phụ hỗ trợ này.

Theo một số phương án, nhiều hơn hai số đo có thể được sử dụng để lựa chọn các kênh phụ hỗ trợ. Ngoài ra, có thể sử dụng thuật toán bất kỳ trong số nhiều thuật toán lựa chọn kênh phụ hỗ trợ khác nhau bằng cách sử dụng các số đo được mô tả trên đây. Có các khả năng khác để lựa chọn các kênh phụ hỗ trợ.

Như nêu trên, để tạo điều kiện phát hiện hoặc sửa lỗi ở bộ thu và hỗ trợ việc giải mã, các bit hỗ trợ chẳng hạn như các bit CRC hoặc các bit chẵn lẻ có thể được đưa vào dòng bit đầu vào này. Một vấn đề phát sinh khi chèn các bit hỗ trợ trong quá trình mã hoá cực là cách thức lựa chọn (các) kênh phụ để truyền các bit hỗ trợ trên đó. Cụ thể là, các bộ mã hoá cực thường ánh xạ, hoặc truyền, các bit thông tin đến hoặc trên các kênh phụ đáng tin cậy nhất này, trong khi ánh xạ, hoặc truyền các bit đóng băng đến hoặc trên các kênh phụ ít tin cậy hơn. Khi các bit hỗ trợ cũng được đưa vào dòng bit được mã hoá này, vấn đề trở thành liệu các kênh đáng tin cậy nhất có nên được sử dụng cho các bit chẵn lẻ này hoặc các bit thông tin này hay không.

Một tuỳ chọn để xử lý các bit chẵn lẻ trong quá trình mã hoá cực là ánh xạ các bit thông tin này đến các kênh phụ đáng tin cậy nhất này (ví dụ, dựa trên chuỗi được sắp xếp), và sau đó ánh xạ (các) bit chẵn lẻ này đến (các) kênh phụ đáng tin cậy nhất kế tiếp này mà khả dụng sau khi ánh xạ các bit thông tin này đến các kênh phụ đáng tin cậy nhất này. Theo cách này, các bit thông tin được truyền trên các kênh phụ đáng tin cậy hơn so với các bit chẵn lẻ. Tuỳ chọn khác là ánh xạ (các) bit chẵn lẻ này đến (các) kênh phụ đáng tin cậy nhất này, và sau đó ánh xạ các bit thông tin này đến các kênh phụ đáng tin cậy nhất kế tiếp này mà khả dụng sau khi ánh xạ (các) bit chẵn lẻ này đến các kênh phụ đáng tin cậy nhất này. Theo cách này, các bit chẵn lẻ được truyền trên các kênh phụ đáng tin cậy hơn so với các bit thông tin.

Các mô phỏng đã thể hiện rằng các cấp độ hiệu suất mã hoá cao hơn có thể đạt được trên thực tế bởi cách tiếp cận lai trong đó các bit chẵn lẻ này và các bit thông tin nằm xen kẽ trên các kênh đáng tin cậy nhất này. Trong khi việc lựa chọn các kênh phụ cho các bit thông tin có thể dựa trên độ tin cậy phân cực kênh phụ (ví dụ, như được chỉ báo bởi chuỗi được sắp xếp), việc lựa chọn các kênh phụ cho các bit chẵn lẻ có thể dựa trên nhiều hơn số đo độ tin cậy phân cực, ví dụ, để cho phép các vị trí của các kênh phụ chẵn lẻ này được phân bố một cách ngẫu nhiên hơn hoặc hiệu quả hơn giữa các kênh phụ thông tin này.

Theo một số phương án, hai số đo khác nhau được sử dụng để lựa chọn kênh phụ chẵn lẻ hoặc PC. Ví dụ, số đo thứ nhất có thể là số đo độ tin cậy phân cực (ví dụ, chuỗi được sắp xếp) và số đo thứ hai có thể là trọng số chẳng hạn như trọng số Hamming của các kênh phụ này (hoặc hàm số của trọng số Hamming chẳng hạn như trọng số theo hàng). Theo một phương án, tất cả các kênh phụ cần thiết để mang số lượng các bit chẵn lẻ mong

muốn được lựa chọn dựa trên nhiều hơn một số đo, ví dụ, số đo độ tin cậy phân cực và trọng số Hamming/trọng số theo hàng; trong khi theo các phương án khác, tập con các kênh phụ cho các bit chẵn lẻ được lựa chọn dựa trên nhiều hơn một số đo, ví dụ, số đo độ tin cậy phân cực và trọng số Hamming/trọng số theo hàng, và tập con còn lại được lựa chọn dựa trên chỉ một số đo, ví dụ, số đo độ tin cậy phân cực.

Trọng số Hamming có thể được ưu tiên một phần do nó được sử dụng bởi mã Reed-Muller (RM) và một phần do tính đơn giản của nó. Mã RM có thể được coi là ví dụ đặc biệt của các mã cực, trong đó mã RM này dựa trên trọng số Hamming thay vì độ tin cậy phân cực, và mã RM này sử dụng thuật toán giải mã hợp lý tối đa (Maximum-Likelihood - ML) (mã RM dựa trên trọng số Hamming tiếp cận biên hiệu suất ML này nếu độ dài mã là nhỏ) nhưng mã RM này có thể được giải mã với việc giải mã SC hoặc SCL.

Trọng số Hamming của kênh phụ được xác định trong bản mô tả này là trọng số Hamming của hàng của ma trận sinh. Trong mã cực, trọng số Hamming của kênh phụ có liên quan đến trọng số theo hàng của kênh phụ này theo ma trận sinh của nó (trọng số theo hàng = 2^(trọng số Hamming)). Theo một số phương án, trọng số theo hàng chỉ báo số lượng các bit được mã hoá, thông tin của kênh phụ được phân bố trên các bit này. Nói chung, càng nhiều bit mã hoá mà bit thông tin nhập vào các kênh phụ được phân bố trên đó, kênh phụ đó càng mạnh hơn, và do đó độ tin cậy càng cao hơn.

Ví dụ về cách thức sử dụng trọng số Hamming hoặc hàm số của trọng số Hamming này chẳng hạn như trọng số theo hàng có thể được dùng làm số đo thứ hai để lựa chọn các kênh phụ cho các bit chẵn lẻ được mô tả chi tiết hơn trong Đơn Đăng ký Sáng chế Tạm thời Mỹ số 62/433127, nộp ngày 12 tháng 12 năm 2016, có tiêu đề "Method for constructing a Parity Check (PC) Based Polar Code Using a Look-up-Table" (Phương pháp xây dựng Mã cực dựa trên Kiểm tra chẵn lẻ bằng cách sử dụng Bảng tra cứu). Cần lưu ý rằng đây chỉ là các ví dụ của số đo có thể được sử dụng làm số đo thứ hai. Nói chung, số đo khác bất kỳ cũng cho thấy độ tin cậy (phân cực) có thể được sử dụng làm số đo thứ hai này. Theo cách khác, số đo thứ hai này khác với số đo thứ nhất nhưng cũng liên quan đến hoặc cho thấy độ tin cậy phân cực này. Tuy nhiên, theo cách khác nữa, thứ tự tự nhiên của các kênh phụ có thể được sử dụng làm số đo thứ hai để cho, ví dụ, các kênh phụ ở đầu cuối của các kênh phụ thông tin này được lựa chọn làm các kênh phụ hỗ trợ này. Theo một số phương án, nhiều hơn hai số đo có thể được sử dụng để lựa chọn các kênh phụ hỗ trợ. Ngoài ra, có thể sử dụng thuật toán bất kỳ trong số nhiều thuật toán lựa chọn kênh phụ hỗ trợ khác nhau bằng cách sử dụng các số đo được mô tả trên đây. Có các khả năng khác để lựa chọn các kênh phụ hỗ trợ.

Các phương án về kỹ thuật được mô tả trong Đơn Đăng ký Sáng chế Tạm thời Mỹ số 62/433127 dự trữ và/hoặc lựa chọn các kênh phụ ứng viên cho (các) bit chẵn lẻ trước khi ánh xạ các bit thông tin này đến các kênh phụ. Sau khi các kênh phụ ứng viên này được dự trữ, các bit thông tin này được ánh xạ đến các kênh phụ đáng tin cậy nhất còn lại, và số

lượng các bit đóng băng được ánh xạ đến các kênh phụ ít tin cậy nhất còn lại. Sau đó, các giá trị bit chẵn lẻ đối với các kênh phụ được dự trữ này được xác định dựa trên hàm số của các bit thông tin này. Đặc biệt là, các kênh phụ ứng viên được dự trữ cho (các) bit chẵn lẻ này không nhất thiết là các kênh phụ đáng tin cậy nhất, nhưng nói chung bao gồm ít nhất một số kênh phụ đáng tin cậy, hoặc đáng tin cậy hơn, so với ít nhất một kênh phụ trong số các kênh phụ mà trên đó các bit thông tin được truyền. Theo cách này, các bit thông tin và các bit chẵn lẻ nằm xen kẽ trên các kênh đáng tin cậy nhất này theo cách thức làm cải thiện xác suất giải mã.

Như nêu trên, một số kênh phụ có thể được dự trữ hoặc được đặt sang một bên cho các bit PC trong quá trình mã hoá cực. Fig. 5A-5G minh hoạ ví dụ của cách thức quá trình mã hoá có thể diễn ra khi chuỗi bốn bit thông tin được mã hoá thành độ dài mã gốc là 16. Fig. 5A mô tả bảng liệt kê các kênh phụ u_0, u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9, u_{10}, u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}, u_{15} tương ứng với độ dài mã gốc là 16. Hàng thứ hai của bảng này liệt kê độ tin cậy phân cực kênh đối với mỗi kênh phụ. Các kênh phụ này có thể sau đó được sắp xếp dựa trên độ tin cậy kênh này. Fig. 5B mô tả bảng liệt kê chuỗi các kênh phụ được sắp xếp Q u_0, u_1, u_2, u_4, u_8, u_3, u_5, u_6, u_9, u_{10}, u_{12}, u_7, u_{11}, u_{13}, u_{14}, u_{15}. Trọng số theo hàng đối với mỗi kênh có thể sau đó được tính toán như là hàm số của chỉ số kênh này. Trong một ví dụ, trọng số theo hàng này có thể được tính toán dựa trên phương trình sau: $rw = 2^{hw}$, trong đó *rw* là trọng số theo hàng đối với kênh phụ cho trước này, và *hw* là trọng số Hamming của việc biểu diễn nhị phân của chỉ số kênh này. Fig. 5C mô tả bảng liệt kê việc biểu diễn nhị phân này, trọng số Hamming, và trọng số theo hàng của mỗi kênh phụ trong chuỗi các kênh phụ được sắp xếp này.

Tiếp theo, tập con các kênh phụ được nhận dạng để xác định tập các tham số w_{min}, $2*w_{min}$, f_1, và f_2, tập các tham số này sẽ được sử dụng để dự trữ các kênh phụ cho các bit PC. Tập con các kênh phụ mang các bit thông tin và các bit chẵn lẻ này là bằng với K+ F_P, trong đó K là độ dài khối thông tin này (ví dụ, số lượng bit thông tin để mã hoá), và F_P là tham số tương ứng với số lượng các bit chẵn lẻ để truyền trên kênh này. Theo một phương án, F_P được tính toán theo hàm số sau đây: $F_p = \log_2 N \times (\alpha - |\alpha \times (K/M - 1/2)|^2)$, trong đó, N là độ dài mã gốc, M là số lượng các bit (được mã hoá) trong từ mã sẽ được truyền đi (ví dụ, sau khi chấm thủng), K/M là tỷ lệ mã đạt được, và α là hệ số trọng số được sử dụng để thay đổi tỷ lệ của các bit chẵn lẻ với các bit thông tin. Tuy nhiên, có thể sử dụng hàm số khác nhau đối với F_P, ví dụ, $F_P = \log_2((M-K)/32$, hàm số này hoạt động tốt đối với số lượng các bit chẵn lẻ tương đối nhỏ. Theo cách khác, hàm số này có thể khác nhau ví dụ nếu sử dụng kiểu bit hỗ trợ khác nhau (không dùng các bit chẵn lẻ) và/hoặc kiểu hàm kiểm tra khác nhau (không dùng hàm PC). Nói chung, số lượng các bit PC F_P có thể là hàm số bất kỳ của K, N (và M nếu M < N và rút gọn hoặc chấm thủng được sử dụng). Theo phương án khác nữa, F_P có thể là giá trị cố định không phụ thuộc vào K, N (và/hoặc M), ví dụ, 3. Theo phương án khác nữa, F_P có thể biểu diễn tập hoặc tập con mong muốn (ví dụ, 1) của tổng số các bit chẵn lẻ (ví dụ, 3) sẽ được ánh xạ đến các kênh phụ ứng viên (có trọng

số theo hàng tối thiểu w_{min}) trong khi các bit chẵn lẻ còn lại (ví dụ, 2) được ánh xạ đến các kênh phụ khác theo số đo khác nhau (ví dụ, các kênh phụ ít tin cậy nhất nằm trong K (hoặc K+F_P) kênh phụ đáng tin cậy nhất này). Có các khả năng khác đối với F_P.

Theo các phương án sử dụng các bit PC và hàm số trên đây đối với F_P, tham số α này được thiết lập giá trị giữa 1 và 2. Theo các phương án khác, tham số α này được thiết lập giá trị giữa 1 và 1,5. Giá trị α càng cao thường sẽ tạo ra khoảng mã hoá tối thiểu càng cao. Trong ví dụ này, F_P bằng 2. Như vậy, tập con các kênh phụ để mang các bit thông tin và các bit chẵn lẻ này bao gồm 6 kênh phụ đáng tin cậy nhất (tức là, $K+F_p = 4+2 = 6$), các kênh phụ này là u_{12}, u_7, u_{11}, u_{13}, u_{14}, và u_{15}). Tiếp theo, một hoặc nhiều giá trị trọng số theo hàng được xác định. Như có thể thấy được, trọng số theo hàng tối thiểu w_{min} trong tập con $K + F_P$ này là 4. Trong ví dụ này, các giá trị trọng số theo hàng bao gồm trọng số theo hàng tối thiểu w_{min} và hai lần trọng số theo hàng tối thiểu $2*w_{min}$ trong tập con các kênh phụ u_{12}, u_7, u_{11}, u_{13}, u_{14}, và u_{15} được xác định, tương ứng là 4 và 8. Chỉ số thứ nhất (f_1) và chỉ số thứ hai (f_2) cũng được xác định. Chỉ số thứ nhất (f_1) này xác định có bao nhiêu kênh phụ có trọng số theo hàng bằng w_{min} sẽ được dự trữ cho các bit PC, và chỉ số thứ hai (f_2) này xác định có bao nhiêu kênh phụ có trọng số theo hàng bằng $2*w_{min}$ sẽ được dự trữ cho các bit PC. Trong ví dụ này, f_1 và f_2 bằng nhau và bằng 1.

Sau đó, các kênh phụ này được dự trữ cho các bit PC dựa trên các tham số w_{min}, $2*w_{min}$, f_1, và f_2 này. Trong ví dụ này, kênh phụ đáng tin cậy nhất có trọng số theo hàng w_{min} (tức là, bằng 4) và kênh phụ đáng tin cậy nhất có trọng số theo hàng bằng $2*w_{min}$ (tức là, bằng 8) được lựa chọn, các kênh phụ này bao gồm các kênh phụ u_{12} và u_{14}. Fig. 5D mô tả bảng thể hiện các kênh phụ được dự trữ cho các bit PC. Sau đó, các bit thông tin này được ánh xạ đến các kênh đáng tin cậy nhất còn lại này. Fig. 5E mô tả bảng thể hiện cách thức ánh xạ các kênh phụ u_{15}, u_{13}, u_{11}, và u_7 đến bốn bit thông tin này. Trong ví dụ này, K=4 và N=16. Trong các ví dụ khác, các số lượng bit thông tin khác nhau có thể được ánh xạ đến các kênh phụ. Sau đó, các kênh phụ còn lại này được ánh xạ đến các bit đóng băng. Fig. 5F mô tả bảng thể hiện cách thức các kênh phụ u_{10}, u_9, u_6, u_5, u_3, u_8, u_4, u_2, u_1, và u_0 được ánh xạ đến các bit đóng băng.

Theo một số phương án, bộ mã hoá này lựa chọn một số kênh phụ trong tập bit đóng băng này để mang các bit PC sau khi ánh xạ tập bit đóng băng này . Fig. 5G mô tả bảng thể hiện cách thức có thể lựa chọn các kênh phụ đóng băng để mang các bit PC. Như được thể hiện, các kênh phụ trong tập đóng băng này có trọng số theo hàng bằng w_{min} hoặc $2*w_{min}$ được lựa chọn để mang các bit PC. Trong ví dụ này, các kênh phụ u_{10}, u_9, u_6, u_5, và u_3 được ánh xạ làm các bit PC bổ sung. Theo một số phương án khác, tất cả các kênh phụ đóng băng có thể được lựa chọn làm các bit PC bổ sung.

Thay vì dự trữ hoặc lựa chọn F_P kênh phụ cho F_P bit PC dựa trên w_{min}, $2*w_{min}$, f_1 và f_2, bộ mã hoá này có thể dự trữ các kênh phụ sử dụng tập hoặc tập con khác gồm các tham số này. Theo một phương án, F_P kênh phụ được dự trữ nằm trong $K + F_P$ tập con N kênh

phụ hoặc M < N kênh phụ đáng tin cậy nhất (nếu chấm thủng hoặc rút gọn được sử dụng) dựa trên (chỉ) w_{min}, ví dụ, F_P kênh phụ có trọng số theo hàng bằng giá trị w_{min} (các chi tiết hơn nữa dưới đây) được dự trữ. Theo một số cách thức thực hiện, nếu có nhiều hơn các kênh phụ trong tập con K + F_P có trọng số theo hàng bằng w_{min}, F_P kênh phụ đáng tin cậy nhất này được dự trữ. Theo một số cách thức thực hiện, việc lựa chọn tương tự được áp dụng cho trường hợp khi có nhiều hơn f_2 kênh phụ có trọng số theo hàng bằng $2*w_{min}$ nằm trong K+ F_P kênh phụ đáng tin cậy nhất này. Theo một số cách thức thực hiện khác, F_P kênh phụ ít tin cậy nhất trong tập con K + F_P có trọng số theo hàng bằng w_{min} (hoặc $2*w_{min}$) được dự trữ. Theo các cách thức thực hiện khác nữa, số lượng bit PC có thể được tăng lên để cho tất cả các kênh phụ có trọng số theo hàng bằng với w_{min} được dự trữ cho các bit PC này. Theo các cách thức thực hiện khác nữa, F_P biểu diễn tập hoặc tập con (ví dụ, 1) của tổng số lượng các kênh phụ cho các bit PC (ví dụ, 3) sẽ được dự trữ dựa trên w_{min} và/hoặc $2*w_{min}$, và tập con còn lại (ví dụ, 2) của tổng số lượng các kênh phụ cho các bit PC được dự trữ dựa trên số đo khác, ví dụ, các kênh phụ ít tin cậy nhất nằm trong K (hoặc K+F_P) kênh phụ đáng tin cậy nhất này. Các cách thức thực hiện khác là có thể.

Theo một số phương án, ngoài việc dự trữ F_p kênh phụ trong tập con K + F_P này, bộ mã hoá này có thể lựa chọn một số kênh phụ trong tập bit đóng băng N-K-F_P này để mang các bit PC bổ sung. Theo các phương án khác, tất cả các kênh phụ trong tập bit đóng băng này được lựa chọn để mang các bit PC ngoài F_P kênh phụ trong tập con K + F_P này có trọng số theo hàng bằng w_{min}.

Theo một số phương án, khi các bit PC được ánh xạ dựa trên các trọng số theo hàng được kết hợp với các kênh phụ này, các tính toán trọng số theo hàng này có thể thêm trễ vào quá trình mã hoá này. Các phương án khác của sáng chế làm giảm trễ này bằng cách dự trữ các kênh phụ dựa trên các trọng số Hamming của chúng, do đó tránh được bước tính toán thêm các trọng số theo hàng. Fig. 6A-6G minh hoạ ví dụ của cách thức có thể sử dụng các trọng số Hamming để dự trữ các kênh phụ cho các bit PC trong quá trình mã hoá cực. Trong ví dụ này, chuỗi bốn bit thông tin được mã hoá thành độ dài mã gốc là 16. Fig. 6A mô tả bảng liệt kê các kênh phụ u_0, u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9, u_{10}, u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}, u_{15} tương ứng với độ dài mã gốc là 16. Hàng thứ hai của bảng này liệt kê độ tin cậy phân cực kênh đối với mỗi kênh phụ. Các kênh phụ này có thể được sắp xếp dựa trên độ tin cậy kênh này. Fig. 6B mô tả bảng liệt kê chuỗi các kênh phụ được sắp xếp Q u_0, u_1, u_2, u_4, u_8, u_3, u_5, u_6, u_9, u_{10}, u_{12}, u_7, u_{11}, u_{13}, u_{14}, u_{15}. Trọng số Hamming của mỗi chỉ số kênh có thể được xác định cho mỗi kênh phụ. Fig. 6C mô tả bảng liệt kê trọng số Hamming của mỗi kênh phụ trong chuỗi các kênh phụ được sắp xếp này.

Tiếp theo, tập con các kênh phụ được nhận dạng để xác định trọng số Hamming tối thiểu (u_{min}) cũng như các tham số f_1, và f_2, tập các tham số này sẽ được sử dụng để dự trữ các kênh phụ cho các bit PC. Tập con các kênh phụ mang các bit thông tin và các bit chẵn lẻ này bằng với K+ F_P, trong đó K là độ dài khối thông tin này, và F_P là tham số được tính toán theo hàm số sau đây: $F_p = \log_2 N \times (\alpha - |\alpha \times (K/M - 1/2)|^2)$, trong đó N là độ dài

mã gốc, M là số lượng các bit được mã hoá trong từ mã sẽ được truyền đi (ví dụ, sau khi chấm thủng), K/M là tỷ lệ mã đạt được và α là hệ số trọng số được sử dụng để thay đổi tỷ lệ của các bit chẵn lẻ với các bit thông tin. Tuy nhiên, tuỳ thuộc vào cách thức thực hiện, có thể sử dụng hàm số khác nhau đối với F_P, ví dụ, $F_P = \log_2((M-K)/32$, hàm số này hoạt động tốt đối với số lượng các bit chẵn lẻ tương đối nhỏ. Theo cách khác, có thể sử dụng hàm số khác, ví dụ nếu sử dụng kiểu bit hỗ trợ khác nhau (không dùng các bit chẵn lẻ) và/hoặc kiểu hàm kiểm tra khác nhau (không dùng hàm PC). Nói chung, số lượng các bit PC F_P có thể là hàm số bất kỳ của K, N nhưng cũng có thể là M (nếu M < N và rút gọn hoặc chấm thủng được sử dụng). Theo phương án khác, F_P có thể là giá trị cố định không phụ thuộc vào K, N (và/hoặc M), ví dụ, 3 hoặc có thể biểu diễn tập hoặc tập con mong muốn (ví dụ, 1) gồm tổng số các bit chẵn lẻ (ví dụ, 3) sẽ được ánh xạ đến các kênh phụ ứng viên có trọng số theo hàng tối thiểu w_{min} trong khi các bit chẵn lẻ còn lại (ví dụ, 2) được ánh xạ đến các kênh phụ khác theo số đo khác nhau (ví dụ, các kênh phụ ít tin cậy nhất nằm trong K (hoặc $K+F_P$) kênh phụ). Trong ví dụ của Fig. 6A-6G, F_P bằng 2, và tập con của các kênh phụ đáng tin cậy nhất này bao gồm 6 kênh phụ đáng tin cậy nhất (tức là, $K+F_P = 4+2 = 6$), là các kênh phụ u_{12}, u_7, u_{11}, u_{13}, u_{14}, và u_{15}. Tiếp theo, trọng số Hamming tối thiểu đối với tập con các kênh phụ được xác định. Trong ví dụ này, trọng số Hamming tối thiểu này là 2 dựa trên trọng số Hamming của kênh phụ u_{12}. Chỉ số thứ nhất f_1 và chỉ số thứ hai f_2 cũng được xác định. Chỉ số thứ nhất f_1 này xác định có bao nhiêu kênh phụ có trọng số Hamming bằng u_{min} sẽ được dự trữ cho các bit PC, và chỉ số thứ hai f_2 này xác định có bao nhiêu kênh phụ có trọng số Hamming bằng $1+u_{min}$ sẽ được dự trữ cho các bit PC. Trong ví dụ này, f_1 và f_2 bằng nhau và bằng 1.

Sau đó, các kênh phụ này được dự trữ cho các bit PC dựa trên các tham số u_{min}, $1+u_{min}$, f_1, và f_2 này. Trong ví dụ này, kênh phụ đáng tin cậy nhất có trọng số Hamming bằng u_{min} (tức là, bằng 2) và kênh phụ đáng tin cậy nhất có trọng số Hamming bằng $1+u_{min}$ (tức là, bằng 3) được lựa chọn, các kênh phụ này bao gồm các kênh phụ u_{12} và u_{14}. Fig. 6D mô tả bảng thể hiện các kênh phụ được dự trữ cho các bit PC. Sau đó, các bit thông tin này được ánh xạ đến các kênh đáng tin cậy nhất còn lại này. Fig. 6E mô tả bảng thể hiện cách thức ánh xạ các kênh phụ u_{15}, u_{13}, u_{11}, và u_7 đến bốn bit thông tin này. Sau đó, các kênh phụ còn lại này được ánh xạ đến các bit đóng băng. Fig. 6F mô tả bảng thể hiện cách thức ánh xạ các kênh phụ u_{10}, u_9, u_6, u_5, u_3, u_8, u_4, u_2, u_1, và u_0 đến các bit đóng băng.

Theo một số phương án, bộ mã hoá này lựa chọn các kênh phụ bổ sung trong tập bit đóng băng này để mang các bit PC. Fig. 6G mô tả bảng thể hiện cách thức có thể lựa chọn các kênh phụ trong tập đóng băng có trọng số Hamming bằng umin hoặc $1+u_{min}$ để mang các bit PC. Trong ví dụ này, các kênh phụ u_{10}, u_9, u_6, u_5, và u_3 được dự trữ để mang các bit PC bổ sung. Theo một số phương án khác, tất cả các kênh phụ đóng băng có thể được lựa chọn làm các bit PC bổ sung.

Thay vì dự trữ hoặc lựa chọn F_P kênh phụ cho F_P bit PC dựa trên u_{min}, f_1 và f_2, bộ mã hoá này có thể dự trữ các kênh phụ sử dụng tập hoặc tập con khác nhau của các tham số

đó. Theo một phương án, F_P kênh phụ được dự trữ nằm trong K + F_P tập con N kênh phụ (hoặc M < N kênh phụ nếu chấm thủng hoặc rút gọn được sử dụng) đáng tin cậy nhất dựa trên (chỉ) u_{min}, ví dụ, F_P kênh phụ có trọng số Hamming bằng giá trị u_{min} (các chi tiết hơn nữa dưới đây) được dự trữ. Theo một số cách thức thực hiện, nếu có nhiều hơn các kênh phụ trong tập con K + F_P có trọng số Hamming bằng u_{min}, F_P kênh phụ đáng tin cậy nhất này được dự trữ. Theo một số cách thức thực hiện, việc lựa chọn tương tự được áp dụng cho trường hợp khi có nhiều hơn f_2 kênh phụ có trọng số theo hàng bằng $2*w_{min}$ nằm trong K+ F_P kênh phụ đáng tin cậy nhất này. Theo một số cách thức thực hiện khác, F_P kênh phụ ít tin cậy nhất trong tập con K + F_P được dự trữ. Theo các cách thức thực hiện khác nữa, số lượng bit PC có thể được tăng lên để cho tất cả các kênh phụ có trọng số Hamming bằng với u_{min} được dự trữ cho các bit PC này. Theo các cách thức thực hiện khác nữa, F_P biểu diễn tập hoặc tập con (ví dụ, 1) của tổng số các kênh phụ cho các bit PC (ví dụ, 3) sẽ được dự trữ dựa trên w_{min} và/hoặc $2*w_{min}$, và tập con còn lại (ví dụ, 2) được dự trữ dựa trên số đo khác, ví dụ, các kênh phụ ít tin cậy nhất nằm trong K (hoặc K+F_P) kênh phụ đáng tin cậy nhất này. Các cách thức thực hiện khác là có thể.

Theo một số phương án, ngoài việc dự trữ F_p kênh phụ trong tập con K + F_P này, bộ mã hoá này có thể lựa chọn một số kênh phụ trong tập bit đóng băng N-K-F_P này để mang các bit PC bổ sung. Theo các phương án khác, tất cả các kênh phụ trong tập bit đóng băng này được lựa chọn để mang các bit PC ngoài F_P kênh phụ trong tập con K + F_P này có trọng số theo hàng bằng w_{min}.

Các phương án của sáng chế đề xuất các kỹ thuật lựa chọn, dự trữ hoặc cấp phát một hoặc nhiều kênh phụ cho các bit chẵn lẻ dựa trên tham số trọng số. Fig. 7 là lưu đồ của phương pháp 700 dùng để mã hoá dữ liệu bằng cách sử dụng mã cực, như có thể được thực hiện bởi thiết bị không dây. Ở bước 710, thiết bị không dây này lựa chọn (trước) từ phân đoạn gồm các kênh phụ có thể được sắp xếp dựa trên số đo độ tin cậy, ít nhất một kênh phụ mang ít nhất một bit chẵn lẻ (ví dụ, kênh phụ ứng viên) dựa trên tham số trọng số. Tham số trọng số này có thể là tham số trọng số theo hàng tối thiểu (ví dụ, w_{min}, d_{min}). Trong một ví dụ, các kênh phụ được sắp xếp này bao gồm phân đoạn gồm K kênh phụ và phân đoạn gồm N_0-K kênh phụ, và thiết bị không dây này lựa chọn, từ phân đoạn gồm K kênh phụ này, ít nhất một kênh phụ ứng viên có trọng số tối thiểu d_{min}. Trong ví dụ này, mỗi kênh phụ trong số K kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn so với tất cả N_0-K kênh phụ này. Trong ví dụ này, K là số lượng các bit thông tin để mã hoá hoặc độ dài khối thông tin có thể hoặc có thể không bao gồm các bit hỗ trợ khác (ví dụ, các bit CRC) và N_0 là độ dài mã gốc. Trong ví dụ khác, nếu số lượng n kênh phụ có trọng số nhỏ nhất trong phân đoạn K này lớn hơn giá trị F được xác định trước, thiết bị không dây này lựa chọn F kênh phụ từ phân đoạn gồm K kênh phụ có trọng số tối thiểu này theo thứ tự số đo độ tin cậy giảm dần này (ví dụ, từ độ tin cậy cao đến độ tin cậy thấp). Trong ví dụ khác, thiết bị không dây này lựa chọn số lượng kênh phụ thứ nhất dựa trên trọng số tối thiểu d_{min} và/hoặc số lượng kênh phụ thứ hai dựa trên hai lần trọng số tối thiểu $2*d_{min}$. Trong ví dụ khác nữa,

thiết bị không dây này lựa chọn ít nhất một kênh phụ, ví dụ, dựa trên hàm số của độ dài mã được kết hợp với mã cực và độ dài khối thông tin của dữ liệu sẽ được mã hoá. Trong ví dụ khác nữa, thiết bị không dây này lựa chọn tất cả các kênh phụ thường được cấp phát đến các bit đóng băng làm các kênh phụ mang ít nhất một bit chẵn lẻ này.

Trong ví dụ khác nữa, thiết bị không dây này lựa chọn ít nhất một kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất trong tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất của chuỗi N kênh phụ được sắp xếp. Trong ví dụ này, trọng số theo hàng của kênh phụ là số lượng các số 1 trong hàng của ma trận Kronecker (có kích cỡ N) tương ứng với các kênh phụ này. Trong ví dụ khác nữa, nếu số lượng n các kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất trong số K kênh phụ đáng tin cậy nhất này lớn hơn số lượng F_P được xác định trước, thiết bị không dây này có thể lựa chọn F_P kênh phụ giữa n kênh phụ (ví dụ, có trọng số theo hàng thấp nhất này) trong tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất này. Trong ví dụ khác nữa, ít nhất một kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất này được lựa chọn từ tập con K kênh phụ đáng tin cậy nhất này theo thứ tự độ tin cậy giảm dần. Nói cách khác, ít nhất một kênh phụ được lựa chọn này là các kênh phụ đáng tin cậy nhất trong tập con K có trọng số theo hàng thấp nhất này.

Ở bước 720, thiết bị không dây này áp dụng hàm kiểm tra chẵn lẻ để xác định giá trị cho mỗi bit trong số ít nhất một bit chẵn lẻ này. Hàm kiểm tra chẵn lẻ này có thể được thực hiện trên các kênh phụ được lựa chọn cho ít nhất một bit chẵn lẻ này. Hàm kiểm tra chẵn lẻ này có thể là hàm kiểm tra chẵn lẻ số nguyên tố. Ở bước 730, thiết bị không dây này mã hoá cực các bit thông tin và ít nhất một bit chẵn lẻ được đặt trong các kênh phụ được lựa chọn này để thu nhận dữ liệu được mã hoá. Trong một ví dụ, ít nhất một bit chẵn lẻ này được đặt trong số lượng các kênh phụ có trọng số tối thiểu thứ nhất và/hoặc số lượng các kênh phụ có trọng số tối thiểu gấp đôi thứ hai. Cho dù không được thể hiện, thiết bị không dây này cũng có thể lựa chọn các kênh phụ cho các bit thông tin này trong chuỗi các kênh phụ được sắp xếp này, bỏ qua ít nhất một kênh phụ được lựa chọn cho ít nhất một bit chẵn lẻ này, cho đến khi số lượng các kênh phụ được lựa chọn cho các bit thông tin này đạt tới K (tức là, tổng số bit thông tin để mã hoá). Ở bước 740, thiết bị không dây này truyền dữ liệu được mã hoá này đến thiết bị không dây khác.

Fig. 8 là lưu đồ của phương án về phương pháp 800 dùng để mã hoá dữ liệu bằng cách sử dụng mã cực, như có thể được thực hiện bởi thiết bị không dây. Ở bước 810, thiết bị không dây này dự trữ hoặc theo cách khác cấp phát một hoặc nhiều kênh phụ (ứng viên) cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ dựa trên các trọng số theo hàng đối với các kênh phụ trong tập con của tập hoặc chuỗi N kênh phụ có thể được sắp xếp ví dụ dựa trên số đo độ tin cậy. Các trọng số theo hàng này có thể bao gồm giá trị trọng số theo hàng tối thiểu w_{min} và/hoặc bội số nguyên của tham số trọng số theo hàng tối thiểu (ví dụ, $2*w_{min}$). Trọng số theo hàng đối với kênh phụ này có thể biểu diễn số lượng các số 1 trong hàng tương ứng với kênh phụ của ma trận Kronecker có kích cỡ N. Có nhiều kỹ thuật khác nhau để dự trữ (tức là, cấp phát) các kênh phụ ứng viên cho các bit chẵn lẻ từ các kênh phụ được sắp xếp này. Ví

dụ, sau khi tập các kênh phụ đã được sắp xếp dựa trên các độ tin cậy của chúng, thiết bị không dây này có thể dự trữ các kênh phụ ứng viên từ tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ trong tập này dựa trên các trọng số theo hàng của chúng tính từ kênh phụ có độ tin cậy cao nhất. Trong một ví dụ, f_1 kênh phụ thứ nhất (tức là, đáng tin cậy nhất) có trọng số theo hàng bằng với giá trị trọng số theo hàng tối thiểu (trong đó f_1 là số nguyên, lớn hơn 0), được dự trữ cho các bit chẵn lẻ. Trong ví dụ này, trọng số theo hàng tối thiểu có thể là trọng số theo hàng thấp nhất được kết hợp với K hoặc K+F_P kênh phụ đáng tin cậy nhất trong chuỗi các kênh phụ được sắp xếp này, trong đó K là độ dài khối thông tin được kết hợp với chuỗi các bit thông tin này, và F_P là tham số hoặc hàm số tương ứng với số lượng các bit chẵn lẻ được mang bởi dòng bit được mã hoá này. Theo phương án như vậy, F_P có thể được tính toán theo hàm số sau đây: $F_p = \log_2 N \times (\alpha - |\alpha \times (K/M - 1/2)|^2)$, trong đó M là độ dài khối được truyền đi, N là độ dài mã gốc, và α là hệ số trọng số được sử dụng để làm biến đổi tỷ lệ các bit chẵn lẻ với các bit thông tin. Các giá trị khác F_P cũng là có thể. Trong ví dụ khác, f_2 kênh phụ thứ nhất có trọng số theo hàng bằng với hai lần giá trị trọng số theo hàng tối thiểu, cũng có thể được dự trữ cho các bit chẵn lẻ (trong đó f_2 cũng là số nguyên, lớn hơn hoặc bằng 0). Tham số f_1 này có thể được tính toán theo hàm số sau: $f_1=(F_P+\min(F_P,n))/2$, trong đó n là số lượng các kênh phụ, trong K+F_P kênh phụ đáng tin cậy nhất của chuỗi các kênh phụ được sắp xếp này, các kênh phụ này có trọng số theo hàng bằng với trọng số theo hàng tối thiểu. Tham số f_2 này có thể được tính toán theo hàm số sau: $f_2=(F_p-\min(F_p,n))/2$. Các giá trị khác cũng có thể đối với các tham số f_1 và f_2.

Theo phương án khác, F_p có thể là giá trị cố định (ví dụ, 3) không phụ thuộc vào kích cỡ khối thông tin và độ dài mã. Theo cách khác, F_p có thể là tập con mong muốn (ví dụ, 1) gồm tổng số các bit chẵn lẻ sẽ được sử dụng (ví dụ, 3) và sẽ được ánh xạ đến các kênh phụ ứng viên có trong số hàng tối thiểu w_{min} trong tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ (ví dụ, K hoặc (K+F_p)) trong khi các bit chẵn lẻ còn lại (ví dụ, 2) được ánh xạ đến các kênh phụ khác theo số đo khác (ví dụ, các kênh phụ ít tin cậy nhất nằm trong K (hoặc K+F_p) kênh phụ đáng tin cậy nhất này).

Ở bước 820, thiết bị không dây này ánh xạ các bit thông tin đến tập con các kênh phụ còn lại trong tập các kênh phụ này dựa trên độ tin cậy của các kênh phụ còn lại này, ví dụ, mà không ánh xạ các bit thông tin này đến một hoặc nhiều các kênh phụ ứng viên được dự trữ cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này. Ở bước 830, thiết bị không dây này xác định (tức là, tính toán) các giá trị của ít nhất một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này làm hàm số của các giá trị của các bit thông tin này và ánh xạ một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này đến các kênh phụ ứng viên được dự trữ (không được thể hiện). Ở bước 840, thiết bị không dây này mã hoá các bit thông tin được ánh xạ này và một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này bằng cách sử dụng mã cực để thu nhận các bit được mã hoá hoặc dòng bit được mã hoá. Ở bước 850, thiết bị không dây này truyền các bit được mã hoá này trên kênh (vật lý) này.

Các phương án của sáng chế đề xuất phương pháp dùng cho thiết bị chẳng hạn như thiết bị không dây để thực hiện hàm kiểm tra chẵn lẻ trước khi mã hoá. Trong bước thứ

nhất, thiết bị không dây này thu nhận hoặc kiểm tra chuỗi được sắp xếp của độ tin cậy Q và xác định tập bit được chấm thủng P dựa trên tỷ lệ mã R và độ dài mã gốc N.

Trong bước thứ hai, thiết bị này xác định tập bit đóng băng, tập bit PC đóng băng, và tập bit thông tin từ chuỗi được sắp xếp này. Bước thứ hai này có thể bao gồm một vài bước phụ 2.1-2.4 (d). Trong bước phụ 2.1, thiết bị không dây này có thể chia chuỗi Q này, (được sắp xếp bởi độ tin cậy tăng dần từ trái qua phải) thành ba tập con, gọi là tập con N-M, tập con M-K, và tập con K. Ví dụ của bước này được thể hiện trong Bảng 2. Có thể thấy rằng, tập con K này biểu diễn các vị trí bit đáng tin cậy nhất (các kênh phụ) trong chuỗi Q này. Trong bước phụ 2.2, thiết bị không dây này có thể xác định trọng số theo hàng tối thiểu hoặc thấp nhất trong tập con K này và ký hiệu nó là d_{min}, trong đó trọng số theo hàng đối với kênh phụ này biểu diễn số lượng "các số 1" trong hàng của ma trận Kronecker của nó tương ứng với kênh phụ này. Như được lưu ý trên đây, trọng số theo hàng này cũng là luỹ thừa của 2 có số mũ là số lượng "các số 1" trong biểu diễn nhị phân của chỉ số kênh phụ này. Sau đó, thiết bị không dây này có thể xác định số lượng các vị trí bit n trong tập con K này có trọng số theo hàng bằng d_{min}. Trong bước phụ 2.3, thiết bị không dây này lựa chọn hoặc gắn cờ tập các kênh phụ, trong tập con K này, cho các bit PC đóng băng theo d_{min}. Cụ thể là, thiết bị không dây này có thể xác định số lượng F_P các bit kiểm tra chẵn lẻ (PC) đóng băng (PC-frozen) dựa trên hàm số của độ dài mã gốc của mã cực này và số lượng các bit thông tin trong chuỗi các bit thông tin này. Trong một ví dụ, F_P được tính toán theo hàm số sau đây: $F_P = \text{ceil}(\log_2(N*K)/2)$. Sau đó, thiết bị không dây này có thể lựa chọn và/hoặc gắn cờ số lượng các kênh phụ cho các bit PC đóng băng. Nếu $n<F_P$, thiết bị không dây này có thể lựa chọn và/hoặc gắn cờ làm các bit đóng băng PC cho $(F_P+n)/2$ kênh phụ có trọng số theo hàng d_{min} theo thứ tự độ tin cậy giảm dần, cũng như lựa chọn và/hoặc gắn cờ cho $(F_P-n)/2$ kênh phụ với trọng số theo hàng $2\times d_{min}$ theo thứ tự độ tin cậy giảm dần. Nếu $n\geq F_P$, thiết bị không dây này có thể lựa chọn và/hoặc gắn cờ như là các bit đóng băng PC cho F_P kênh phụ có trọng số theo hàng d_{min} theo thứ tự độ tin cậy giảm dần. Theo phương án khác, F_P có thể là giá trị cố định, không phụ thuộc vào kích cỡ khối thông tin và độ dài mã, ví dụ, 3. Theo cách khác, F_P có thể biểu diễn tập hoặc tập con mong muốn (ví dụ, 1) của tổng số lượng các bit chẵn lẻ (ví dụ, 2) sẽ được ánh xạ đến các kênh phụ có trọng số theo hàng tối thiểu d_{min} hoặc hai lần trọng số theo hàng tối thiểu $2\times d_{min}$ trong khi các bit chẵn lẻ còn lại này (ví dụ, 2) được ánh xạ đến các kênh phụ khác theo số đo khác nhau (ví dụ, các kênh phụ ít tin cậy nhất nằm trong tập con K này hoặc tập con $K+F_P$ này). Trong các bước phụ 2.4(a)-2.4(d), thiết bị không dây này có thể xác định vị trí cho các bit thông tin, các bit PC đóng băng và các bit đóng băng. Cụ thể là, trong bước phụ 2.4(a), thiết bị không dây này có thể lựa chọn từng vị trí bit thông tin một từ ngoài cùng bên phải đến ngoài cùng bên trái (theo thứ tự độ tin cậy giảm dần), bỏ qua các vị trí bit được gắn cờ, cho đến khi số lượng các vị trí bit thông tin đạt tới K. Trong bước phụ 2.4(b), thiết bị không dây này có thể gắn cờ các vị trí bit còn lại thành các bit đóng băng. Trong bước phụ 2.4(c), thiết bị không dây này có thể lựa chọn một số vị trí bit đóng băng ví dụ, các vị trí có trọng

số theo hàng bằng với các bit PC đóng băng được lựa chọn trước làm các bit PC đóng băng bổ sung, hoặc tất cả các vị trí bit đóng băng làm các bit PC đóng băng bổ sung. Trong bước phụ 2.4(d), thiết bị không dây này có thể chuẩn bị chuỗi bit để mã hoá cực, ví dụ, với nhân Arikan. Thiết bị không dây này có thể chèn K bit thông tin, và đánh dấu các bit PC đóng băng và các bit đóng băng này.

Trong bước 3, thiết bị không dây này có thể thiết lập các giá trị cho các bit PC đóng băng dựa trên hàm kiểm tra chẵn lẻ. Trong một ví dụ, điều này đạt được bằng cách áp dụng dịch vòng trên thanh ghi có độ dài là giá trị nguyên tố.

Bảng 2

N-M	*M-K*	*K*

Fig. 9 là lưu đồ của phương án về phương pháp 900 để mã hoá dữ liệu bằng cách sử dụng mã cực, như có thể được thực hiện bởi thiết bị không dây. Ở bước 910, thiết bị không dây này xác định trọng số theo hàng thấp nhất d_{min} trong số K kênh phụ đáng tin cậy nhất này trong chuỗi các kênh phụ được sắp xếp. Ở bước 920, thiết bị không dây này lựa chọn hoặc gắn cờ tập các kênh phụ, trong K kênh phụ đáng tin cậy nhất này, cho các bit kiểm tra chẵn lẻ (PC) đóng băng (PC-frozen) theo trọng số theo hàng thấp nhất này. Cần nhận thấy rằng tập các kênh phụ được lựa chọn hoặc được gắn cờ này có thể bao gồm một hoặc nhiều kênh phụ. Tuỳ chọn, nếu có ít hơn các kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất d_{min}, ví dụ n, so với số lượng các bit PC đóng băng được xác định trước, ví dụ F_P, thiết bị không dây này có thể lựa chọn hoặc gắn cờ như là các bit PC đóng băng cho $(F_p+n)/2$ kênh phụ có trọng số theo hàng d_{min} trong chuỗi được sắp xếp này theo thứ tự độ tin cậy giảm dần, cũng như gắn cờ $(F_p-n)/2$ kênh phụ có trọng số theo hàng $2\times d_{min}$ trong chuỗi được sắp xếp này theo thứ tự độ tin cậy giảm dần. Tuỳ chọn, nếu số lượng n kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất d_{min} này lớn hơn F_P, thiết bị không dây này lựa chọn hoặc gắn cờ như là các bit PC đóng băng cho F_P kênh phụ có trọng số theo hàng d_{min} trong chuỗi được sắp xếp này theo thứ tự độ tin cậy giảm dần. Ở bước 930, thiết bị không dây này ánh xạ chuỗi K bit thông tin đến các kênh phụ còn lại đáng tin cậy nhất trong chuỗi các kênh phụ được sắp xếp này trong khi bỏ qua tập các kênh phụ được gắn cờ cho các bit PC đóng băng. Ở bước 940, thiết bị không dây này thiết lập các giá trị cho các bit PC trong ít nhất tập các kênh phụ được gắn cờ cho các bit PC đóng băng này, và mã hoá cực K bit thông tin này bằng các bit PC đóng băng này ở bước 950, nhờ đó thu nhận các bit được mã hoá hoặc dòng bit được mã hoá. Ở bước 960, thiết bị không dây này truyền ít nhất một phần các bit/dòng bit được mã hoá này.

Fig. 10 thể hiện hệ thống truyền thông 1000. Nguồn 1010 cung cấp dữ liệu thông tin này (dữ liệu kênh mang, các khối thông tin, các bit), bộ mã hoá (kênh) 1020 mã hoá dữ liệu thông tin này, dữ liệu thông tin được mã hoá này được truyền trên kênh 1030 này và sau đó được giải mã trong bộ giải mã (kênh) 1040 để cho dữ liệu thông tin này cuối cùng

được nhận ở đích 1050 này. Nguồn 1010 này và/hoặc bộ mã hoá kênh 1020 này có thể được nhúng vào hoặc được đưa vào điểm truyền dẫn hoặc thiết bị không dây chẳng hạn như thành phần mạng hoặc thiết bị người dùng. Thành phần mạng này có thể là điểm truy nhập chẳng hạn như NodeB tiến hoá (evolved NodeB - eNodeB), điểm truy nhập WiFi, điểm truy nhập tế bào nhỏ (tế bào rất nhỏ, tế bào siêu nhỏ) hoặc bất kỳ điểm truy nhập khác cung cấp truy nhập đến mạng. Bộ mã hoá 1020 này có thể được thực hiện theo nhiều cách thức khác nhau. Ví dụ, bộ mã hoá 1020 này có thể được thực hiện chỉ trong phần cứng (trong hệ mạch, chẳng hạn như bộ xử lý, được tạo cấu hình để mã hoá dữ liệu và/hoặc điều khiển hoạt động của bộ mã hoá này hoặc (các) thành phần khác của thiết bị này, và/hoặc theo cách khác điều khiển việc thực hiện chức năng và/hoặc các phương án được mô tả trong bản mô tả này). Theo cách thức thực hiện dựa trên bộ xử lý của bộ mã hoá này, các lệnh thực thi được bởi bộ xử lý thực hiện các hoạt động mã hoá như được mô tả trong bản mô tả này, các lệnh này được lưu trữ trong bộ nhớ không chuyển tiếp hoặc phương tiện lưu trữ bên trong hoặc bên ngoài của điểm truyền dẫn hoặc thiết bị này. Phương tiện không chuyển tiếp này có thể bao gồm, ví dụ trong bộ nhớ, một hoặc nhiều thiết bị bộ nhớ bán dẫn và/hoặc thiết bị bộ nhớ có phương tiện lưu trữ di chuyển được và có thể tháo lắp được. Bộ mã hoá 1020 này có thể được tạo cấu hình để lập giao diện với mô-đun truyền dẫn (tần số vô tuyến (Radio Frequency – RF)) riêng biệt. Ví dụ, bộ mã hoá 1020 này có thể được thực hiện trong phần cứng hoặc hệ mạch (ví dụ, trong một hoặc nhiều chipset, các bộ vi xử lý, các mạch tích hợp chuyên dụng (Application-Specific Integrated Circuits - ASICs), các mảng cổng khả trình dạng trường (Field-Programmable Gate Arrays - FPGAs), hệ mạch lô-gic riêng, hoặc các sự kết hợp của các thành phần này) để mã hoá dữ liệu như được mô tả trong bản mô tả này để truyền dẫn bởi khối RF riêng biệt.

Bộ giải mã (kênh) 1040 này và đích 1050 này có thể có trong điểm thu nhận hoặc thiết bị không dây khác chẳng hạn như thành phần mạng hoặc thiết bị người dùng (User Equipment – UE) và cũng có thể được thực hiện trong thành phần mạng hoặc thiết bị này theo nhiều cách thức khác nhau, ví dụ bao gồm, trong phần cứng hoặc hệ mạch chẳng hạn như chipset hoặc bộ xử lý được tạo cấu hình để thực thi các lệnh để thực hiện các hoạt động giải mã. Theo cách thức thực hiện dựa trên bộ xử lý của bộ giải mã 1040 này, các lệnh thực thi được bởi bộ xử lý để thực hiện các hoạt động giải mã được lưu trữ trong bộ nhớ không chuyển tiếp hoặc phương tiện lưu trữ bên trong hoặc bên ngoài điểm thu nhận hoặc thiết bị này. Phương tiện không chuyển tiếp này có thể bao gồm, ví dụ trong bộ nhớ, một hoặc nhiều thiết bị bộ nhớ bán dẫn và/hoặc thiết bị bộ nhớ có phương tiện lưu trữ di chuyển được và có thể là tháo lắp được. Bộ giải mã 1040 này có thể được tạo cấu hình để lập giao diện với mô-đun thu nhận RF riêng biệt. Ví dụ, bộ giải mã 1040 này có thể được thực hiện trong phần cứng hoặc hệ mạch (ví dụ, trong một hoặc nhiều chipset, các bộ vi xử lý, các ASIC, các FPGA, hệ mạch lô-gic chuyên dụng, hoặc các kết hợp của các thành phần này) để giải mã các dữ liệu nhận được (ví dụ, qua mô-đun hoặc khối thu nhận) như được mô tả trong bản mô tả này để thu nhận các bit thông tin. UE này có thể là điện thoại không

dây, điện thoại thông minh, máy tính bảng, thiết bị hỗ trợ cá nhân, hoặc thiết bị di động khác bất kỳ. Theo nhiều phương án khác nhau, nguồn 1010 này và bộ mã hoá kênh 1020 này có thể được thực hiện trong UE này và bộ giải mã kênh 1040 này và đích 1050 này có thể được thực hiện trong điểm truy nhập hoặc ngược lại. Kênh 1030 này có thể là kênh vô tuyến hoặc đường dây cố định chẳng hạn như cáp hoặc bus. Kênh 1030 này có thể là lớp vật lý của giao diện không dây. Kênh 1030 này có thể là phương tiện truyền dẫn khác bất kỳ. Hệ thống truyền thông 1000 này có thể được sử dụng không chỉ để truyền dữ liệu không dây mà còn để truyền dữ liệu có dây hoặc dữ liệu khác bất kỳ.

Theo một số phương án, bộ giải mã 1040 này có thể được tạo cấu hình để giải mã các tín hiệu dựa trên dữ liệu được mã hoá nhận được qua kênh 1030 này. Theo một phương án, bộ giải mã 1040 này được tạo cấu hình để nhận từ thiết bị khác, ví dụ, bộ mã hoá 1020 này, tín hiệu dựa trên dữ liệu được mã hoá được tạo ra ở bộ mã hoá 1020 này với các bit thông tin và một hoặc nhiều bit chẵn lẻ được mã hoá bằng mã cực. Như được lưu ý bên trên, bộ giải mã 1040 này có thể được tạo cấu hình để nhận các tín hiệu trực tiếp (ví dụ, với khối thu nhận bên trong) hoặc gián tiếp với khối thu nhận riêng biệt qua giao diện phù hợp. Theo phương án này, (các) bit chẵn lẻ này được đặt trong các kênh phụ được lựa chọn dựa trên tham số trọng số và bộ giải mã 1040 này giải mã tín hiệu sử dụng mã cực và các bit chẵn lẻ này để thu nhận các bit thông tin này.

Trong một ví dụ, tham số trọng số này bao gồm trọng số tối thiểu. Trong ví dụ này, các bit chẵn lẻ này có thể được đặt trong số lượng các kênh phụ có trọng số tối thiểu (ví dụ, d_{min}) hoặc có trọng số tối thiểu gấp đôi ($2 \times d_{min}$). Trong ví dụ trong đó các kênh phụ được lựa chọn, mỗi kênh phụ này có trọng số tối thiểu, các kênh phụ này được lựa chọn từ phân đoạn gồm K kênh phụ đáng tin cậy nhất từ N_0 kênh phụ được sắp xếp dựa trên số đo độ tin cậy. Trong ví dụ này, mỗi kênh phụ trong số K kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn số đo độ tin cậy của các kênh phụ của phân đoạn $N_0 - K$ gồm các kênh phụ được sắp xếp này trong đó K là độ dài khối thông tin và N_0 là độ dài mã gốc. Hàm kiểm tra chẵn lẻ, có thể là hàm kiểm tra chẵn lẻ số nguyên tố có thể được sử dụng để xác định giá trị của mỗi bit trong số các bit chẵn lẻ này. Tham số trọng số này có thể bao gồm trọng số theo hàng thấp nhất, chẳng hạn như d_{min}, và các kênh phụ được lựa chọn này có thể có trọng số theo hàng thấp nhất trong tập con K này, trong đó trọng số theo hàng của kênh phụ là số lượng các số 1 trong hàng của ma trận Kronecker, và hàng này tương ứng với kênh phụ này. Các kênh phụ có trọng số theo hàng thấp nhất có thể được lựa chọn từ tập con K này theo thứ tự độ tin cậy giảm dần. Các kênh phụ cho các bit thông tin có thể được lựa chọn trong chuỗi các kênh phụ được sắp xếp này bằng cách bỏ qua các kênh phụ được lựa chọn cho các bit chẵn lẻ này, cho đến khi số lượng các kênh phụ được lựa chọn cho các bit thông tin này đạt tới K.

Theo phương án khác, bộ giải mã 1040 này được tạo cấu hình để nhận tín hiệu dựa trên các bit hoặc dòng bit được tạo ra ở thiết bị khác (ví dụ, bộ mã hoá 1020 này) với các bit thông tin và một hoặc nhiều bit chẵn lẻ được mã hoá bằng mã cực. Theo phương án

này, các bit chẵn lẻ này được ánh xạ đến các kênh phụ được cấp phát dựa trên các trọng số theo hàng đối với kênh phụ này trong tập con của tập các kênh phụ, và các bit thông tin này được ánh xạ đến các kênh phụ còn lại trong tập các kênh phụ dựa trên độ tin cậy của các kênh phụ còn lại. Bộ giải mã 1040 này cũng được tạo cấu hình để giải mã tín hiệu này sử dụng mã cực này và các bit chẵn lẻ này để thu nhận các bit thông tin này.

Trong một ví dụ, trọng số theo hàng đối với kênh phụ biểu diễn số lượng các số 1 trong hàng của ma trận Kronecker tương ứng với kênh phụ này. Các trọng số theo hàng này có thể bao gồm trọng số theo hàng tối thiểu. Số lượng các kênh phụ có trọng số theo hàng bằng với trọng số theo hàng tối hiểu này hoặc hai lần trọng số theo hàng tối thiểu này trong tập con các kênh phụ này được cấp phát cho các bit chẵn lẻ này. Số lượng các kênh phụ được cấp phát này có thể là một và các kênh phụ trong tập này có thể được sắp xếp dựa trên các độ tin cậy của chúng để tạo thành chuỗi các kênh phụ được sắp xếp, trong đó tập con các kênh phụ này bao gồm tập con đáng tin cậy nhất trong chuỗi được sắp xếp này. Ví dụ, tập con đáng tin cậy nhất này có thể bao gồm K kênh phụ mang các bit thông tin hoặc $K+F_P$ kênh phụ này, trong đó K là độ dài khối thông tin được kết hợp với các bit thông tin này, và F_P chỉ báo số lượng các bit chẵn lẻ. Trong ví dụ này, kênh phụ đáng tin cậy nhất có trọng số theo hàng bằng trọng số theo hàng tối thiểu trong tập con (ví dụ, K hoặc $K+F_P$) các kênh phụ này có thể được cấp phát cho các bit chẵn lẻ này. Các bit chẵn lẻ này có thể bao gồm các bit kiểm tra chẵn lẻ PC và các giá trị cho các bit PC này có thể là hàm số của các giá trị của các bit thông tin này.

Mã cực là mã sửa lỗi khối tuyến tính sử dụng các kênh phụ tương đối đáng tin cậy cho các bit thông tin và các kênh phụ tương đối không đáng tin cậy cho các bit đóng băng có thể là 0 (không) hoặc bất kỳ giá trị đã biết khác. Khoảng mã hoá tối thiểu có thể được làm tăng lên nếu kiểm tra chẵn lẻ có thể được thực hiện trên một số bit trong số các bit đóng băng ít tin cậy hơn. Các bit đóng băng được sử dụng cho các bit chẵn lẻ được gọi là các bit đóng băng động do các giá trị bit của chúng thay đổi động theo thông tin dữ liệu đang được truyền đi.

Trong các ứng dụng thông dụng, bộ giải mã này sử dụng phương pháp huỷ liên tiếp (Successive Cancellation - SC) để nhận dạng các kênh phụ tốt nhất để truyền khối thông tin này (các bit thông tin). Để cải thiện hiệu suất, thuật toán giải mã danh sách SC được hỗ trợ bởi CRC được sử dụng để cho phép nhiều đường giải mã SC và sau đó sử dụng CRC để lựa chọn đường đúng ở giai đoạn cuối cùng. Phương pháp này sử dụng khả năng phát hiện của các bit CRC này, sau đó chúng không thể được sử dụng cho các mục đích khác chẳng hạn như dò tìm mù. Bộ giải mã danh sách không được hỗ trợ bởi CRC được ưu tiên có một số phương pháp thực hiện kiểm tra chẵn lẻ dựa trên nguồn không phải là các bit CRC này. Trong một số mã cực, các bit chẵn lẻ được đặt lên trên một phần các bit đóng băng này (tập đóng băng động) để cung cấp khả năng kiểm tra chẵn lẻ. Tuy nhiên, hiệu suất của hoạt động mã hoá cực này phụ thuộc vào sự lựa chọn tập đóng băng động và

phương pháp kiểm tra chẵn lẻ trên chúng và rất khó để lựa chọn (các) tập đóng băng phù hợp (bit hoặc ký hiệu) theo cách thức xác định do có quá nhiều các tập đóng băng này.

Theo các phương án, việc lựa chọn các tập bit đóng băng động là hàm số của khoảng mã hoá hoặc hàm số của trọng số đáng tin cậy tối thiểu chẳng hạn như trọng số phân cực. Các số đo độ tin cậy khác cũng có thể được sử dụng. Các phương án đề xuất mã cực dựa trên các bit đóng băng động được lựa chọn phù hợp thể hiện hiệu suất tỷ lệ lỗi khối BLER tốt và đáng tin cậy. Mã cực này có thể là mã cực ít kiểm tra độ dư vòng CRC hơn. Theo nhiều phương án khác nhau, tất cả các bit đóng băng đều được lựa chọn làm các bit đóng băng động và hàm kiểm tra được suy ra theo số nguyên tố được áp dụng trên tất cả các bit đóng băng động này.

Fig. 11 là lưu đồ của phương án về phương pháp 1100 để lựa chọn tập bit đóng băng cho mã cực. Phương pháp mã hoá này có thể được thực hiện trong cả bộ mã hoá và bộ giải mã. Phương pháp mã hoá này bao gồm việc lựa chọn trước, ở bước 1110, số lượng các tập bit đóng băng ứng viên (hoặc số lượng lớn các tập bit đóng băng ứng viên) và sau đó lựa chọn, ở bước 1150, từ số lượng các tập bit ứng viên này, tập bit đóng băng được lựa chọn.

Bước 1110 này bao gồm việc sắp xếp các kênh phụ được lựa chọn trước này của các bit đóng băng này theo số đo độ tin cậy được áp dụng cho các kênh phụ của chúng. Theo một số phương án, bước 1110 này bao gồm việc sắp xếp tất cả các kênh phụ theo hàm số đo độ tin cậy. Theo nhiều phương án khác nhau, hàm số xác định có thể được sử dụng chẳng hạn như thuật toán trọng số phân cực. Theo cách khác, hàm số xác định này có thể là hàm khoảng cách phân cực. Các kênh phụ của các bit đóng băng này có thể được sắp xếp theo cách thức tăng dần, tức là, từ trọng số phân cực thấp đến trọng số phân cực cao (hoặc ngược lại). Các kênh được sắp xếp này sau đó được chia thành nhiều phân đoạn chẳng hạn như 2 phân đoạn. Trong bước tiếp theo, trọng số tối thiểu d_{min} trong phân đoạn phía trên (hoặc theo cách khác, trong phân đoạn có các kênh phụ đáng tin cậy nhất) được lựa chọn hoặc được xác định (xem ví dụ dưới đây). Trong một ví dụ, trọng số của kênh phụ này có thể là trọng số theo hàng, tức là, số lượng "các số 1" trong hàng của ma trận sinh mã cực hoặc ma trận Kronecker tương ứng với kênh phụ này, hoặc theo cách tương đương là luỹ thừa của hai với số mũ là số lượng "các số 1" trong biểu diễn nhị phân của chỉ số kênh phụ này. Trong ví dụ này, trọng số tối thiểu, d_{min}, có thể là trọng số theo hàng tối thiểu. Đối với trọng số theo hàng tối thiểu d_{min}, số lượng các kênh có trọng số tối thiểu d_{min} có thể là n. Xác định giá trị được xác định trước F. Theo một phương án F có thể là $F = \text{ceil}(\log_2(N*K)/2)$. Theo các phương án khác, F có thể có giá trị khác. Theo phương án khác nữa, F biểu diễn tập hoặc tập con (ví dụ, 1) của tổng số các kênh phụ cho các bit đóng băng động (ví dụ, 3) sẽ được lựa chọn trước dựa trên d_{min} và/hoặc $2*d_{min}$, và tập con còn lại (ví dụ, 2) của tổng số các kênh phụ cho các bit đóng băng động này được lựa chọn trước dựa trên số đo khác, ví dụ, các kênh phụ ít tin cậy nhất nằm trong K kênh phụ đáng tin cậy nhất này. Lựa chọn trước $(F-n)/2$ kênh có trọng số d_{min} và lựa chọn trước $(F+n)/2$ kênh có trọng số $2\times d_{min}$ khi $n<F$. Lựa chọn trước F kênh có trọng số d_{min} khi $n \geq F$. Sắp xếp các kênh

được lựa chọn trước này theo thứ tự đảo ngược. Ví dụ, các kênh này được sắp xếp theo cách thức giảm dần, tức là, với giá trị trọng số phân cực từ cao đến thấp hoặc theo thứ tự độ tin cậy giảm dần. Theo cách khác, các kênh phụ đáng tin cậy nhất có trọng số d_{min} và/hoặc $2*d_{min}$ trong phân đoạn đáng tin cậy nhất K này được lựa chọn trước. Theo đó, bước 1110 cung cấp số lượng lớn các kênh phụ được lựa chọn trước được sắp xếp (các tập bit ứng viên), trong đó, theo một số phương án, có thể được sử dụng cho các bit đóng băng động. Tuy nhiên nói chung, cần hiểu rằng số lượng các kênh phụ được lựa chọn trước cho các bit đóng băng động này có thể nhỏ hoặc lớn.

Trong ví dụ thực tế, N_0 là độ dài mã gốc, N là độ dài mã sau khi so khớp tỷ lệ, và K là độ dài khối thông tin này. Theo một phương án, N_0 có thể được xác định theo $N_0 = 2^{ceil(log2(N))}$. Sau đó, các kênh phụ bit đóng băng có thể được sắp xếp và được phân đoạn thành hai phân đoạn hoặc theo cách khác, tất cả các kênh phụ bit này bao gồm các kênh phụ bit đóng băng này có thể được sắp xếp và được phân đoạn thành hai phân đoạn, như được thể hiện trong Bảng 3. Như có thể thấy, các kênh phụ này được sắp xếp theo cách thức tăng dần, tức là, với K kênh phụ này là đáng tin cậy nhất và N_0-K kênh phụ này là ít tin cậy nhất.

Bảng 3

N0-K	*K*

Trong bước tiếp theo, ở bước 1150, tập các bit đóng băng (hoặc theo cách khác, các kênh phụ cho các bit đóng băng) được lựa chọn từ hoặc dựa trên số lượng lớn các tập bit ứng viên được lựa chọn trước. Tập các bit đóng băng được lựa chọn này có thể được lựa chọn từng bit một theo thứ tự trọng số phân cực tăng dần. Tập các bit đóng băng được lựa chọn này hoặc các kênh phụ cho các bit đóng băng này có thể được hoàn thiện khi số lượng các bit này là N_0-K. Theo một số phương án, tập các kênh phụ được lựa chọn cho các bit đóng băng này bao gồm một số hoặc tất cả các kênh phụ được lựa chọn trước và một số hoặc tất cả các kênh phụ được lựa chọn có thể được sử dụng cho các bit đóng băng động. Theo các phương án khác, tập các kênh phụ được lựa chọn cho các bit đóng băng này là tách biệt với (tức là, không bao gồm) các kênh phụ được lựa chọn trước này và tập các kênh phụ được lựa chọn này có thể được hoàn thiện khi số lượng các kênh phụ này là N_0-K-F. Tất cả K kênh phụ còn lại (tức là, các kênh phụ không được sử dụng cho các bit đóng băng và/hoặc các bit đóng băng động) là các kênh phụ cho K bit thông tin này. Theo một số phương án, một số kênh phụ trong số các kênh phụ đóng băng được lựa chọn này (ví dụ, tập bit đóng băng được lựa chọn trước hoặc tất cả các kênh phụ đóng băng) có thể được sử dụng cho các bit đóng băng động.

Việc lựa chọn tập các bit đóng băng được lựa chọn bao gồm xác định số nguyên tố p. Theo nhiều phương án khác nhau, số nguyên tố duy nhất có thể là 5, 7, hoặc 11. Cuối cùng, để lựa chọn được tập bit đóng băng này, bộ mã hoá này và bộ giải mã này có thể sử dụng

thanh ghi dịch vòng có độ dài p được thực hiện trong bộ mã hoá này và bộ giải mã này. Thanh ghi dịch vòng này có thể dịch sang trái khi mã hoá/giải mã mỗi bit. Fig. 12 thể hiện thanh ghi dịch vòng như vậy có độ dài 5 (độ dài p) và ít nhất một trong số bộ mã hoá này và bộ giải mã này. Nếu bit là bit thông tin trong thanh ghi này, bit này bị bỏ qua (XOR) và nếu bit này là bit đóng băng, giá trị bit của bit này được sử dụng và được lựa chọn. Theo nhiều phương án khác nhau, các bit được đặt là 0 khi được khởi tạo trong thanh ghi. Theo một số phương án, tập bit đóng băng này có thể được thay đổi từ từ mã này sang từ mã khác.

Theo phương án khác, bước thứ ba xây dựng hàm kiểm tra chẵn lẻ và xác định các giá trị bit cho các bit đóng băng động cũng như cho các bit thông tin và các bit đóng băng (tĩnh). Số nguyên tố p được xác định. Theo nhiều phương án khác nhau, số nguyên tố duy nhất có thể là 5, 7, hoặc 11. Để xây dựng hàm kiểm tra chẵn lẻ này và xác định các giá trị bit đóng băng động này, thanh ghi dịch vòng có độ dài p có thể được thực hiện trong bộ mã hoá này (và bộ giải mã này). Thanh ghi dịch vòng này có thể dịch sang trái khi xác định giá trị bit cho véc-tơ bit đầu vào trong quá trình mã hoá hoặc khi giải mã giá trị bit. Fig. 12 thể hiện thanh ghi dịch vòng có độ dài 5 (độ dài p) như vậy và ít nhất một trong số bộ mã hoá này và bộ giải mã này. Như được xác định bởi hai bước trên đây, nếu bit là bit thông tin, bit thứ nhất trong thanh ghi này được XOR với giá trị bit thông tin hiện tại và sau đó được dịch vòng. Nếu bit này là bit đóng băng (tĩnh), giá trị bit này được đặt là giá trị cố định (ví dụ, 0) được biết đến bởi cả bộ mã hoá và bộ giải mã này và sau đó được dịch vòng; nếu bit này là bit đóng băng động, giá trị của bit thứ nhất này trong thanh ghi này được gán là giá trị của bit đóng băng động hiện tại này. Theo nhiều phương án khác nhau, các bit này được đặt là 0 (không) khi được khởi tạo trong thanh ghi này. Theo một số phương án, tập bit đóng băng có thể thay đổi từ từ mã này sang từ mã khác.

Phương pháp 1100 có thể tạo ra nhiều ưu điểm: Bộ mã hoá này có thể không cần thực hiện tính toán trực tuyến các hàm chẵn lẻ. Bộ mã hoá này có thể không cần lưu trữ các hàm chẵn lẻ. Bộ giải mã này có thể không cần tìm kiếm các hàm chẵn lẻ và nhờ đó có thể được vận hành với độ phức tạp thấp hơn.

Fig. 13A-13D thể hiện hiệu suất của mã cực đối với tập được lựa chọn gồm các bit đóng băng được lựa chọn theo các phương án. Fig. 13A thể hiện hiệu suất đối với K = 40 bit thông tin và điều chế QPSK, Fig. 13B thể hiện hiệu suất đối với K = 60 bit thông tin và điều chế QPSK, Fig. 13C thể hiện hiệu suất đối với K = 80 bit thông tin và điều chế QPSK, và Fig. 13D thể hiện hiệu suất đối với K = 120 bit thông tin và điều chế QPSK. Như có thể thấy từ các đồ thị, mã cực sáng tạo này tạo ra hiệu suất tốt hơn và độ phức tạp thấp hơn so với các đồ thị khác biểu diễn các mã khác.

Fig. 14A-B thể hiện các điểm E_S/N_0 trung bình nhận được đối với tỷ lệ lỗi khối BLER cho trước. Như được thể hiện trong các đồ thị được mô tả, các mã cực với tập các bit đóng

băng được lựa chọn (được lựa chọn theo phương án) tạo ra hiệu suất vượt trội so với các mã cực khác.

Fig. 15 là sơ đồ khối của thiết bị 1500 chẳng hạn như thiết bị không dây, điểm truyền dẫn hoặc điểm thu nhận, ví dụ, thành phần mạng hoặc thiết bị người dùng. Thiết bị 1500 này bao gồm CPU 1502, thành phần lưu trữ lớn 1504, giao diện mạng 1506, bộ mã hoá/bộ giải mã 1508, bộ nhớ 1510, bộ chuyển đổi video 1512, và giao diện vào/ra (Input/Output – I/O) 1514.

Thiết bị 1500 này có thể sử dụng tất cả các thành phần được thể hiện, hoặc chỉ tập con các thành phần này, và các mức độ tích hợp có thể thay đổi tuỳ thuộc vào cách thức thực hiện. Hơn nữa, thiết bị 1500 này có thể chứa nhiều thực thể của thành phần, chẳng hạn như nhiều CPU 1502, v.v. Thiết bị 1500 này có thể sử dụng giao diện mạng 1506 này để kết nối đến mạng 1520, bộ chuyển đổi video 1512 này để kết nối đến màn hình hiển thị 1516, và giao diện vào/ra 1514 này để kết nối đến một hoặc nhiều thiết bị vào/ra 1518, chẳng hạn như loa, mic-rô, chuột, màn hình cảm ứng, bàn phím cầm tay, bàn phím, máy in, và các thành phần tương tự.

Theo một số phương án, CPU 1502 này có thể là bộ xử lý bất kỳ, bộ xử lý này có thể là thành phần của nền tảng phần cứng máy tính đa năng. Theo một số phương án khác, CPU 1502 này (bộ xử lý) có thể là thành phần của nền tảng phần cứng chuyên dụng. Ví dụ, CPU 1502 này có thể là bộ xử lý nhúng, và các lệnh có thể được cung cấp như phần sụn. Một số phương án có thể được thực hiện bằng cách chỉ sử dụng phần cứng. Theo một số phương án, các lệnh để thực thi bởi bộ xử lý có thể được biểu hiện dưới dạng sản phẩm phần mềm. Sản phẩm phần mềm này có thể được lưu trữ trong bộ nhớ điện tĩnh hoặc phương tiện lưu trữ hoặc bộ nhớ không chuyển tiếp, có thể là, ví dụ, bộ nhớ chỉ đọc dạng đĩa nén (Compact Disc Read-Only Memory - CD-ROM), đĩa nhanh bus nối tiếp vạn năng (Universal Serial Bus - USB), hoặc đĩa cứng tháo lắp được.

Bộ mã hoá/bộ giải mã 1508 này có thể bao gồm thành phần mã hoá, thành phần giải mã, hoặc cả hai thành phần này. Theo một số phương án, bộ mã hoá/bộ giải mã 1508 này được thực hiện trong hệ mạch, chẳng hạn như bộ xử lý, được tạo cấu hình để mã hoá dữ liệu hoặc thực hiện lựa chọn, ánh xạ, và/hoặc các hoạt động mã hoá như được mô tả trong bản mô tả này. Theo cách thức thực hiện dựa trên bộ xử lý của bộ mã hoá/bộ giải mã 1508 này, các lệnh thực thi được bởi bộ xử lý thực hiện các hoạt động mã hoá được lưu trữ trong phương tiện không chuyển tiếp đọc được bằng bộ xử lý. Phương tiện không chuyển tiếp này có thể bao gồm, trong bộ nhớ 1510 ví dụ, một hoặc nhiều thiết bị bộ nhớ bán dẫn và/hoặc thiết bị bộ nhớ có phương tiện lưu trữ di chuyển được và có thể tháo lắp được.

Bus này có thể là một hoặc nhiều kiểu bus bất kỳ của một vài kiến trúc bus bao gồm bus bộ nhớ hoặc bộ điều khiển bộ nhớ, bus ngoại vi, bus video, hoặc các loại tương tự. CPU 1502 có thể bao gồm kiểu bộ xử lý dữ liệu điện tử bất kỳ. Bộ nhớ 1510 có thể bao gồm kiểu bộ nhớ hệ thống bất kỳ chẳng hạn như bộ nhớ truy nhập ngẫu nhiên tĩnh (Static

Random Access Memory - SRAM), bộ nhớ truy nhập ngẫu nhiên động (Dynamic Random Access Memory - DRAM), DRAM đồng bộ (Synchronous DRAM - SDRAM), bộ nhớ chỉ đọc (Read-Only Memory - ROM), sự kết hợp của các kiểu bộ nhớ này, hoặc tương tự. Theo một số phương án, bộ nhớ 1510 này là phương tiện không chuyển tiếp đọc được bằng máy tính bao gồm các lệnh để thực thi bởi bộ xử lý để thực hiện và/hoặc điều khiển hoạt động của bộ mã hoá/bộ giải mã 1508 này hoặc (các) thành phần khác của thiết bị này, và/hoặc theo cách khác điều khiển việc thực hiện chức năng và/hoặc các phương án được mô tả trong bản mô tả này. Theo một phương án, bộ nhớ 1510 này có thể bao gồm ROM để sử dụng khi khởi động, và DRAM để lưu trữ chương trình và dữ liệu để sử dụng khi thực thi các chương trình.

Thành phần lưu trữ lớn 1504 này có thể bao gồm kiểu thiết bị lưu trữ bất kỳ được tạo cấu hình để lưu trữ dữ liệu, các chương trình, và thông tin khác để dữ liệu, các chương trình, và các thông tin khác này có thể truy nhập được thông qua bus này. Thành phần lưu trữ lớn 1504 này có thể bao gồm, ví dụ, một hoặc nhiều ổ cứng bán dẫn, ổ đĩa cứng, ổ đĩa từ, ổ đĩa quang, và các loại tương tự.

Bộ chuyển đổi video 1512 này và giao diện vào/ra 1514 này cung cấp các giao diện để ghép thiết bị vào và ra bên ngoài với khối xử lý này. Như được minh hoạ, các ví dụ của các thiết bị vào và ra bao gồm màn hình hiển thị 1516 được ghép với bộ chuyển đổi video 1512 này và chuột/bàn phím/máy in được ghép với giao diện vào/ra 1514 này. Các thiết bị khác có thể được ghép với khối xử lý này, và có thể sử dụng thêm hoặc bớt các tấm mạch giao diện. Ví dụ, giao diện nối tiếp chẳng hạn như bus nối tiếp vạn năng USB (không được thể hiện) có thể được sử dụng để cung cấp giao diện cho máy in.

Giao diện mạng 1506 này có thể bao gồm các kết nối có dây, chẳng hạn như cáp Ethernet hoặc các loại tương tự, và/hoặc các kết nối không dây đến các nút truy nhập hoặc các mạng khác. Giao diện mạng 1506 này có thể được tạo cấu hình để cho phép thiết bị này và/hoặc khối xử lý này giao tiếp với các khối từ xa qua mạng 1520 này bao gồm, ví dụ, truyền và/hoặc nhận dữ liệu hoặc các bit được mã hoá. Ví dụ, giao diện mạng 1506 này có thể cung cấp giao tiếp không dây qua một hoặc nhiều bộ phát/ăng-ten phát và một hoặc nhiều bộ thu/ăng-ten thu. Theo một phương án, khối xử lý này được ghép với mạng cục bộ hoặc mạng diện rộng để xử lý dữ liệu và truyền thông với các thiết bị từ xa, chẳng hạn như các khối xử lý khác, mạng Internet, các phương tiện lưu trữ từ xa, hoặc các loại tương tự.

Cho dù không được thể hiện, giao diện mạng 1506 này có thể bao gồm bộ điều chế, bộ khuếch đại, ăng-ten và/hoặc các mô-đun hoặc các thành phần khác của chuỗi truyền và theo cách bổ sung hoặc theo cách khác bộ giải điều chế, bộ khuếch đại, ăng-ten và/hoặc các mô-đun hoặc các thành phần khác của chuỗi nhận. Theo cách khác, giao diện mạng 1506 này có thể được tạo cấu hình để lập giao diện với mô-đun truyền dẫn và/hoặc thu nhận RF riêng biệt. Ví dụ, bộ mã hoá/bộ giải mã 1508 có thể được thực hiện trong phần cứng hoặc hệ mạch (ví dụ, trong một hoặc nhiều chipset, các bộ vi xử lý, các ASIC, các

FPGA, hệ mạch lô-gic riêng, hoặc các kết hợp của chúng) để mã hoá (và/hoặc giải mã) dữ liệu để truyền qua giao diện mạng 1506 này bởi khối truyền dẫn RF riêng biệt hoặc để giải mã các tín hiệu nhận được bởi khối thu nhận RF riêng biệt và qua giao diện mạng 1506 này để thu nhận các bit thông tin như được mô tả trong bản mô tả này.

Như được mô tả trên đây, khi các bit chẵn lẻ được ánh xạ dựa trên các trọng số theo hàng được kết hợp với các kênh phụ này, việc so sánh giá trị trọng số theo hàng (ví dụ, w_{min}, $2*w_{min}$) với các trọng số theo hàng của các kênh phụ này là cần thiết để nhận dạng xem kênh phụ nào nên được dự trữ cho (các) bit chẵn lẻ. Các phương án của sáng chế so sánh song song giá trị trọng số theo hàng (ví dụ, w_{min}, $2*w_{min}$) với các trọng số theo hàng của nhiều kênh phụ này. Điều này có thể làm giảm trễ được kết hợp với các hoạt động so sánh, nhờ đó cho phép quá trình mã hoá được thực hiện nhanh hơn và hiệu quả hơn. Fig. 16 là sơ đồ của kỹ thuật sử dụng các hoạt động so sánh song song để nhận dạng các kênh phụ sẽ được dự trữ cho (các) bit PC. Trong ví dụ này, các bit thông tin 1620, các bit PC 1630, và các bit đóng băng 1640 được ánh xạ đến các kênh phụ 1611-1619, được sắp xếp theo thứ tự tăng dần độ tin cậy kênh phụ. Trước khi ánh xạ các bit thông tin 1620 này đến kênh phụ bất kỳ trong số các kênh phụ 1611-1619, các trọng số theo hàng của ít nhất hai kênh phụ 1618, 1619 được so sánh song song với một hoặc nhiều giá trị trọng số theo hàng (ví dụ, w_{min}, $2*w_{min}$), và các kênh phụ đáng tin cậy nhất có trọng số theo hàng so khớp với một hoặc nhiều giá trị trọng số theo hàng này được dự trữ cho các bit PC 1630 này. Theo một số phương án, số lượng cụ thể f_1 các kênh phụ có trọng số theo hàng so khớp với giá trị trọng số theo hàng thứ nhất (ví dụ, w_{min}) được dự trữ cho các bit PC này, và số lượng cụ thể f_2 các kênh phụ có trọng số theo hàng so khớp với giá trị trọng số theo hàng thứ hai (ví dụ, $2*w_{min}$) được dự trữ cho các bit PC này. Một hoặc nhiều giá trị trọng số theo hàng, và các chỉ số xác định các số lượng cụ thể các kênh phụ được dự trữ cho mỗi giá trị trọng số theo hàng tương ứng, có thể được xác định dựa trên tỷ lệ mã và/hoặc tham số độ dài khối.

Fig. 17 minh hoạ phương án phương pháp 1700 để mã hoá chuỗi các bit thông tin. Ở bước 1710, bộ mã hoá này xác định ít nhất giá trị trọng số theo hàng để dự trữ các kênh phụ cho các bit PC. Ít nhất một giá trị trọng số theo hàng này có thể được xác định dựa trên tỷ lệ mã của kênh này và độ dài khối được kết hợp với chuỗi các bit thông tin sẽ được mã hoá. Ở bước 1720, bộ mã hoá này so sánh ít nhất một giá trị trọng số theo hàng này với các trọng số theo hàng của hai hoặc nhiều kênh phụ song song để xác định dự trữ một hoặc nhiều kênh phụ này cho (các) bit PC này. Theo một phương án, bộ mã hoá này có thể đánh giá các kênh phụ này theo thứ tự độ tin cậy giảm dần theo chuỗi các kênh phụ được sắp xếp sao cho các kênh phụ đáng tin cậy hơn được đánh giá trước khi đánh giá các kênh phụ ít tin cậy hơn. Theo cách khác, tất cả các kênh phụ trong tập con các kênh phụ sẽ được ánh xạ đến các bit thông tin hoặc các bit PC (ví dụ, $K+F_P$ kênh phụ) được đánh giá song song.

Ở bước 1730, bộ mã hoá này xác định xem liệu có đủ các kênh phụ đã được dự trữ cho (các) bit PC hay chưa. Bằng cách ví dụ, bộ mã hoá này có thể xác định xem ít nhất f_1 kênh phụ có trọng số theo hàng bằng với w_{min} đã được dự trữ hay chưa và/hoặc ít nhất f_2

kênh phụ có trọng số theo hàng bằng với $2*w_{min}$ đã được dự trữ hay chưa. Nếu chưa, sau đó phương pháp 1700 này quay lại bước 1720, trong đó bộ mã hoá này đánh giá hai hoặc nhiều kênh phụ tiếp theo. Một khi bộ mã hoá đã xác định rằng có đủ kênh phụ đã được dự trữ cho các bit PC, phương pháp này tiếp tục đến bước 1740, trong đó bộ mã hoá này ánh xạ các bit thông tin đến các kênh phụ đáng tin cậy nhất còn lại. Ở bước 1750, bộ mã hoá này ánh xạ các bit đóng băng đến các kênh phụ ít tin cậy nhất còn lại. Theo một số phương án, các bit PC bổ sung có thể được lựa chọn từ tập bit đóng băng này. Theo một cách thức thực hiện, tất cả các kênh phụ đóng băng có các trọng số theo hàng bằng với ít nhất một trọng số theo hàng được sử dụng để dự trữ các kênh phụ này cho các bit PC có thể được lựa chọn; theo cách thức thực hiện khác, tất cả các kênh phụ đóng băng này có thể được lựa chọn. Ở bước 1760, bộ mã hoá này thiết lập các giá trị bit PC này cho các kênh phụ được dự trữ này dựa trên hàm PC của các bit thông tin này. Các bước 1740, 1750, và 1760 có thể được thực hiện theo thứ tự bất kỳ. Hơn nữa, số lượng các kênh phụ cho các bit PC có thể được xác định theo nhiều cách thức khác nhau và như được lưu ý trên đây, số lượng các kênh phụ được dự trữ này cho các bit PC có thể là cố định, ví dụ, 3 và/hoặc một số hoặc tất cả các kênh phụ được dự trữ này có thể dựa trên d_{min}.

Fig. 18 minh hoạ lưu đồ của phương pháp 1800 sử dụng bảng tra cứu để thực hiện mã hoá cực, như có thể được thực hiện bởi bộ mã hoá. Ở bước 1810, bộ mã hoá này tìm trong bảng tìm kiếm dựa trên tỷ lệ mã và độ dài khối thông tin để xác định các tham số mã. Ở bước 1820, bộ mã hoá này ánh xạ các kênh phụ đến các bit thông tin, các bit chẵn lẻ, và các bit đóng băng này. Ở bước 1830, bộ mã hoá này thiết lập các giá trị bit chẵn lẻ dựa trên hàm kiểm tra chẵn lẻ của các bit thông tin này.

Fig. 19 minh hoạ lưu đồ của phương pháp 1900 để xác định giá trị trọng số Hamming tối thiểu, như có thể được thực hiện bởi bộ mã hoá. Ở bước 1910, bộ mã hoá này sắp xếp các kênh phụ dựa trên các độ tin cậy kênh của chúng để thu nhận chuỗi được sắp xếp (Q) liệt kê các kênh phụ này theo thứ tự tăng dần (Q_0, Q_1, …, Q_N) dựa trên độ tin cậy của chúng. Ở bước 1920, bộ mã hoá này nhận dạng tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ. Trong các ví dụ trong đó bước chấm thủng được thực hiện sau bước mã hoá cực, tập con các kênh phụ đáng tin cậy nhất này có thể loại trừ các kênh phụ được chấm thủng.

Số lượng các kênh phụ trong tập các kênh phụ đáng tin cậy nhất này có thể được xác định theo phương trình sau: $\min(\text{length}(U_M), K+F_P)$), trong đó U_M là tập các kênh phụ sẽ còn lại sau khi chấm thủng, K là độ dài của khối thông tin này, và $F_P = \log_2 N \times (\alpha - |\alpha \times (K/M - 1/2)|^2)$, trong đó M là độ dài mã gốc và α được đặt giá trị lớn hơn 1, ví dụ, α = 1,5. Theo một số phương án khác, F_P có thể là giá trị cố định, ví dụ, 3. Ở bước 1930, bộ mã hoá này xác định trọng số Hamming tối thiểu (u_{min}) của các kênh phụ trong tập con các kênh phụ đáng tin cậy nhất này.

Ở bước 1940, trong tập con các kênh phụ đáng tin cậy nhất này, bộ mã hoá này dự trữ số lượng các kênh phụ thứ nhất có trọng số Hamming bằng với trọng số Hamming tốt

thiểu (u_{min}) cho các bit PC và số lượng các kênh phụ thứ hai có trọng số Hamming bằng với một cộng trọng số Hamming tối thiểu ($1 + u_{min}$) cho các bit PC. Bộ mã hoá này có thể dự trữ các kênh phụ theo nhiều cách thức khác nhau bao gồm, ví dụ, quét chuỗi các kênh phụ được sắp xếp này theo kiểu tuần tự. Theo các cách thức thực hiện khác, chỉ tập con của F_P kênh phụ được dự trữ dựa trên u_{min} và/hoặc $1+u_{min}$, và tập con còn lại của F_P kênh phụ được dự trữ dựa trên số đo khác, ví dụ, các kênh phụ ít tin cậy nhất nằm trong $K+F_P$ kênh phụ đáng tin cậy nhất này. Một khi các kênh phụ đã được dự trữ hoặc theo cách khác được cấp phát cho các bit PC, các kênh phụ còn lại này được cấp phát cho các bit thông tin và các bit đóng băng. Ở bước 1950, bộ mã hoá này ánh xạ các bit thông tin đến các kênh phụ còn lại đáng tin cậy nhất này, và các bit đóng băng đến các kênh phụ còn lại ít tin cậy nhất này. Theo một số phương án, các bit PC bổ sung có thể được lựa chọn từ tập bit đóng băng. Theo một cách thức thực hiện, một số hoặc tất cả các kênh phụ đóng băng có trọng số Hamming bằng với trọng số Hamming của các kênh phụ được dự trữ cho các bit PC này có thể được lựa chọn. Theo các phương án khác, tất cả các kênh phụ đóng băng này có thể được lựa chọn cho các bit PC. Ở bước 1960, bộ mã hoá này thiết lập các giá trị bit chẵn lẻ dựa trên hàm kiểm tra chẵn lẻ của các bit thông tin. Tuỳ thuộc vào cách thức thực hiện, thứ tự trong đó các kênh phụ được cấp phát có thể thay đổi. Tương tự như vậy, cần hiểu rằng thứ tự trong đó các bit PC, các bit thông tin hoặc các bit đóng băng này được ánh xạ đến các kênh phụ được cấp phát này cũng có thể thay đổi.

Theo một số phương án, có thể sử dụng bộ mã hoá Arikan để đạt được mã hoá cực. Fig. 20 là sơ đồ của phương án về bộ mã hoá 2000. Bộ mã hoá này bao gồm bộ xây dựng mã 2010, bộ mã hoá Arikan 2020, và bộ chấm thủng 2030. Bộ xây dựng mã 2010 này có thể xác định tập các kiểu kênh phụ. Mỗi kênh phụ được ánh xạ đến bit thông tin, bit PC, hoặc bit đóng băng (hoặc ngược lại). Theo lý thuyết phân cực, độ tin cậy (hoặc dung lượng kênh tương hỗ) trên mỗi kênh phụ là khác nhau. Các kênh phụ có độ tin cậy cao được chọn để truyền các bit thông tin này. Tập các vị trí của các kênh phụ này được gọi là tập thông tin (I). Các kênh phụ có độ tin cậy thấp, bao gồm các kênh phụ không đáng tin cậy gây ra bởi việc so khớp tỷ lệ, được đặt là 0 (zero) và tập các vị trí của chúng được ký hiệu là tập đóng băng (F). Một số kênh phụ được lựa chọn để truyền các bit PC này và tập các vị trí của chúng được ký hiệu là tập PC đóng băng (PF). Tổng số (N) kênh phụ của một khối cực có thể là giá trị luỹ thừa của 2, và có thể được gọi là độ dài khối mã gốc ($N = I + F + PF$). Bộ xây dựng mã 2010 này cũng có thể xác định tập các giá trị kênh phụ dựa trên các giá trị bit thông tin này và các kiểu kênh phụ. Cụ thể là, các kênh phụ được ánh xạ đến các bit thông tin có thể được đặt dựa trên các giá trị của các bit thông tin này, các kênh phụ được ánh xạ đến các bit PC có thể được đặt dựa trên hàm kiểm tra chẵn lẻ, và các kênh phụ cho các bit đóng băng được đặt là 0 (không). Bộ mã hoá Arikan 2020 này có thể nhân khối kênh phụ có kích cỡ N này với ma trận Kronecker để thu nhận từ mã N bit. Bộ mã hoá Arikan 2020 này có thể thực hiện phép nhân như vậy theo công thức sau:

$[x_0, x_1, x_2, \ldots x_{N-1}] = [u_0, u_1, u_2, \ldots u_{N-1}]\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 1 & 1 & & 0 & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots & \\ 1 & 0 & \cdots & 1 & 0 \\ 1 & 1 & & 1 & 1 \end{bmatrix}$, trong đó ma trận ngoài cùng bên phải này là ma trận sinh NxN cho các mã cực Arikan. Bộ chấm thủng 2030 này có thể chấm thủng/rút gọi từ mã N bit này thành độ dài mã có kích cỡ M bởi tập bit chấm thủng (P). Cho trước kết hợp của tỷ lệ mã (R) và độ dài mã (M), cả bộ mã hoá và bộ giải mã có thể tính toán tập đóng băng (F) này, tập PC đóng băng (PF) này, và tập bit chấm thủng/rút gọn (P) này bằng cách sử dụng cùng giao thức xác định.

Mã cực có độ dài mã gốc N có thể được mô hình hoá dưới dạng kết hợp lồng nhau của hai mã cực có độ dài N/2. Do đó, có thể xây dựng chuỗi các vị trí bit được sắp xếp (chuỗi chỉ số) để cho chuỗi được sắp xếp cho các mã cực có độ dài N/2 này là tập con của chuỗi được sắp xếp cho các mã cực có độ dài N này. Chuỗi Q_0^{Nmax-1} này cho mã cực có độ dài mã tối đa N_{max}, trong đó N_{max} là luỹ thừa của 2, sau đó bao hàm sự kết hợp bất kỳ của tỷ lệ mã và độ dài mã (là lũy thừa của 2) nhỏ hơn N_{max} theo cách thức lồng nhau. Sau đó, việc so khớp tỷ lệ có thể được thực hiện ở độ phức tạp thấp và độ chi tiết tương đối tốt. Theo cách khác, việc tạo ra các chuỗi được sắp xếp có độ dài khác nhau có thể được tạo ra ngoại tuyến (ví dụ, trước hoạt động mã hoá này), và các tham số tương ứng với mỗi chuỗi được sắp xếp có thể được lưu trữ trong bảng tra cứu.

Tỷ số tín hiệu trên nhiễu (SNR) không phụ thuộc vào việc ước lượng độ tin cậy có thể được thực hiện bằng cách tính toán độ tin cậy của mỗi kênh phụ, và lưu trữ chuỗi chỉ số được sắp xếp Q_0^{Nmax-1} này cho mã cực có độ dài mã tối đa N_{max}. Thứ tự độ tin cậy của các kênh phụ này có thể được ước lượng thông qua chuỗi trọng số W_0^{Nmax-1}, chuỗi trọng số này có thể được tính toán như sau: giả sử $i \triangleq B_{n-1}B_{n-2} \ldots B_0$ với $B_j \in \{0,1\}$,$j = [0,1, \ldots, n-1]$, sau đó, $W_i = \sum_{j=0}^{n-1} B_j * 2^{j*\frac{1}{4}}$, trong đó n = log2(N).

Trong một ví dụ, độ dài mã gốc là N_{max}= 16, $n=log_2(16)$ = 4 và đối với i=3 ($i \triangleq$ 0011), W_3 có thể được tính toán như sau: $W_3 = 1*2^{(0*(1/4))} + 1*2^{(1*(1/4))} + 0*2^{(2*(1/4))} + 0*2^{(3*(1/4))} = 2.1892$. Véc-tơ trọng số đầy đủ là W_0^{15}=[0 1 1,1892 2,1892 1,4142 2,4142 2,6034 3,6034 1,6818 2,6818 2,8710 3,8710 3,0960 4,0960 4,2852 5,2852], trong đó giá trị lớn hơn có nghĩa là độ tin cậy cao hơn. Một khi W_0^{Nmax-1} được thu nhận, các kênh phụ này có thể được sắp xếp theo trọng số phân cực sao cho $W_{Q_0} \leq W_{Q_1} \leq W_{Q_2} \leq \cdots \leq W_{Q_{Nmax-1}}$. Chuỗi kết quả sẽ được lưu trữ này là Q_0^{15} = [0 1 2 4 8 3 5 6 9 10 12 7 11 13 14 15]. Lưu ý rằng Q_0^{Nmax-1} có thể được tính toán khi đang hoạt động hoặc được tải trực tiếp từ bộ nhớ để không cần phải tính toán nó đối với mọi hoạt động so khớp tỷ lệ mã hoá & giải mã.

Sơ đồ chấm thủng có thể được tính toán theo cách xác định bằng cách đảo ngược bit các chỉ số nhị phân được sắp xếp giảm dần [*N-1,N-2,...,1,0*], và đánh dấu *N-M* chỉ số có giá trị được đảo ngược bit cao nhất làm các vị trí được chấm thủng. Như một ví dụ, coi độ dài mã gốc này là N_{max}= 16. Cả bộ mã hoá và bộ giải mã lưu trữ chuỗi Q_0^{15} =

[0 1 2 4 8 3 5 6 9 10 12 7 11 13 14 15] . Có 4 bit (4=N-M) sẽ được chấm thủng để thu nhận độ dài mã M này, tính toán sơ đồ chấm thủng P có độ dài 4 này bằng cách đảo ngược bit chuỗi [12(1100), 13(1101), 14(1110), 15(1111)] (= [M, …N-3, N-2, N-1]) thành P = [3(0011), 11(1011), 7(0111), 15(1111) = [BitRev(M), …, BitRev(N-3), BitRev (N − 2), BitRev (N − 1)]).

Tập PC đóng băng PF này có thể được xác định tuỳ thuộc vào các độ tin cậy phân cực này, các trọng số theo hàng của nhân Kronecker và các trọng số Hamming về mặt chỉ số kênh phụ này và sơ đồ chấm thủng/rút gọn P. (Các) trọng số theo hàng tối thiểu w_{min} nằm trong tập con các kênh phụ đáng tin cậy nhất này và các kích cỡ của mỗi tập PC đóng băng f_1, f_2 có thể được xác định dựa trên tỷ lệ mã và độ dài khối thông tin này.

Phần sau đây là ví dụ của một phương án về kỹ thuật năm bước để mã hoá chuỗi các bit thông tin.

Trong bước thứ nhất, bộ mã hoá này có thể tính toán số lượng các kênh phụ PC đóng băng ứng viên theo $F_P = \log_2 N \times (\alpha - |\alpha \times (K/M - 1/2)|^2)$. Tổng số bit PC đóng băng được gắn cờ trước có thể ít hơn hoặc bằng N-K (khi bằng với N-K, tất cả các bit đóng băng được coi là các bit PC đóng băng). Trong thực tế, F_P có thể được chặn trên bởi (*N-K*)/2, và α được đặt giá trị lớn hơn 1, ví dụ, α = 1,5. Theo một số phương án khác, F_P có thể là hàm số khác của N, M, và K khác hoặc là cố định.

Trong bước thứ hai, bộ mã hoá này có thể di chuyển các kênh phụ được chấm thủng/được rút gọn này đến ngoài cùng bên trái, và sau đó chia các kênh phụ còn lại thành hai tập con theo thứ tự các độ tin cậy tăng dần. Một ví dụ của bước này được mô tả bởi Fig. 21.

Trong bước thứ ba, bộ mã hoá này có thể tìm thấy trọng số theo hàng nhỏ nhất nằm trong tập con $K+F_P$ các kênh phụ này và ký hiệu nó là w_{min}, tính toán $f_1=(F_P+min(F_P,n))/2$, $f_2=(F_P-min(F_P,n))/2$. Nếu số lượng các kênh phụ có trọng số w_{min} trong tập con $K+F_P$ nhỏ hơn f_1, thì đặt $f_1=n$ và và bổ sung một nửa số lượng còn lại trong f_1 vào f_2, tức là, $f_2=f_2+(f_1-n)/2$.

Trong bước thứ tư, bộ mã hoá này có thể lựa chọn các kênh phụ PC đóng băng ứng viên trong tập con $K+F_P$ này. Khi làm như vậy, bộ mã hoá này có thể lựa chọn f_1 kênh phụ có trọng số theo hàng là w_{min} từ phải qua trái và lựa chọn f_2 kênh phụ có trọng số theo hàng là $2*w_{min}$ từ phải qua trái làm các kênh phụ PC đóng băng ứng viên. Theo một số phương án khác, tập con F_P kênh phụ có thể được xác định dựa trên trọng số theo hàng w_{min} này, và tập con F_P kênh phụ còn lại có thể được xác định dựa trên ít nhất một số đo khác, chẳng hạn như các kênh phụ ít tin cậy nhất nằm trong tập con $K+F_P$ này.

Trong bước thứ năm, bộ mã hoá này có thể xác định tập thông tin, tập PC đóng băng, và tập đóng băng. Khi làm như vậy, bộ mã hoá này có thể lựa chọn các kênh phụ thông tin từ ngoài cùng bên phải qua ngoài cùng bên trái và bỏ qua các kênh phụ PC đóng băng ứng

viên cho đến khi K kênh phụ được chọn. Sau đó, bộ mã hoá này có thể lựa chọn các kênh phụ còn lại này làm các kênh phụ đóng băng, và lựa chọn từ các vị trí kênh phụ đóng băng có trọng số theo hàng bằng với trọng số theo hàng của các kênh phụ PC đóng băng này (tức là, w_{min} và $2\times w_{min}$) làm các kênh phụ PC đóng băng bổ sung. Theo một số phương án khác, tất cả các kênh phụ đóng băng có thể được lựa chọn làm các kênh phụ PC đóng băng bổ sung. Nếu bit PC đóng băng ở phía trước bit thông tin thứ nhất, thì nó có thể là tương đương với bit đóng băng.

Bộ mã hoá này có thể thực hiện hàm kiểm tra chẵn lẻ dựa trên dịch vòng trên thanh ghi. Độ dài của thanh ghi này có thể là số nguyên tố. Bộ mã hoá này có thể khởi tạo thanh ghi dịch vòng có độ dài p, y[0],…,y[p-1], đến 0 đối với i = 0 đến N-1. Bắt đầu từ bit thứ nhất theo thứ tự số tự nhiên, bộ mã hoá này có thể đọc bit thứ i, a_i, và dịch trái vòng thanh ghi này từng bit một. Nếu a_i là bit thông tin, thì giá trị bit này giữ nguyên không đổi, và bộ mã hoá này cập nhật y[0] = (a_i XOR y[0]). Nếu a_i là bit PC, bộ mã hoá này đặt a_i =y[0]. Nếu a_i là bit đóng băng, thì bộ mã hoá này đặt a_i = 0.

FIG. 22 minh hoạ phương án về hoạt động thanh ghi dịch vòng được sử dụng bởi bộ giải mã PC (kiểm tra chẵn lẻ) -SCL. Hàm PC có thể được xác định bởi ma trận PC $\boldsymbol{W}$. Ví dụ sau đây sẽ giả định rằng độ dài khối mã này là $M = 16$, và độ dài bit thông tin này là $K = 8$. Từ đây, có thể thu nhận chuỗi được sắp xếp $\boldsymbol{Q}$ các kênh phụ sau đây: $[u_0, u_1, u_{2,} u_{4,} u_8, u_3, u_{5,} u_6, u_9, u_{10,} u_{12}, u_7, u_{11,} u_{13}, u_{14}, u_{15}]$. Dựa trên các phương trình được cung cấp trên đây (ví dụ, $F_P = \log_2 N \times (\alpha - |\alpha \times (K/M - 1/2)|^2)$, v.v.), F_P được tính toán là 6, và w_{min} và n tương ứng là 2 và 3. Do n<F_P, f_1=3 kênh phụ có trọng số theo hàng w_{min} =2 và f_2=3 kênh phụ có trọng số theo hàng $2\times d_{min}$ = 4 làm các bit PC đóng băng. Theo thứ tự độ tin cậy giảm dần, các bit PC đóng băng này là $[u_2, u_4, u_8, u_9, u_{10,} u_{12}]$. Các bit đóng băng bổ sung và các bit thông tin được ánh xạ dựa trên độ tin cậy kênh theo $\boldsymbol{Q}$. Tập bit thông tin này là $[u_3, u_{5,} u_6, u_7, u_{11,} u_{13}, u_{14}, u_{15}]$ và tập bit đóng băng này là $[u_0, u_1, u_{2,} u_4, u_8, u_9, u_{10,} u_{12}]$. Bằng cách lựa chọn các bit đóng băng có trọng số theo hàng 2 và 4, tập bit PC đóng băng này là $[u_1, u_2, u_4, u_8, u_9, u_{10,} u_{12}]$. Cuối cùng, thanh ghi vòng có độ dài nguyên tố có p=5 được sử dụng để xây dựng các hàm chẵn lẻ cho mỗi bit PC đóng băng trong $[u_1, u_2, u_4, u_8, u_9, u_{10,} u_{12}]$. Thanh ghi vòng này kết nối các bit này với khoảng cách không đổi là 5. Đặc biệt là, u_1, u_2, u_4 và u_9 là tương đương với các bit đóng băng tĩnh. Ngoài ra, u_8, u_{10} và u_{12} được ánh xạ đến các bit PC dựa trên các hàm chẵn lẻ tương ứng của $[u_{3,} u_8]$, $[u_{5,} u_{10}]$ và $[u_{7,} u_{12}]$, trong đó u_3, u_5 và u_7 là các bit thông tin. FIG. 23 minh hoạ ma trận kiểm tra chẵn lẻ cho ví dụ này. Như được thể hiện, **W** được thu nhận bằng cách đặt u_0, u_1, u_2, u_4, và u_9 làm các bit đóng băng tĩnh, và đặt u_8, u_{10} và u_{12} làm các bit PC dựa trên các hàm tự kiểm tra chẵn lẻ sao cho $u_8 = u_3, u_{10} = u_5, u_{12} = u_7$. Bảng 4 liệt kê các ký hiệu được sử dụng xuyên suốt sáng chế.

Bảng 4

K	*độ dài các bit thông tin*
M	*độ dài khối mã*
N	*độ dài khối mã gốc, bằng với* $2^{\lceil log_2(M) \rceil}$
L	*kích cỡ danh sách của bộ giải mã SCL*
R	*tỷ lệ mã K/M*
Q	*chuỗi vị trí các bit được sắp xếp*
P	*tập chấm thủng*
F	*tập đóng băng*
PF	*tập PC đóng băng*
W	*ma trận kiểm tra chẵn lẻ*
n	*số lượng các phân đoạn*

FIG. 24 minh hoạ phương án phương pháp 2400 để mã hoá chuỗi các bit thông tin, như có thể được thực hiện bởi bộ mã hoá. Ở bước 2410, bộ mã hoá này tính toán chuỗi trọng số theo $W_i = \sum_{j=0}^{n-1} B_j * 2^{j*\frac{1}{4}}$ (trong đó i là chỉ số của kênh phụ, B_j là giá trị bit {0 hoặc 1} của chữ số thứ $j+1$ trong biểu diễn nhị phân của kênh phụ i tính từ chữ số ít quan trọng nhất), sắp xếp W_i theo thứ tự tăng dần, và lưu lại chuỗi chỉ số được sắp xếp Q_i này. Ở bước 2420, bộ mã hoá này tính toán sơ đồ chấm thủng/rút gọn, ví dụ, theo P= [BitRev(M), BitRev(M+1), … BitRev (N − 1)]). Có thể có các sơ đồ chấm thủng/rút gọn khác. Ở bước 2430, bộ mã hoá này tính toán F_P bằng $F_P = \log_2 N \times (\alpha - |\alpha \times (K/M - 1/2)|^2)$, chia các kênh phụ (theo thứ tự tăng dần của trọng số hoặc độ tin cậy) thành ba tập con: N-M, M-K-F_P, K+F_P, trong đó tập con K+F_P này chứa các kênh phụ đáng tin cậy nhất (khi chấm thủng/rút gọn được xem xét). Bộ mã hoá này cũng tìm thấy w_{min} là trọng số theo hàng nhỏ nhất nằm trong tập con K+F_P này, tìm thấy n là số lượng kênh phụ trong tập con K+F_P có cùng w_{min} này, tính toán f_1=(F_P+min(F_P,n))/2, và tính toán f_2=(F_P-min(F_P,n))/2. Ở bước 2440, bộ mã hoá này dự trữ hoặc theo cách khác cấp phát các kênh phụ ứng viên cho các bit PC trong tập con K+F_P này bằng cách chọn f_1 kênh phụ có trọng số w_{min} và f_2 kênh phụ có trọng số 2*w_{min}. Theo một số phương án, F_P có thể là giá trị cố định, ví dụ, 3. Theo các phương án khác, chỉ tập con F_P kênh phụ cho các bit PC được lựa chọn dựa trên trọng số w_{min} và/hoặc 2*w_{min}, và tập con F_P kênh phụ còn lại cho các bit PC được lựa chọn dựa trên ít nhất một số đo khác, ví dụ, các kênh phụ ít tin cậy nhất nằm trong $K+F_P$ kênh phụ đáng tin cậy nhất này. Một khi các kênh phụ PC ứng viên đã được cấp phát, bộ mã hoá này cũng cấp phát K kênh phụ (đáng tin cậy nhất còn lại) trong tập con K+F_P này (tức là, bỏ qua các kênh phụ PC ứng viên được làm đảo ngược này) và ánh xạ các bit thông tin đến các kênh phụ này để thu nhận tập thông tin I này. Bộ mã hoá này

cũng ánh xạ các bit đóng băng đến các kênh phụ còn lại (ví dụ, tập con N-M và/hoặc tập con M-K-F_P) để thu nhận chuỗi đóng băng F. Theo các phương án khác, bộ mã hoá này dự trữ hoặc cấp phát các kênh phụ bổ sung cho các bit PC từ tập đóng băng F này. Các kênh phụ bổ sung được chọn từ tập đóng băng F này có thể có các trọng số theo hàng bằng với w_{min} và/hoặc $2*w_{min}$, hoặc tất cả tập đóng băng F này có thể được coi là các kênh phụ bổ sung cho các bit PC này. Các kênh phụ đảo ngược có thể được ánh xạ đến các bit PC để thu nhận tập PC đóng băng *PF*. Ở bước 2450, bộ mã hoá này thiết lập các giá trị của các bit PC này dựa trên hàm kiểm tra chẵn lẻ sử dụng dịch vòng trong thanh ghi. Thanh ghi này có thể có độ dài bằng với số nguyên tố. Tuỳ thuộc vào cách thức thực hiện, thứ tự trong đó các kênh phụ được cấp phát có thể thay đổi. Tương tự như vậy, thứ tự trong đó các bit PC, các bit thông tin hoặc các bit đóng băng này được ánh xạ đến các kênh phụ được cấp phát này cũng có thể thay đổi.

Fig. 25 minh hoạ sơ đồ khối của phương án về hệ thống xử lý 2500 dùng để thực hiện các phương pháp mã hoá được mô tả trong bản mô tả này, hệ thống xử lý này có thể được lắp đặt trong thiết bị chủ. Như được thể hiện, hệ thống xử lý 2500 này bao gồm bộ xử lý 2504, bộ nhớ 2506, và các giao diện 2510-2514, có thể (hoặc có thể không) được sắp xếp như được thể hiện trong Fig. 25. Bộ xử lý 2504 này có thể là thành phần bất kỳ hoặc tập hợp các thành phần được làm thích ứng để thực hiện các tính toán và/hoặc các tác vụ xử lý liên quan khác chẳng hạn như lựa chọn, ánh xạ và/hoặc các hoạt động mã hoá khác hoặc các hoạt động giải mã khác được mô tả trong bản mô tả này, và bộ nhớ 2506 này có thể là thành phần bất kỳ hoặc tập hợp các thành phần được làm thích ứng để lưu trữ chương trình và/hoặc các lệnh để thực thi bởi bộ xử lý 2504 này. Theo một phương án, bộ nhớ 2506 này bao gồm phương tiện không chuyển tiếp đọc được bằng máy tính. Các giao diện 2510, 2512, 2514 này có thể là thành phần bất kỳ hoặc tập hợp các thành phần được tạo cấu hình để cho phép hệ thống xử lý 2500 này giao tiếp với các thiết bị/các thành phần khác và/hoặc người dùng chẳng hạn như cho phép truyền dẫn dữ liệu được mã hoá hoặc thu nhận các tín hiệu dựa trên dữ liệu được mã hoá. Ví dụ, một hoặc nhiều giao diện trong số các giao diện 2510, 2512, 2514 này có thể được làm thích ứng để truyền thông các bản tin dữ liệu, điều khiển, hoặc quản lý từ bộ xử lý 2504 này đến các ứng dụng được cài đặt trên thiết bị chủ này và/hoặc thiết bị từ xa. Như ví dụ khác, một hoặc nhiều giao diện trong số các giao diện 2510, 2512, 2514 này có thể được làm thích ứng để cho phép người dùng hoặc thiết bị người dùng (ví dụ, máy tính cá nhân (Personal Computer - PC), v.v.) tương tác/giao tiếp với hệ thống xử lý 2500 này. Hệ thống xử lý 2500 này có thể bao gồm các thành phần bổ sung không được mô tả trong Fig. 25, chẳng hạn như bộ lưu trữ dài hạn (ví dụ, bộ nhớ điện tĩnh, v.v.).

Theo một số phương án, hệ thống xử lý 2500 này được đưa vào thiết bị mạng truy nhập, hoặc theo cách khác là một phần của mạng viễn thông. Trong một ví dụ, hệ thống xử lý 2500 này ở trong thiết bị phía mạng trong mạng viễn thông có dây hoặc không dây, chẳng hạn như trạm gốc, trạm chuyển tiếp, bộ lập lịch, bộ điều khiển, cổng mạng, bộ định

tuyến, máy chủ các ứng dụng, hoặc thiết bị khác bất kỳ trong mạng viễn thông. Theo các phương án khác, hệ thống xử lý 2500 này ở trong thiết bị phía người dùng truy nhập vào mạng viễn thông có dây hoặc không dây, chẳng hạn như trạm di động, thiết bị người dùng (User Equipment - UE), thiết bị không dây, máy tính cá nhân PC, máy tính bảng, thiết bị truyền thông đeo được (ví dụ, đồng hồ thông minh, v.v.), hoặc thiết bị khác bất kỳ được làm thích ứng để truy nhập vào mạng viễn thông.

Theo một số phương án, một hoặc nhiều giao diện trong số các giao diện 2510, 2512, 2514 này kết nối hệ thống xử lý 2500 này với bộ thu phát được làm thích ứng để truyền và nhận báo hiệu qua mạng viễn thông này. Fig. 26 minh hoạ sơ đồ khối của bộ thu phát 2600 được làm thích ứng để truyền và nhận báo hiệu hoặc dữ liệu được mã hoá qua mạng viễn thông. Bộ thu phát 2600 này có thể được lắp đặt trong thiết bị chủ. Như được thể hiện, bộ thu phát 2600 này bao gồm giao diện phía mạng 2602, bộ ghép 2604, bộ phát 2606, bộ thu 2608, bộ xử lý tín hiệu 2610, và giao diện phía thiết bị 2612. Giao diện phía mạng 2602 này có thể bao gồm thành phần bất kỳ hoặc tập hợp các thành phần được làm thích ứng để truyền và nhận báo hiệu qua mạng viễn thông có dây hoặc không dây. Bộ ghép 2604 này có thể bao gồm thành phần bất kỳ hoặc tập hợp các thành phần được làm thích ứng để tạo điều kiện cho giao tiếp hai chiều qua giao diện phía mạng 2602 này. Bộ phát 2606 này có thể bao gồm thành phần bất kỳ hoặc tập hợp các thành phần (ví dụ, bộ nâng tần, bộ khuếch đại công suất, v.v.) được làm thích ứng để chuyển đổi tín hiệu băng gốc thành tín hiệu sóng mang được điều chế thích hợp để truyền dẫn qua giao diện phía mạng 2602 này. Bộ thu 2608 này có thể bao gồm thành phần bất kỳ hoặc tập hợp các thành phần (ví dụ, bộ hạ tần, bộ khuếch đại tạp âm thấp, v.v.) được làm thích ứng để chuyển đổi tín hiệu sóng mang nhận được qua giao diện phía mạng 2602 này thành tín hiệu băng gốc. Bộ xử lý tín hiệu 2610 này có thể bao gồm thành phần bất kỳ hoặc tập hợp các thành phần được làm thích ứng để chuyển đổi tín hiệu băng gốc thành tín hiệu dữ liệu thích hợp để giao tiếp qua (các) giao diện phía thiết bị 2612 này, hoặc ngược lại. (Các) giao diện phía thiết bị 2612 này có thể bao gồm thành phần bất kỳ hoặc tập hợp các thành phần được làm thích ứng để giao tiếp các tín hiệu dữ liệu giữa bộ xử lý tín hiệu 2610 này và các thành phần nằm trong thiết bị chủ này (ví dụ, hệ thống xử lý 2500 này, các cổng mạng cục bộ (Local Area Network - LAN), v.v.).

Bộ thu phát 2600 này có thể truyền và nhận báo hiệu qua kiểu phương tiện truyền thông bất kỳ. Theo một số phương án, bộ thu phát 2600 này truyền và nhận báo hiệu qua phương tiện không dây. Ví dụ, bộ thu phát 2600 này có thể là bộ thu phát không dây được làm thích ứng để giao tiếp theo giao thức viễn thông không dây, chẳng hạn như giao thức di động (ví dụ, tiến hoá dài hạn (Long Term Evolution - LTE), v.v.), giao thức mạng cục bộ không dây (Wireless Local Area Network - WLAN) (ví dụ, Wi-Fi, v.v.), hoặc kiểu giao thức không dây bất kỳ khác (ví dụ, Bluetooth, giao tiếp trường gần (Near Field Communication - NFC), v.v.). Theo các phương án như vậy, giao diện phía mạng 2602 này bao gồm một hoặc nhiều phần tử ăng-ten/bức xạ. Ví dụ, giao diện phía mạng 2602 này

có thể bao gồm ăng-ten đơn, nhiều ăng-ten riêng biệt, hoặc mảng đa ăng-ten được tạo cấu hình để giao tiếp đa lớp, ví dụ, một đầu vào nhiều đầu ra (Single Input Multiple Output - SIMO), nhiều đầu vào một đầu ra (Multiple Input Single Output - MISO), nhiều đầu vào nhiều đầu ra (Multiple Input Multiple Output - MIMO), v.v. Theo các phương án khác, bộ thu phát 2600 này truyền và nhận báo hiệu qua phương tiện có dây, ví dụ, cáp dạng cặp dây xoắn, cáp đồng trục, cáp sợi quang, v.v. Các hệ thống xử lý cụ thể và/hoặc các bộ thu phát có thể sử dụng tất cả các thành phần được thể hiện, hoặc chỉ tập con các thành phần này, và các mức độ tích hợp có thể thay đổi từ thiết bị này đến thiết bị khác.

Theo nhiều ví dụ khác nhau của sáng chế, các phương pháp và các thiết bị mã hoá dữ liệu sử dụng mã cực được mô tả. Trong ví dụ thứ nhất, sáng chế đề xuất thiết bị mã hoá dữ liệu bằng mã cực. Thiết bị này được tạo cấu hình để cấp phát một hoặc nhiều kênh phụ cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ dựa trên các trọng số theo hàng đối với các kênh phụ trong tập con của tập các kênh phụ. Thiết bị này còn được tạo cấu hình để ánh xạ các bit thông tin đến các kênh phụ còn lại trong tập các kênh phụ này dựa trên độ tin cậy của các kênh phụ còn lại này mà không ánh xạ các bit thông tin này đến một hoặc nhiều kênh phụ được cấp phát cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này. Thiết bị này còn được tạo cấu hình để mã hoá các bit thông tin này và một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này sử dụng mã cực để thu nhận dòng bit được mã hoá. Cuối cùng, thiết bị này được tạo cấu hình để truyền dòng bit được mã hoá này.

Trong ví dụ thứ hai, sáng chế đề xuất thiết bị của ví dụ thứ nhất trong đó trọng số theo hàng đối với kênh phụ biểu diễn số lượng các số 1 trong hàng của ma trận Kronecker, hàng này tương ứng với kênh phụ này. Trong ví dụ thứ ba, thiết bị của các ví dụ thứ nhất hoặc thứ hai này được đề xuất, trong đó các trọng số theo hàng này bao gồm ít nhất trọng số theo hàng tối thiểu.

Trong ví dụ thứ tư, thiết bị của ví dụ bất kỳ trong số các ví dụ từ thứ nhất đến thứ ba còn được tạo cấu hình để cấp phát, cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này, số lượng các kênh phụ có trọng số theo hàng bằng với trọng số theo hàng tối thiểu này trong tập con các kênh phụ này để cấp phát một hoặc nhiều kênh phụ cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ dựa trên các trọng số theo hàng đối với các kênh phụ trong tập con của tập các kênh phụ.

Trong ví dụ thứ năm, sáng chế đề xuất thiết bị của ví dụ thứ tư trong đó số lượng các kênh phụ được cấp phát là một. Trong ví dụ thứ sáu, sáng chế đề xuất thiết bị của ví dụ thứ tư trong đó các kênh phụ trong tập này được sắp xếp dựa trên các độ tin cậy của chúng để tạo thành chuỗi các kênh phụ được sắp xếp, và trong đó tập con các kênh phụ này bao gồm tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ trong chuỗi được sắp xếp này. Trong ví dụ thứ bảy, sáng chế đề xuất thiết bị của ví dụ thứ tư trong đó tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ này bao gồm K kênh phụ mang các bit thông tin này. Trong ví dụ thứ tám, sáng chế đề xuất thiết bị của ví dụ thứ tư trong đó tập con đáng tin cậy nhất của các kênh phụ này bao gồm $K+F_P$ kênh phụ, trong đó K là độ dài khối thông tin được kết hợp với các bit

thông tin này, và F_P chỉ báo số lượng của một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này. Trong ví dụ thứ chín, sáng chế đề xuất thiết bị của ví dụ thứ tư trong đó kênh phụ đáng tin cậy nhất có trọng số theo hàng bằng với trọng số theo hàng tối thiểu trong tập con các kênh phụ này được cấp phát cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này.

Trong ví dụ thứ mười, sáng chế đề xuất thiết bị của ví dụ bất kỳ trong số các ví dụ từ thứ nhất đến thứ chín trong đó một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này bao gồm một hoặc nhiều bit kiểm tra chẵn lẻ PC. Trong ví dụ thứ mười một, thiết bị của ví dụ thứ mười còn được tạo cấu hình để xác định một hoặc nhiều giá trị cho một hoặc nhiều bit PC như là hàm số của các giá trị của các bit thông tin này, và ánh xạ một hoặc nhiều bit PC này đến ít nhất một hoặc nhiều kênh phụ được cấp phát cho các bit PC này, để mã hoá các bit thông tin này và một hoặc nhiều bit PC này sử dụng mã cực để thu nhận dòng bit được mã hoá này.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp dùng cho thiết bị để mã hoá dữ liệu, phương pháp này bao gồm:

cấp phát, từ tập các kênh phụ được sắp xếp dựa trên số đo độ tin cậy, tập con của các kênh phụ cho nhiều bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng dựa trên số đo độ tin cậy này;

ánh xạ các bit thông tin đến các kênh phụ còn lại trong tập các kênh phụ này mà không ánh xạ bất kỳ bit thông tin nào trong số các bit thông tin này đến tập con của các kênh phụ này được cấp phát cho nhiều bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng này để cho tập con của các kênh phụ này cho nhiều bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng này có độ tin cậy thấp hơn so với các kênh phụ còn lại này cho các bit thông tin này;

mã hoá các bit thông tin này và nhiều bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng này bằng cách sử dụng mã cực để thu nhận các bit được mã hoá, việc mã hóa này dựa vào ít nhất là việc ánh xạ các bit thông tin này đến các kênh phụ còn lại này; và

xuất các bit được mã hoá này sang thiết bị khác.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó tập các kênh phụ này là tập thứ nhất trong số nhiều tập kênh phụ, và trong đó mỗi kênh phụ của tập thứ nhất trong số nhiều tập kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn so với mỗi kênh phụ của bất kỳ tập nào khác trong số nhiều tập kênh phụ này.

3. Phương pháp theo điểm 2, trong đó tập thứ nhất trong số nhiều tập kênh phụ này bao gồm K kênh phụ, trong đó tập thứ hai trong số nhiều tập kênh phụ này bao gồm M-K kênh phụ hoặc N-K kênh phụ, trong đó K là độ dài khối thông tin, trong đó M là độ dài khối được truyền đi của mã cực này, trong đó N là độ dài mã gốc của mã cực này, và trong đó mỗi kênh phụ trong số K kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn so với mỗi kênh phụ trong số M-K kênh phụ này hoặc N-K kênh phụ này.

4. Phương pháp theo điểm 1, phương pháp này còn bao gồm:

đối với mỗi kênh phụ trong tập các kênh phụ này, dịch chuyển thanh ghi dịch vòng; và

đối với mỗi kênh phụ được ánh xạ đến bit thông tin tương ứng trong số các bit thông tin này, thực hiện phép toán XOR với bit thông tin tương ứng này trong số các bit thông tin này và bit của thanh ghi dịch vòng này, hoặc

đối với mỗi kênh phụ được cấp phát cho bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng trong số các bit kiểm tra chẵn lẻ này, truy xuất giá trị của bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng này trong số các bit kiểm tra chẵn lẻ này từ thanh ghi dịch vòng này.

5. Phương pháp theo điểm 4, trong đó thanh ghi dịch vòng này có độ dài là 5.

6. Phương pháp dùng cho thiết bị để giải mã dữ liệu, phương pháp này bao gồm:

nhận, bởi thiết bị từ thiết bị khác, tín hiệu dựa trên các bit được mã hóa, các bit được mã hóa này được tạo ra bởi việc mã hóa sử dụng mã cực, các bit thông tin và các bit kiểm tra chẵn lẻ, trong đó mã cực này được kết hợp với tập các kênh phụ, trong đó tập các kênh phụ này được sắp xếp dựa vào số đo độ tin cậy, và trong đó các bit kiểm tra chẵn lẻ này được cấp phát cho tập con của các kênh phụ của tập các kênh phụ này dựa vào số đo độ tin cậy, và trong đó các bit thông tin này được ánh xạ đến các kênh phụ còn lại trong tập các kênh phụ này để cho tập con của các kênh phụ này cho các bit kiểm tra chẵn lẻ này có độ tin cậy thấp hơn so với các kênh phụ còn lại này cho các bit thông tin này; và

giải mã, bởi thiết bị này, tín hiệu này sử dụng mã cực này và các bit kiểm tra chẵn lẻ này để thu được các bit thông tin này.

7. Phương pháp theo điểm 6, trong đó tập các kênh phụ này là tập thứ nhất trong số nhiều tập kênh phụ, và trong đó mỗi kênh phụ của tập thứ nhất trong số nhiều tập kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn so với mỗi kênh phụ của bất kỳ tập nào khác trong số nhiều tập kênh phụ này.

8. Phương pháp theo điểm 7, trong đó tập thứ nhất trong số nhiều tập kênh phụ này bao gồm K kênh phụ, trong đó tập thứ hai trong số nhiều tập kênh phụ này bao gồm M-K kênh phụ hoặc N-K kênh phụ, trong đó K là độ dài khối thông tin, trong đó M là độ dài khối được truyền đi của mã cực này, trong đó N là độ dài mã gốc của mã cực này, và trong đó mỗi kênh phụ trong số K kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn so với mỗi kênh phụ trong số M-K kênh phụ này hoặc N-K kênh phụ này.

9. Phương pháp theo điểm 6, trong đó việc giải mã này còn bao gồm:

đối với mỗi kênh phụ trong tập các kênh phụ này, dịch chuyển thanh ghi dịch vòng; và

đối với mỗi kênh phụ được ánh xạ đến bit thông tin tương ứng trong số các bit thông tin này, thực hiện phép toán XOR với bit thông tin tương ứng này trong số các bit thông tin này và bit của thanh ghi dịch vòng này, hoặc

đối với mỗi kênh phụ được cấp phát cho bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng trong số các bit kiểm tra chẵn lẻ này, so sánh bit kiểm tra chẵn lẻ được giải mã tương ứng với bit của thanh ghi dịch vòng này.

10. Phương pháp theo điểm 9, trong đó thanh ghi dịch vòng này có độ dài là 5.

11. Thiết bị dùng để mã hóa dữ liệu, thiết bị này bao gồm:

ít nhất một bộ xử lý; và

phương tiện lưu trữ không chuyển tiếp đọc được bằng máy tính lưu trữ chương trình dùng để thực thi bởi ít nhất một bộ xử lý này, chương trình này bao gồm các lệnh khiến cho thiết bị này:

cấp phát, từ tập các kênh phụ được sắp xếp dựa trên số đo độ tin cậy, tập con của các kênh phụ cho nhiều bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng dựa trên số đo độ tin cậy này;

ánh xạ các bit thông tin đến các kênh phụ còn lại trong tập các kênh phụ này mà không ánh xạ bất kỳ bit thông tin nào trong số các bit thông tin này đến tập con của các kênh phụ này được cấp phát cho nhiều bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng này để cho tập con của các kênh phụ này cho nhiều bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng này có độ tin cậy thấp hơn so với các kênh phụ còn lại này cho các bit thông tin này;

mã hoá các bit thông tin này và nhiều bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng này bằng cách sử dụng mã cực để thu nhận các bit được mã hoá, việc mã hóa này dựa vào ít nhất là việc ánh xạ các bit thông tin này đến các kênh phụ còn lại này; và

xuất các bit được mã hoá này sang thiết bị khác.

12. Thiết bị theo điểm 11, trong đó tập các kênh phụ này là tập thứ nhất trong số nhiều tập kênh phụ, và trong đó mỗi kênh phụ của tập thứ nhất trong số nhiều tập kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn so với mỗi kênh phụ của bất kỳ tập nào khác trong số nhiều tập kênh phụ này.

13. Thiết bị theo điểm 12, trong đó tập thứ nhất trong số nhiều tập kênh phụ này bao gồm K kênh phụ, trong đó tập thứ hai trong số nhiều tập kênh phụ này bao gồm M-K kênh phụ hoặc N-K kênh phụ, trong đó K là độ dài khối thông tin, trong đó M là độ dài khối được truyền đi của mã cực này, trong đó N là độ dài mã gốc của mã cực này, và trong đó mỗi kênh phụ trong số K kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn so với mỗi kênh phụ trong số M-K kênh phụ này hoặc N-K kênh phụ này.

14. Thiết bị theo điểm 11, trong đó chương trình này còn bao gồm các lệnh để khiến cho thiết bị này:

đối với mỗi kênh phụ trong tập các kênh phụ này, dịch chuyển thanh ghi dịch vòng; và

đối với mỗi kênh phụ được ánh xạ đến bit thông tin tương ứng trong số các bit thông tin này, thực hiện phép toán XOR với bit thông tin tương ứng này trong số các bit thông tin này và bit của thanh ghi dịch vòng này, hoặc

đối với mỗi kênh phụ được cấp phát cho bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng trong số các bit kiểm tra chẵn lẻ này, truy xuất giá trị của bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng này trong số các bit kiểm tra chẵn lẻ này từ thanh ghi dịch vòng này.

15. Thiết bị theo điểm 14, trong đó thanh ghi dịch vòng này có độ dài là 5.

16. Thiết bị dùng để giải mã dữ liệu, thiết bị này bao gồm:

ít nhất một bộ xử lý; và

phương tiện lưu trữ không chuyển tiếp đọc được bằng máy tính lưu trữ chương trình dùng để thực thi bởi ít nhất một bộ xử lý này, chương trình này bao gồm các lệnh khiến cho thiết bị này:

nhận, từ thiết bị khác, tín hiệu dựa trên các bit được mã hóa, các bit được mã hóa này được tạo ra bởi việc mã hóa sử dụng mã cực, các bit thông tin và các bit kiểm tra chẵn lẻ, trong đó mã cực này được kết hợp với tập các kênh phụ, trong đó tập các kênh phụ này được sắp xếp dựa vào số đo độ tin cậy, và trong đó các bit kiểm tra chẵn lẻ này được cấp phát cho tập con của các kênh phụ của tập các kênh phụ này dựa vào số đo độ tin cậy, và trong đó các bit thông tin này được ánh xạ đến các kênh phụ còn lại trong tập các kênh phụ này để cho tập con của các kênh phụ này cho các bit kiểm tra chẵn lẻ này có độ tin cậy thấp hơn so với các kênh phụ còn lại này cho các bit thông tin này; và

giải mã tín hiệu này sử dụng mã cực này và các bit kiểm tra chẵn lẻ này để thu được các bit thông tin này.

17. Thiết bị theo điểm 16, trong đó tập các kênh phụ này là tập thứ nhất trong số nhiều tập kênh phụ, và trong đó mỗi kênh phụ của tập thứ nhất trong số nhiều tập kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn so với mỗi kênh phụ của bất kỳ tập nào khác trong số nhiều tập kênh phụ này.

18. Thiết bị theo điểm 17, trong đó tập thứ nhất trong số nhiều tập kênh phụ này bao gồm K kênh phụ, trong đó tập thứ hai trong số nhiều tập kênh phụ này bao gồm M-K kênh phụ hoặc N-K kênh phụ, trong đó K là độ dài khối thông tin, trong đó M là độ dài khối được truyền đi của mã cực này, trong đó N là độ dài mã gốc của mã cực này, và trong đó mỗi kênh phụ trong số K kênh phụ này có số đo độ tin cậy cao hơn so với mỗi kênh phụ trong số M-K kênh phụ này hoặc N-K kênh phụ này.

19. Thiết bị theo điểm 16, trong đó các lệnh dùng để giải mã tín hiệu này bao gồm các lệnh để khiến cho thiết bị này:

đối với mỗi kênh phụ trong tập các kênh phụ này, dịch chuyển thanh ghi dịch vòng; và

đối với mỗi kênh phụ được ánh xạ đến bit thông tin tương ứng trong số các bit thông tin này, thực hiện phép toán XOR với bit thông tin tương ứng này trong số các bit thông tin này và bit của thanh ghi dịch vòng này, hoặc

đối với mỗi kênh phụ được cấp phát cho bit kiểm tra chẵn lẻ tương ứng trong số các bit kiểm tra chẵn lẻ này, so sánh bit kiểm tra chẵn lẻ được giải mã tương ứng với bit của thanh ghi dịch vòng này.

20. Thiết bị theo điểm 19, trong đó thanh ghi dịch vòng này có độ dài là 5.

1/24

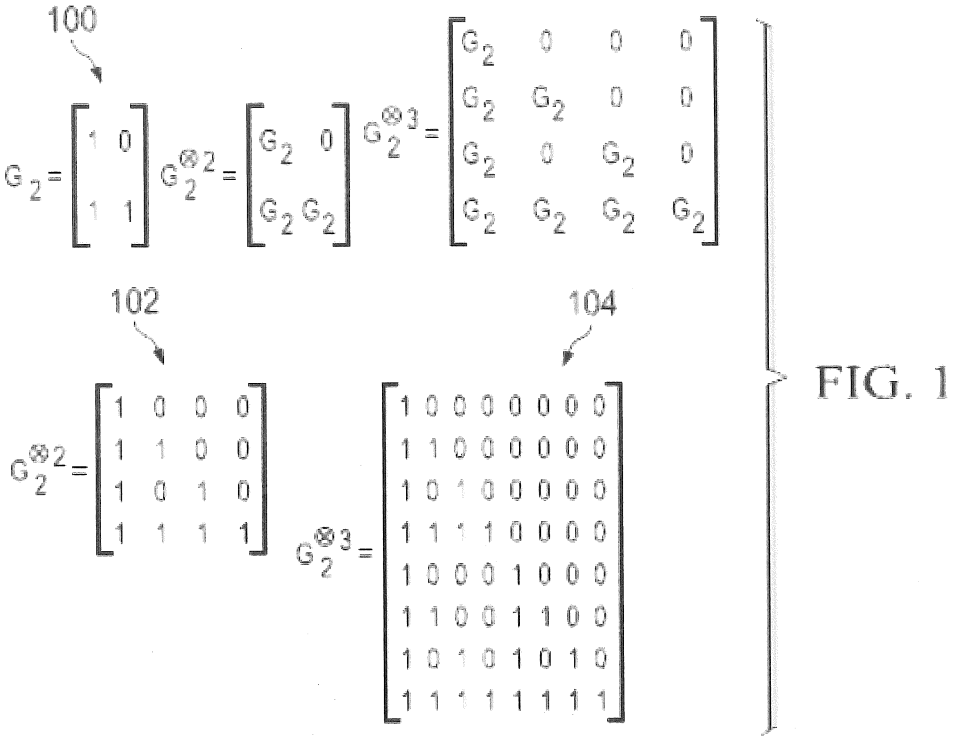


FIG. 1

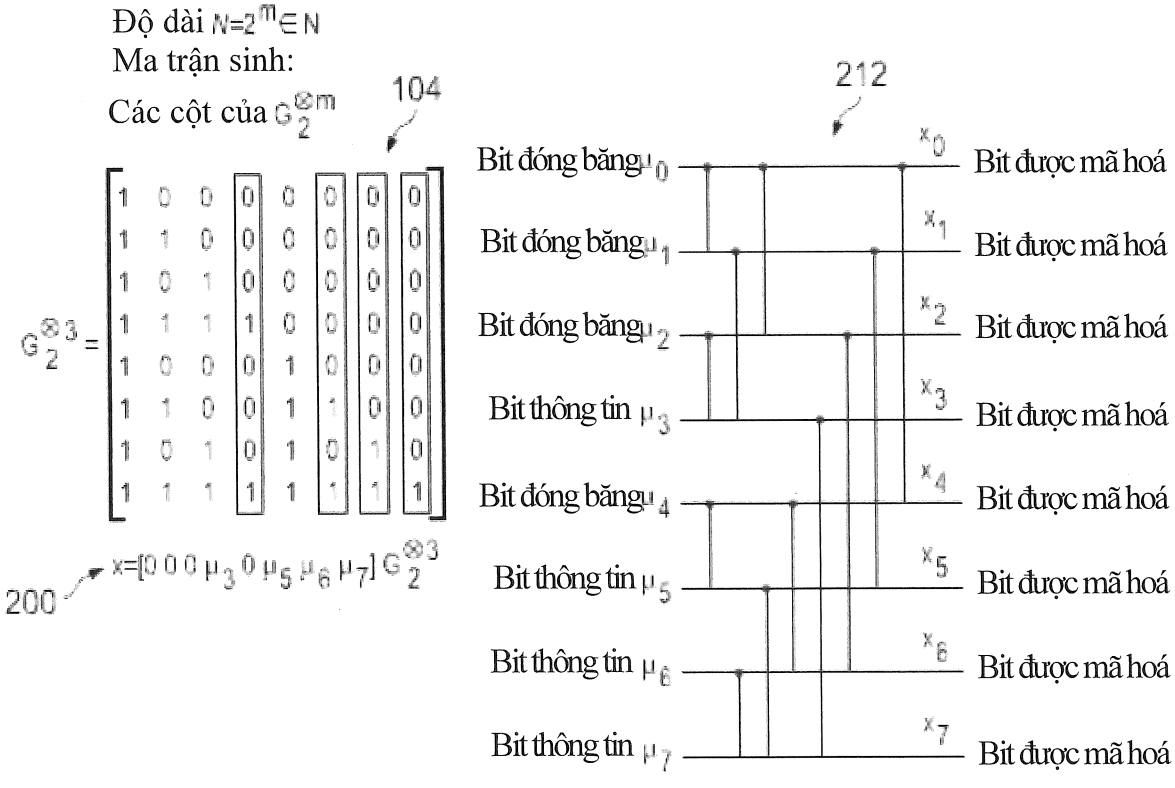


FIG. 2

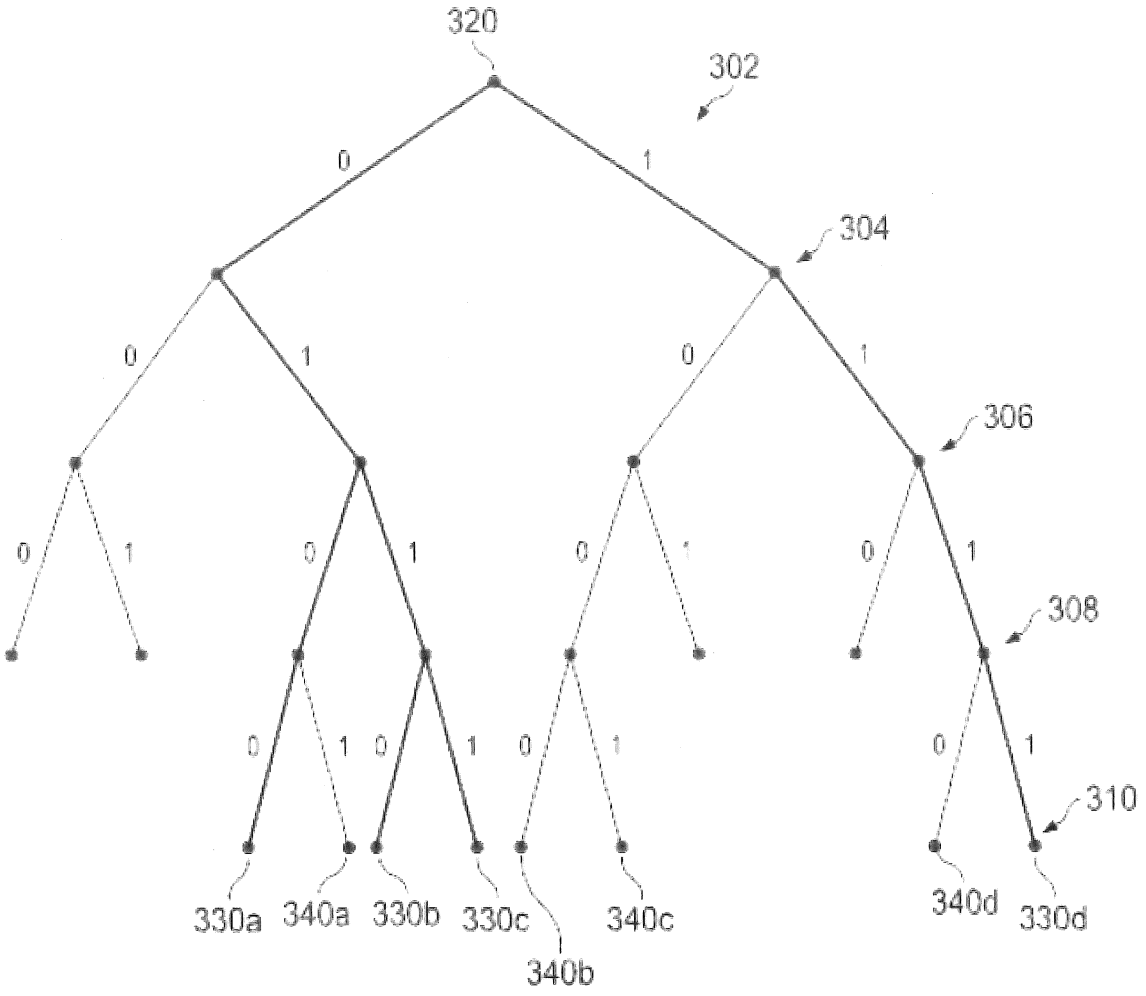

320
302
304
306
308
310
330a
340a
330b
330c
340b
340c
340d
330d

FIG. 3

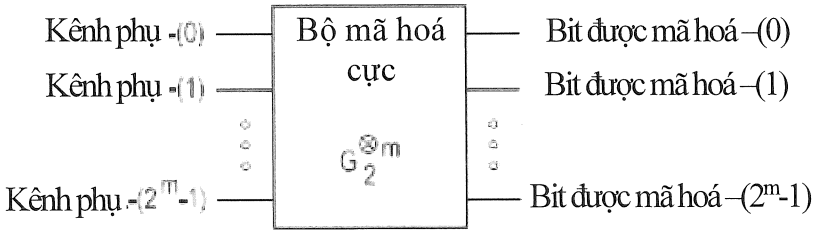

Kênh phụ -(0)
Kênh phụ -(1)
Kênh phụ -(2^m-1)
Bộ mã hoá cực
G2^⊗m
Bit được mã hoá –(0)
Bit được mã hoá –(1)
Bit được mã hoá –(2^m-1)

FIG. 4

Kênh	μ0	μ1	μ2	μ3	μ4	μ5	μ6	μ7	μ8	μ9	μ10	μ11	μ12	μ13	μ14	μ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	2,1892	1,4142	2,4142	2,6034	3,6034	1,6818	2,6818	2,871	3,871	3,096	4,096	4,2852	5,2852

FIG. 5A

Kênh	μ0	μ1	μ2	μ4	μ8	μ3	μ5	μ6	μ9	μ10	μ12	μ7	μ11	μ13	μ14	μ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	1,4142	1,6818	2,1892	2,4142	2,6034	2,6818	2,871	3,096	3,6034	3,871	4,096	4,2852	5,2852

FIG. 5B

Kênh	μ0	μ1	μ2	μ4	μ8	μ3	μ5	μ6	μ9	μ10	μ12	μ7	μ11	μ13	μ14	μ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	1,4142	1,6818	2,1892	2,4142	2,6034	2,6818	2,871	3,096	3,6034	3,871	4,096	4,2852	5,2852
Biểu diễn nhị phân của kênh	0	1	10	100	1000	11	101	110	1001	1010	1100	111	1011	1101	1110	1111
Trọng số Hamming (hw)	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Trọng số theo hàng (rw)	1	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	16

FIG. 5C

FIG. 5D

Kênh	μ0	μ1	μ2	μ4	μ8	μ3	μ5	μ6	μ9	μ10	μ12	μ7	μ11	μ13	μ14	μ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	1,4142	1,6818	2,1892	2,4142	2,6034	2,6818	2,871	3,096	3,6034	3,871	4,096	4,2852	5,2852
Biểu diễn nhị phân của kênh	0	1	10	100	1000	11	101	110	1001	1010	1100	111	1011	1101	1110	1111
Trọng số Hamming (hw)	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Trọng số theo hàng (rw)	1	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	16
Trạng thái											DỰ TRỮ CHO PC				DỰ TRỮ CHO PC	

FIG. 5E

Kênh	μ0	μ1	μ2	μ4	μ8	μ3	μ5	μ6	μ9	μ10	μ12	μ7	μ11	μ13	μ14	μ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	1,4142	1,6818	2,1892	2,4142	2,6034	2,6818	2,871	3,096	3,6034	3,871	4,096	4,2852	5,2852
Biểu diễn nhị phân của kênh	0	1	10	100	1000	11	101	110	1001	1010	1100	111	1011	1101	1110	1111
Trọng số Hamming (hw)	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Trọng số theo hàng (rw)	1	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	16
Trạng thái											DỰ TRỮ CHO PC	Bit I	Bit I	Bit I	DỰ TRỮ CHO PC	Bit I

FIG. 5F

Kênh	µ0	µ1	µ2	µ4	µ8	µ3	µ5	µ6	µ9	µ10	µ12	µ7	µ11	µ13	µ14	µ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	1,4142	1,6818	2,1892	2,4142	2,6034	2,6818	2,871	3,096	3,6034	3,871	4,096	4,2852	5,2852
Biểu diễn nhị phân của kênh	0	1	10	100	1000	11	101	110	1001	1010	1100	111	1011	1101	1110	1111
Trọng số Hamming (hw)	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Trọng số theo hàng (rw)	1	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	16
Trạng thái	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	PC	PC	PC	PC	PC	PC	Bit I	Bit I	Bit I	PC	Bit I

FIG. 5G

Kênh	µ0	µ1	µ2	µ4	µ8	µ3	µ5	µ6	µ9	µ10	µ12	µ7	µ11	µ13	µ14	µ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	1,4142	1,6818	2,1892	2,4142	2,6034	2,6818	2,871	3,096	3,6034	3,871	4,096	4,2852	5,2852
Biểu diễn nhị phân của kênh	0	1	10	100	1000	11	101	110	1001	1010	1100	111	1011	1101	1110	1111
Trọng số Hamming (hw)	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Trọng số theo hàng (rw)	1	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	16
Trạng thái	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	PC	PC	PC	PC	PC	PC	Bit I	Bit I	Bit I	PC	Bit I

Kênh	μ0	μ1	μ2	μ3	μ4	μ5	μ6	μ7	μ8	μ9	μ10	μ11	μ12	μ13	μ14	μ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	2,1892	1,4142	2,4142	2,6034	3,6034	1,6818	2,6818	2,871	3,871	3,096	4,096	4,2852	5,2852

FIG. 6A

Kênh	μ0	μ1	μ2	μ4	μ8	μ3	μ5	μ6	μ9	μ10	μ12	μ7	μ11	μ13	μ14	μ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	1,4142	1,6818	2,1892	2,4142	2,6034	2,6818	2,871	3,096	3,6034	3,871	4,096	4,2852	5,2852

FIG. 6B

Kênh	μ0	μ1	μ2	μ4	μ8	μ3	μ5	μ6	μ9	μ10	μ12	μ7	μ11	μ13	μ14	μ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	1,4142	1,6818	2,1892	2,4142	2,6034	2,6818	2,871	3,096	3,6034	3,871	4,096	4,2852	5,2852
Biểu diễn nhị phân của kênh	0	1	10	100	1000	11	101	110	1001	1010	1100	111	1011	1101	1110	1111
Trọng số Hamming (hw)	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4

FIG. 6C

Kênh	μ0	μ1	μ2	μ4	μ8	μ3	μ5	μ6	μ9	μ10	μ12	μ7	μ11	μ13	μ14	μ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	1,4142	1,6818	2,1892	2,4142	2,6034	2,6818	2,871	3,096	3,6034	3,871	4,096	4,2852	5,2852
Biểu diễn nhị phân của kênh	0	1	10	100	1000	11	101	110	1001	1010	1100	111	1011	1101	1110	1111
Trọng số Hamming (hw)	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Trạng thái											DỰ TRỮ CHO PC				DỰ TRỮ CHO PC	

FIG. 6D

Kênh	μ0	μ1	μ2	μ4	μ8	μ3	μ5	μ6	μ9	μ10	μ12	μ7	μ11	μ13	μ14	μ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	1,4142	1,6818	2,1892	2,4142	2,6034	2,6818	2,871	3,096	3,6034	3,871	4,096	4,2852	5,2852
Biểu diễn nhị phân của kênh	0	1	10	100	1000	11	101	110	1001	1010	1100	111	1011	1101	1110	1111
Trọng số Hamming (hw)	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Trạng thái												Bit I	Bit I	Bit I		

FIG. 6E

Kênh	μ0	μ1	μ2	μ4	μ8	μ3	μ5	μ6	μ9	μ10	μ12	μ7	μ11	μ13	μ14	μ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	1,4142	1,6818	2,1892	2,4142	2,6034	2,6818	2,871	3,096	3,6034	3,871	4,096	4,2852	5,2852
Biểu diễn nhị phân của kênh	0	1	10	100	1000	11	101	110	1001	1010	1100	111	1011	1101	1110	1111
Trọng số Hamming (hw)	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Trạng thái	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	DỰ TRỮ CHO PC	Bit I	Bit I	Bit I	DỰ TRỮ CHO PC	Bit I

FIG. 6F

Kênh	μ0	μ1	μ2	μ4	μ8	μ3	μ5	μ6	μ9	μ10	μ12	μ7	μ11	μ13	μ14	μ15
Độ tin cậy	0	1	1,1892	1,4142	1,6818	2,1892	2,4142	2,6034	2,6818	2,871	3,096	3,6034	3,871	4,096	4,2852	5,2852
Biểu diễn nhị phân của kênh	0	1	10	100	1000	11	101	110	1001	1010	1100	111	1011	1101	1110	1111
Trọng số Hamming (hw)	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Trạng thái	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	Đóng băng	PC	PC	PC	PC	PC	PC	Bit I	Bit I	Bit I	PC	Bit I

FIG. 6G

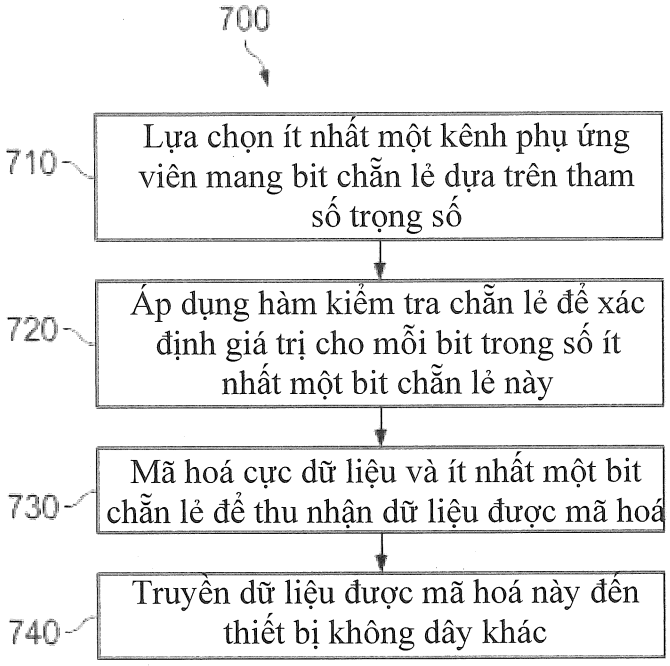

700
710
Lựa chọn ít nhất một kênh phụ ứng viên mang bit chẵn lẻ dựa trên tham số trọng số
720
Áp dụng hàm kiểm tra chẵn lẻ để xác định giá trị cho mỗi bit trong số ít nhất một bit chẵn lẻ này
730
Mã hoá cực dữ liệu và ít nhất một bit chẵn lẻ để thu nhận dữ liệu được mã hoá
740
Truyền dữ liệu được mã hoá này đến thiết bị không dây khác

FIG. 7

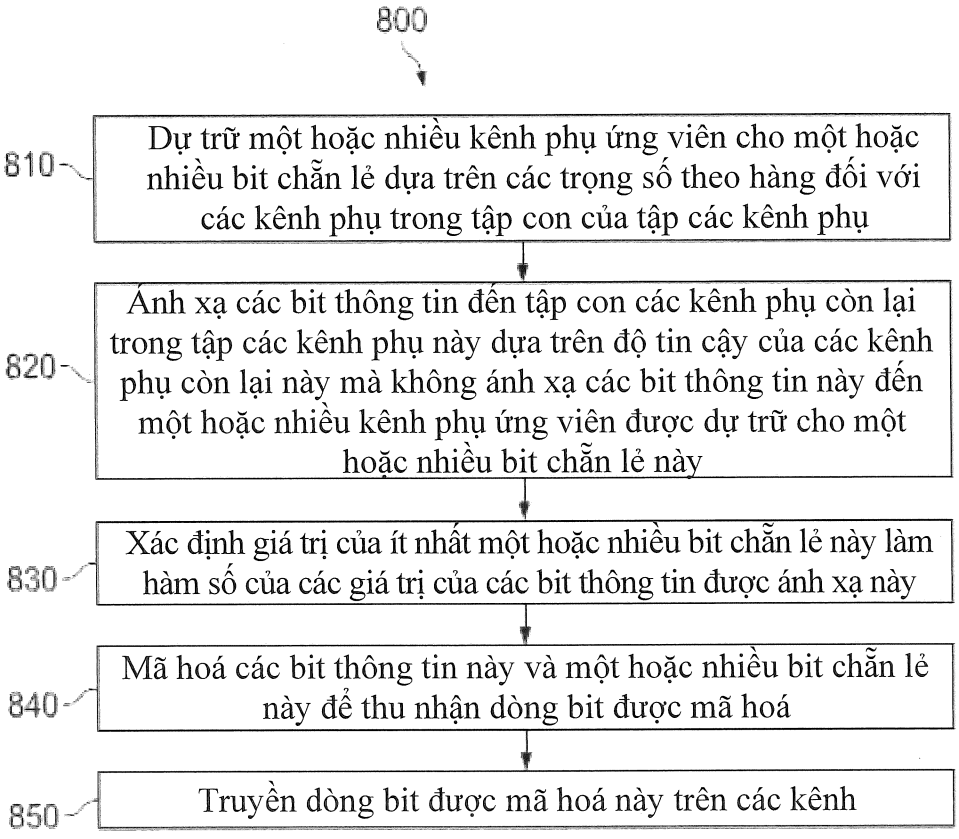

800
810
Dự trữ một hoặc nhiều kênh phụ ứng viên cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ dựa trên các trọng số theo hàng đối với các kênh phụ trong tập con của tập các kênh phụ
820
Ánh xạ các bit thông tin đến tập con các kênh phụ còn lại trong tập các kênh phụ này dựa trên độ tin cậy của các kênh phụ còn lại này mà không ánh xạ các bit thông tin này đến một hoặc nhiều kênh phụ ứng viên được dự trữ cho một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này
830
Xác định giá trị của ít nhất một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này làm hàm số của các giá trị của các bit thông tin được ánh xạ này
840
Mã hoá các bit thông tin này và một hoặc nhiều bit chẵn lẻ này để thu nhận dòng bit được mã hoá
850
Truyền dòng bit được mã hoá này trên các kênh

FIG. 8

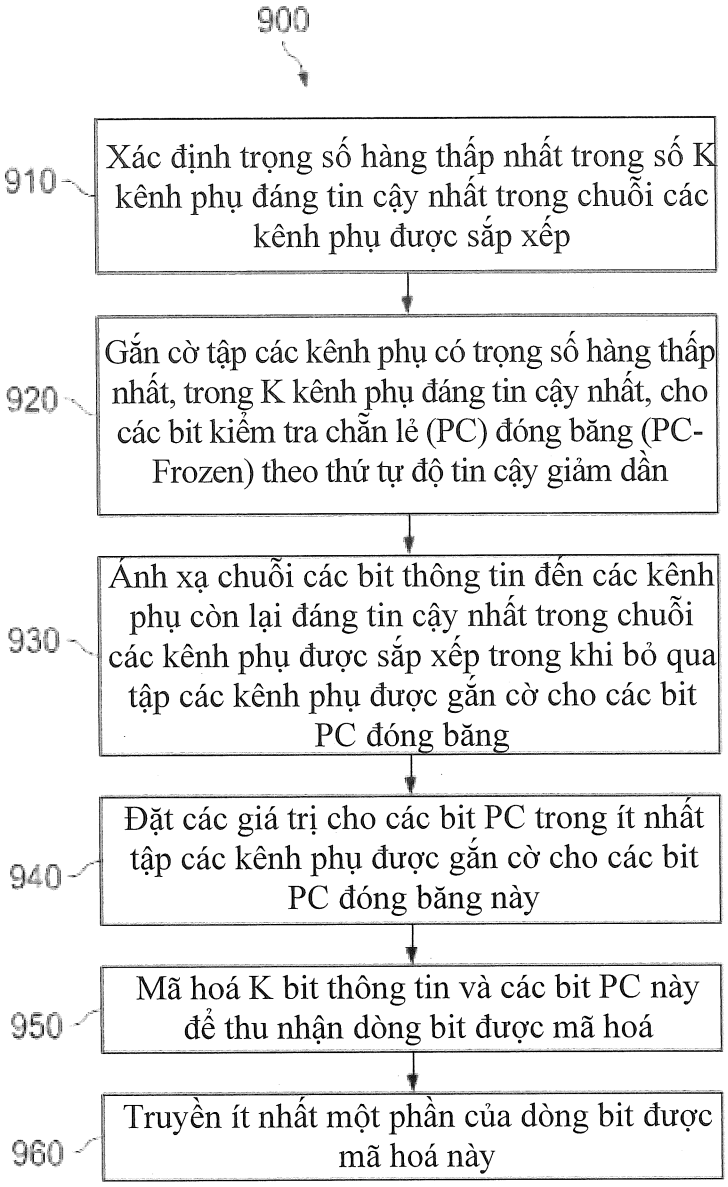

900
910
Xác định trọng số hàng thấp nhất trong số K kênh phụ đáng tin cậy nhất trong chuỗi các kênh phụ được sắp xếp
920
Gắn cờ tập các kênh phụ có trọng số hàng thấp nhất, trong K kênh phụ đáng tin cậy nhất, cho các bit kiểm tra chẵn lẻ (PC) đóng băng (PC-Frozen) theo thứ tự độ tin cậy giảm dần
930
Ánh xạ chuỗi các bit thông tin đến các kênh phụ còn lại đáng tin cậy nhất trong chuỗi các kênh phụ được sắp xếp trong khi bỏ qua tập các kênh phụ được gắn cờ cho các bit PC đóng băng
940
Đặt các giá trị cho các bit PC trong ít nhất tập các kênh phụ được gắn cờ cho các bit PC đóng băng này
950
Mã hoá K bit thông tin và các bit PC này để thu nhận dòng bit được mã hoá
960
Truyền ít nhất một phần của dòng bit được mã hoá này

FIG. 9

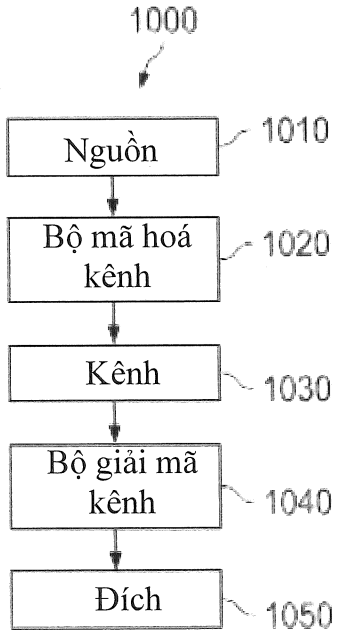

1000
Nguồn
1010
Bộ mã hoá kênh
1020
Kênh
1030
Bộ giải mã kênh
1040
Đích
1050

FIG. 10

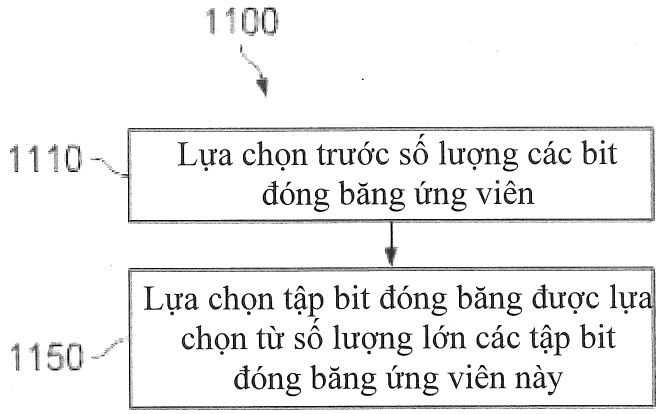

1100
1110
Lựa chọn trước số lượng các bit đóng băng ứng viên
1150
Lựa chọn tập bit đóng băng được lựa chọn từ số lượng lớn các tập bit đóng băng ứng viên này

FIG. 11

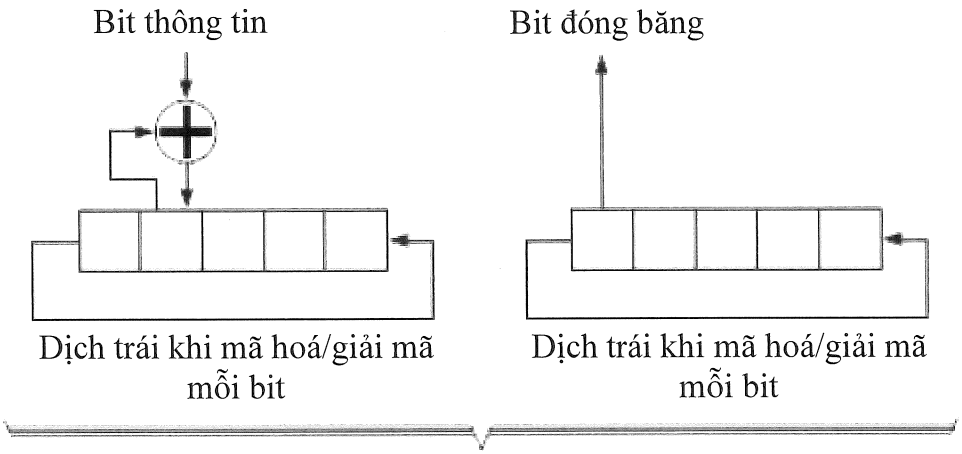

Bit thông tin
Bit đóng băng
Dịch trái khi mã hoá/giải mã mỗi bit
Dịch trái khi mã hoá/giải mã mỗi bit

FIG. 12

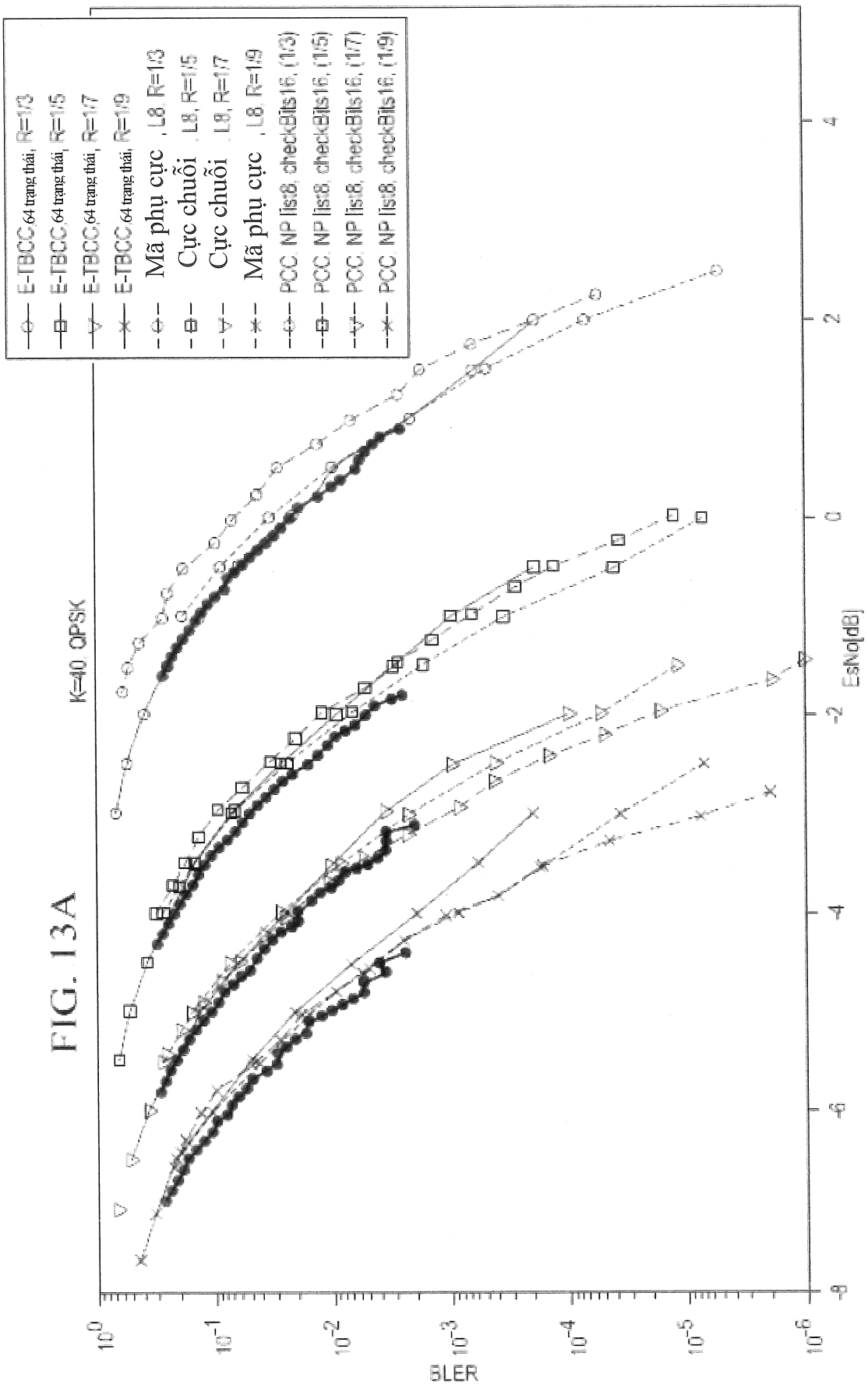

E-TBCC,64 trạng thái, R=1/3
E-TBCC,64 trạng thái, R=1/5
E-TBCC,64 trạng thái, R=1/7
E-TBCC,64 trạng thái, R=1/9
Mã phụ cực , L8 R=1/3
Cực chuỗi L8, R=1/5
Cực chuỗi L8, R=1/7
Mã phụ cực , L8 R=1/9
PCC, NP list8, checkBits16, (1/3)
PCC, NP list8, checkBits16, (1/5)
PCC, NP list8, checkBits16, (1/7)
PCC, NP list8, checkBits16, (1/9)
K=40 QPSK
SLER
Esh/o[dB]

FIG. 13A

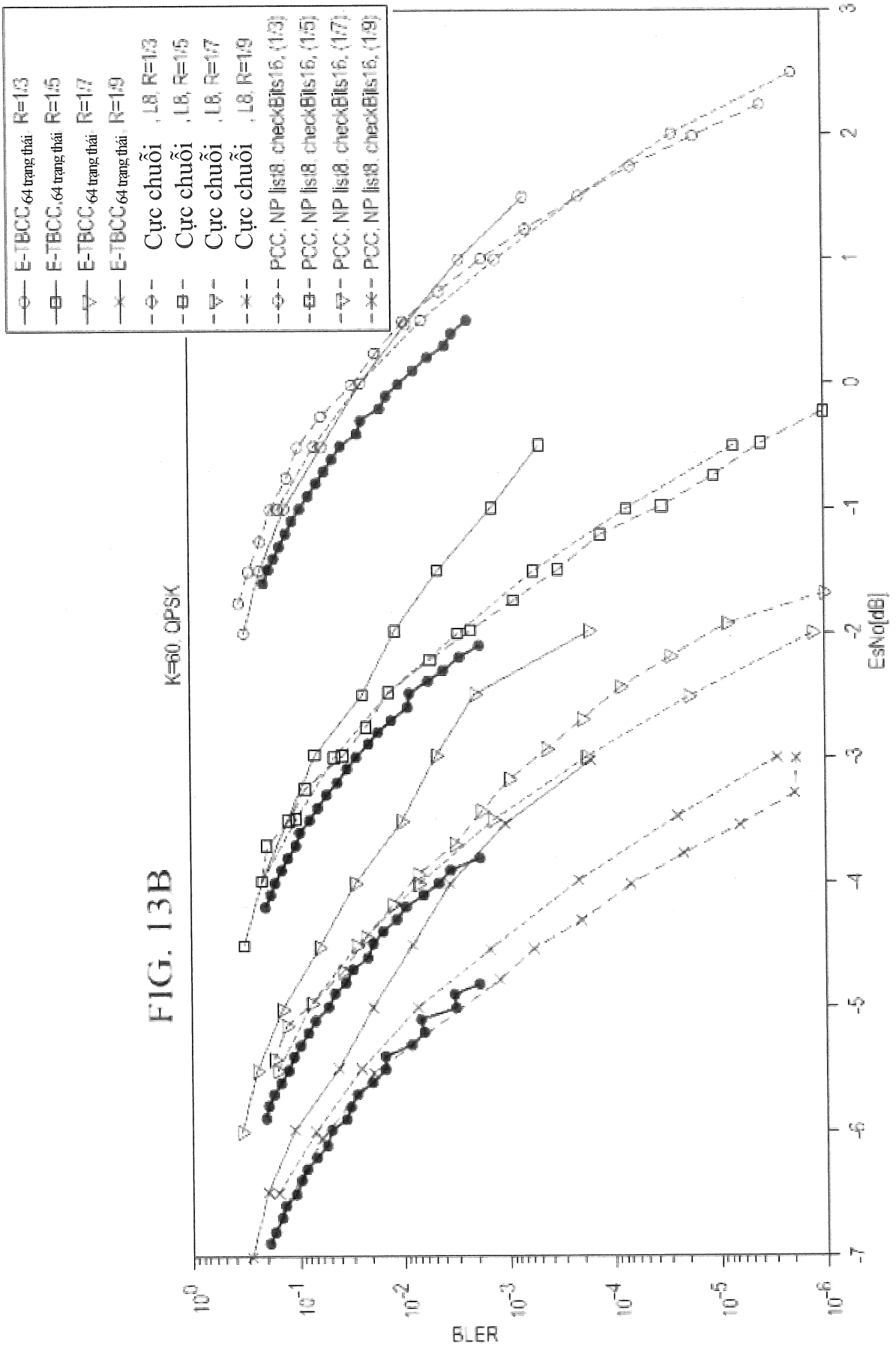

E-TBCC 64 trạng thái R=1/3
E-TBCC ,64 trạng thái R=1/5
E-TBCC 64 trạng thái R=1/7
E-TBCC 64 trạng thái R=1/9
Cực chuỗi , L8, R=1/3
Cực chuỗi , L8, R=1/5
Cực chuỗi , L8, R=1/7
Cực chuỗi , L8, R=1/9
PCC, NP list8, checkBits16, (1/3)
PCC, NP list8, checkBits16, (1/5)
PCC, NP list8, checkBits16, (1/7)
PCC, NP list8, checkBits16, (1/9)
K=60, QPSK
BLER
Es/No[dB]

FIG. 13B

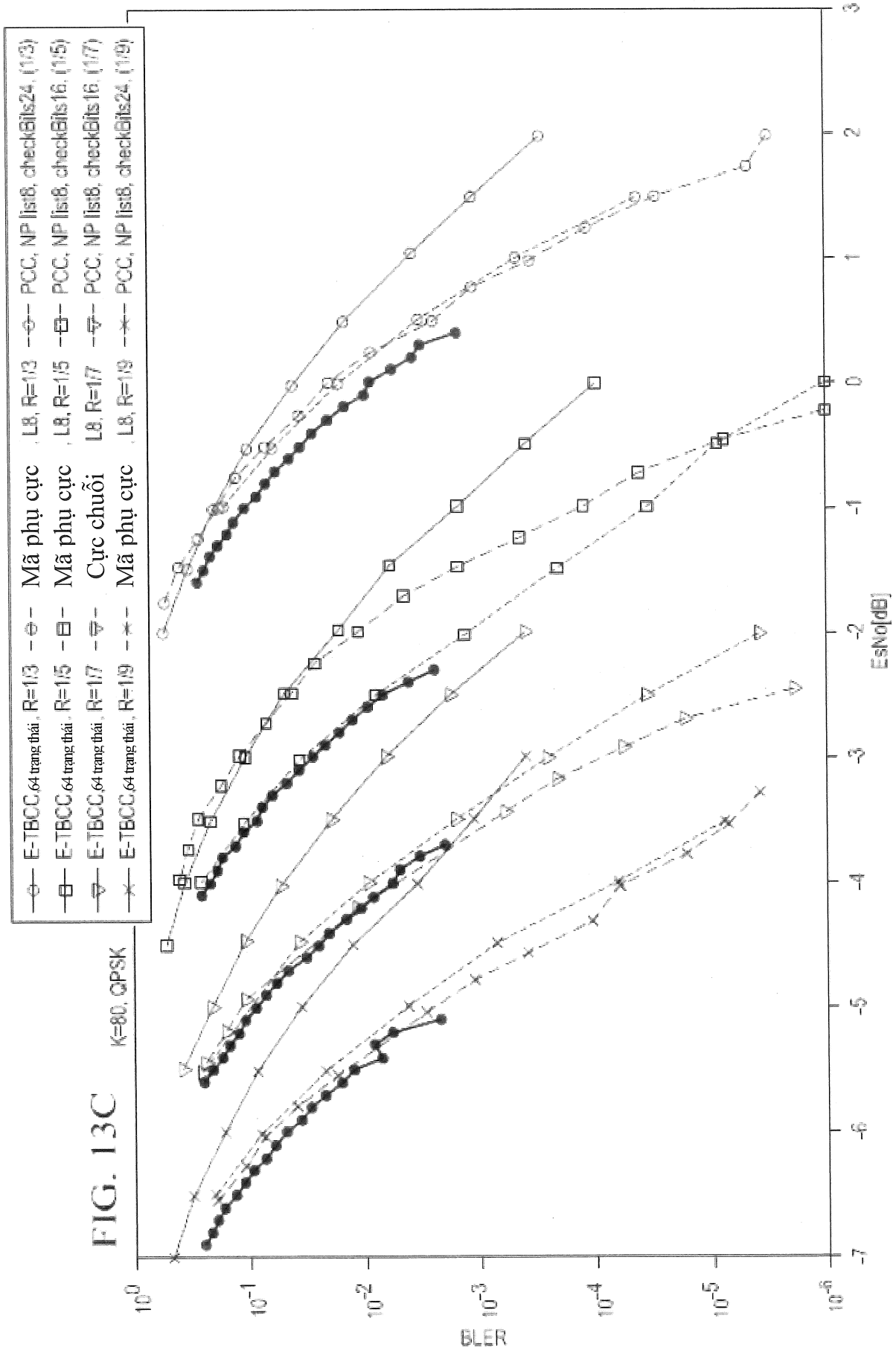

E-TBCC,64 trạng thái, R=1/3 Mã phụ cực, L8, R=1/3 PCC, NP list8, checkBits24, (1/3)
E-TBCC,64 trạng thái, R=1/5 Mã phụ cực, L8, R=1/5 PCC, NP list8, checkBits16, (1/5)
E-TBCC,64 trạng thái, R=1/7 Cực chuỗi L8, R=1/7 PCC, NP list8, checkBits16, (1/7)
E-TBCC,64 trạng thái, R=1/9 Mã phụ cực, L8, R=1/9 PCC, NP list8, checkBits24, (1/9)
K=80, QPSK
BLER
EsNo[dB]

FIG. 13C

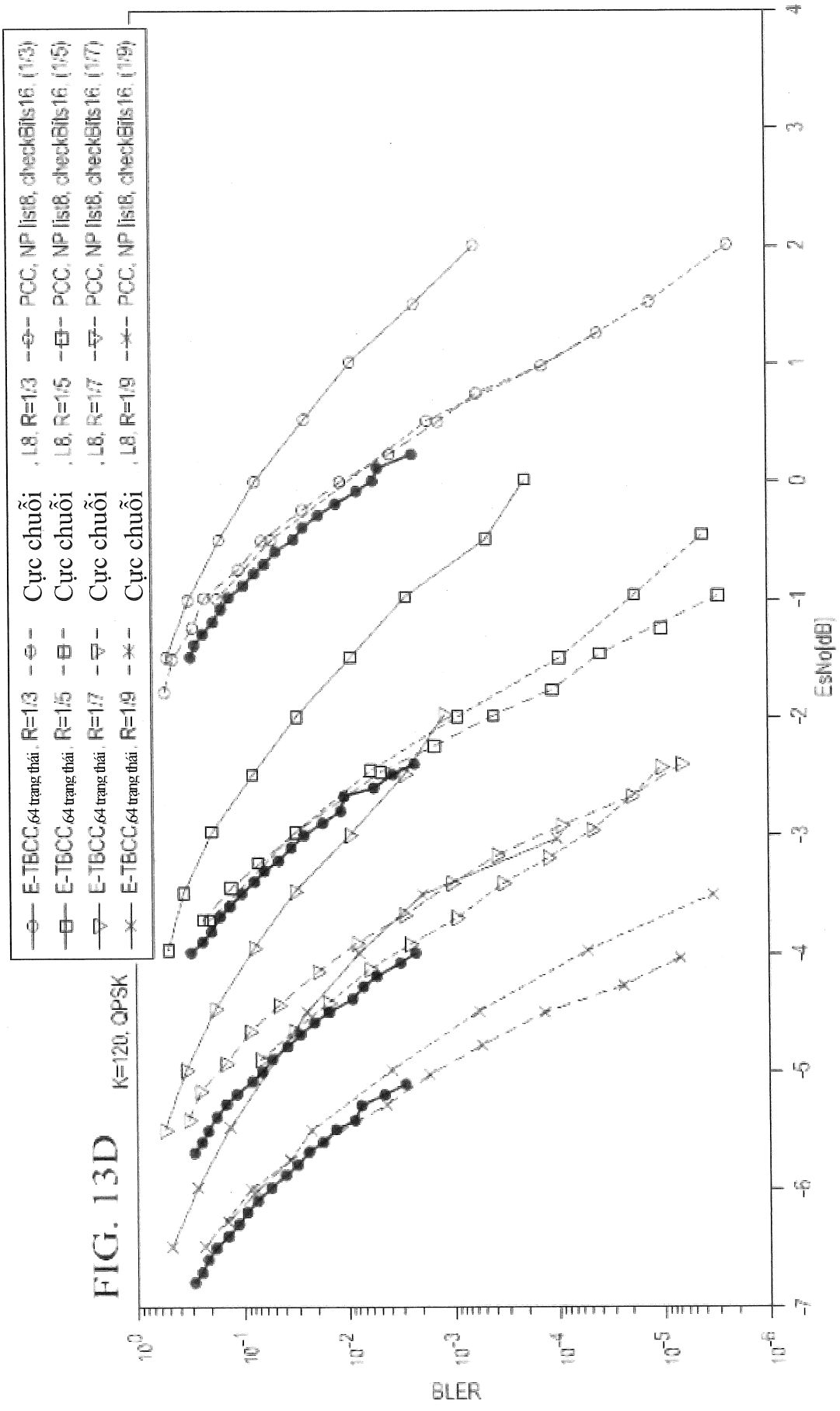

E-TBCC,64 trạng thái, R=1/3 Cực chuỗi, L8, R=1/3 PCC, NP list8, checkBits16, (1/3)
E-TBCC,64 trạng thái, R=1/5 Cực chuỗi, L8, R=1/5 PCC, NP list8, checkBits16, (1/5)
E-TBCC,64 trạng thái, R=1/7 Cực chuỗi, L8, R=1/7 PCC, NP list8, checkBits16, (1/7)
E-TBCC,64 trạng thái, R=1/9 Cực chuỗi, L8, R=1/9 PCC, NP list8, checkBits16, (1/9)
K=120, QPSK
BLER
EsNo[dB]

FIG. 13D

FIG. 14A

Các điểm E_S/N_0 nhận được trung bình
tại BLER=1e-2 cho QPSK

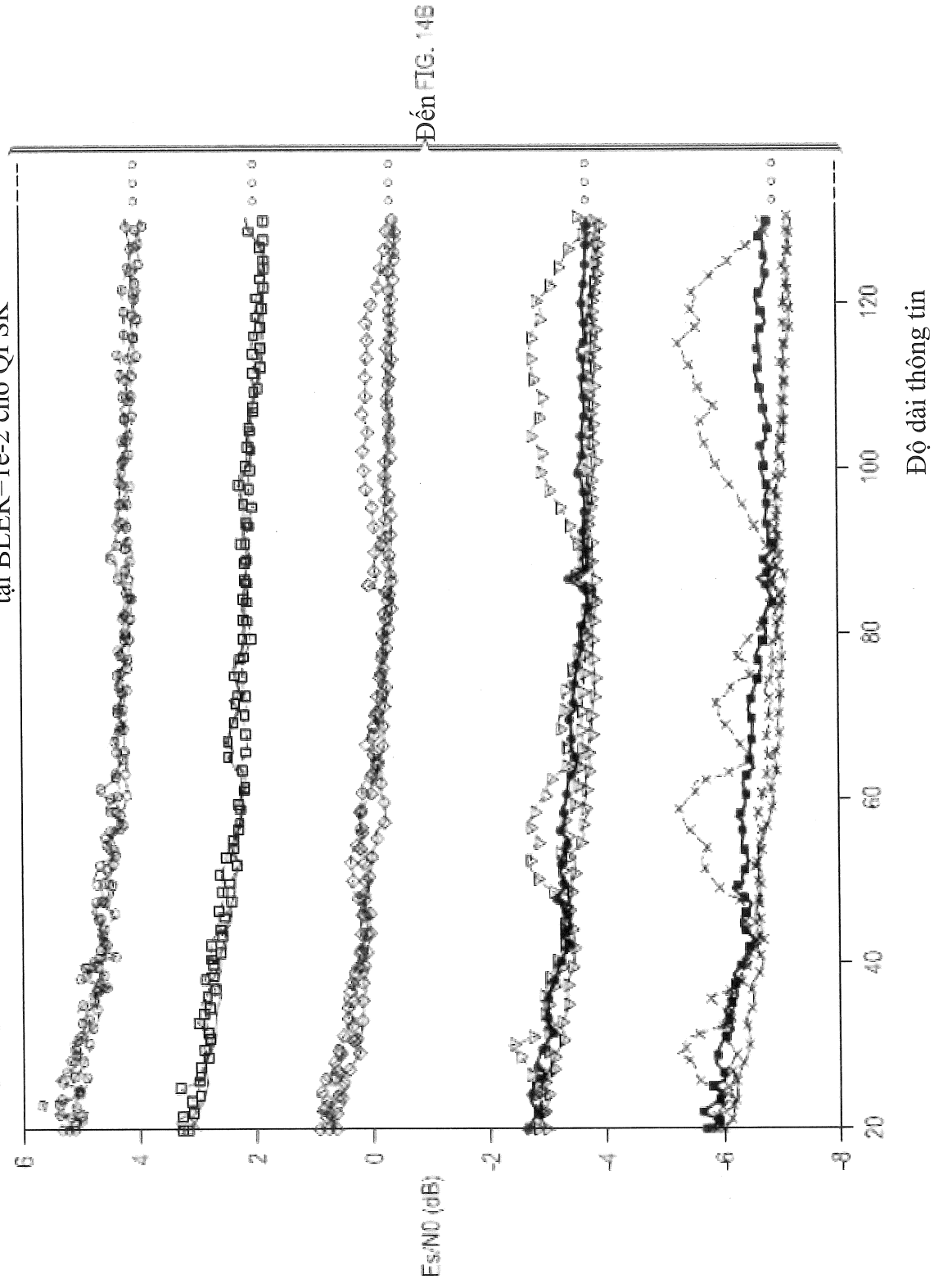
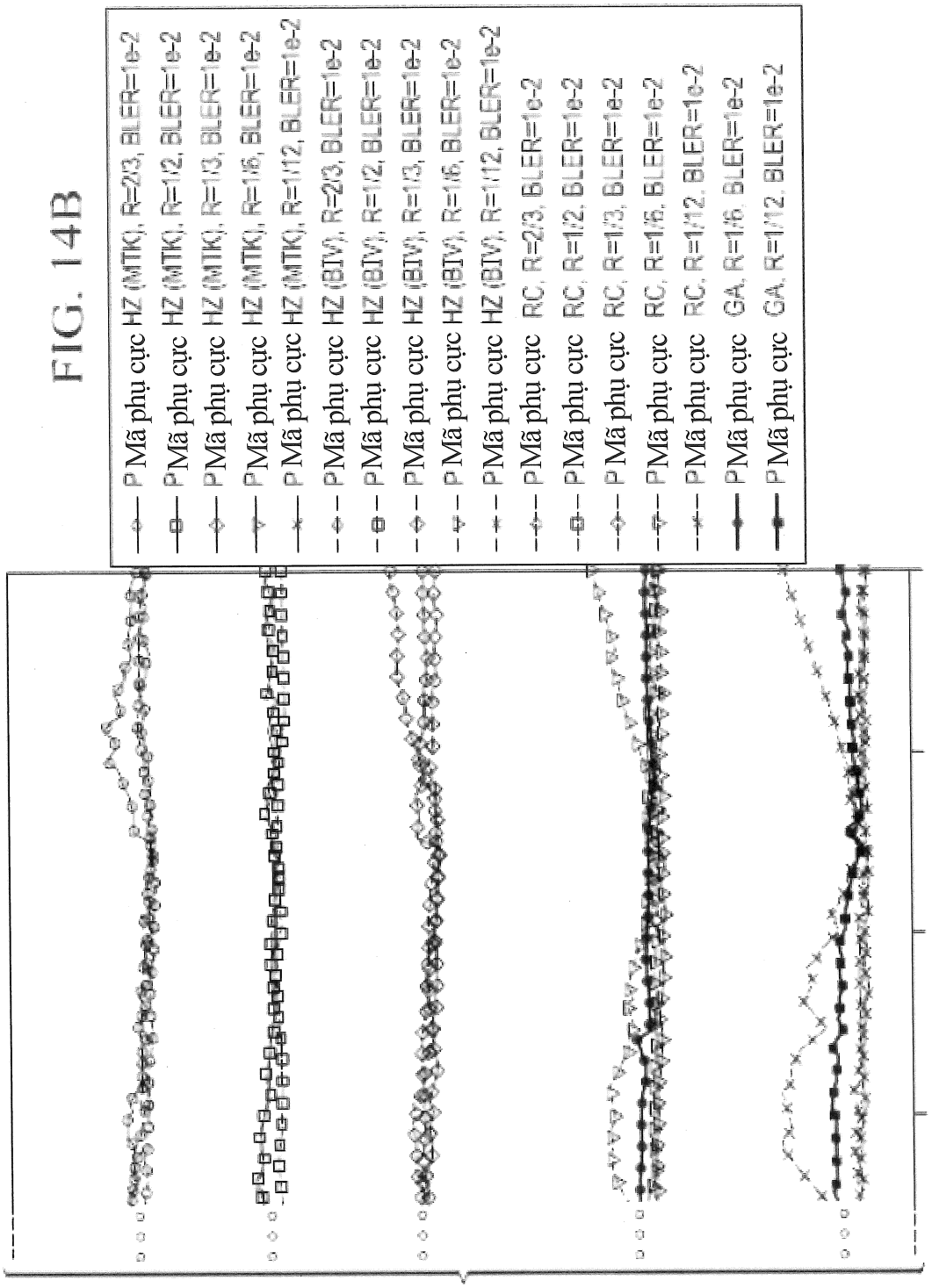


FIG. 14B



Từ FIG. 14A

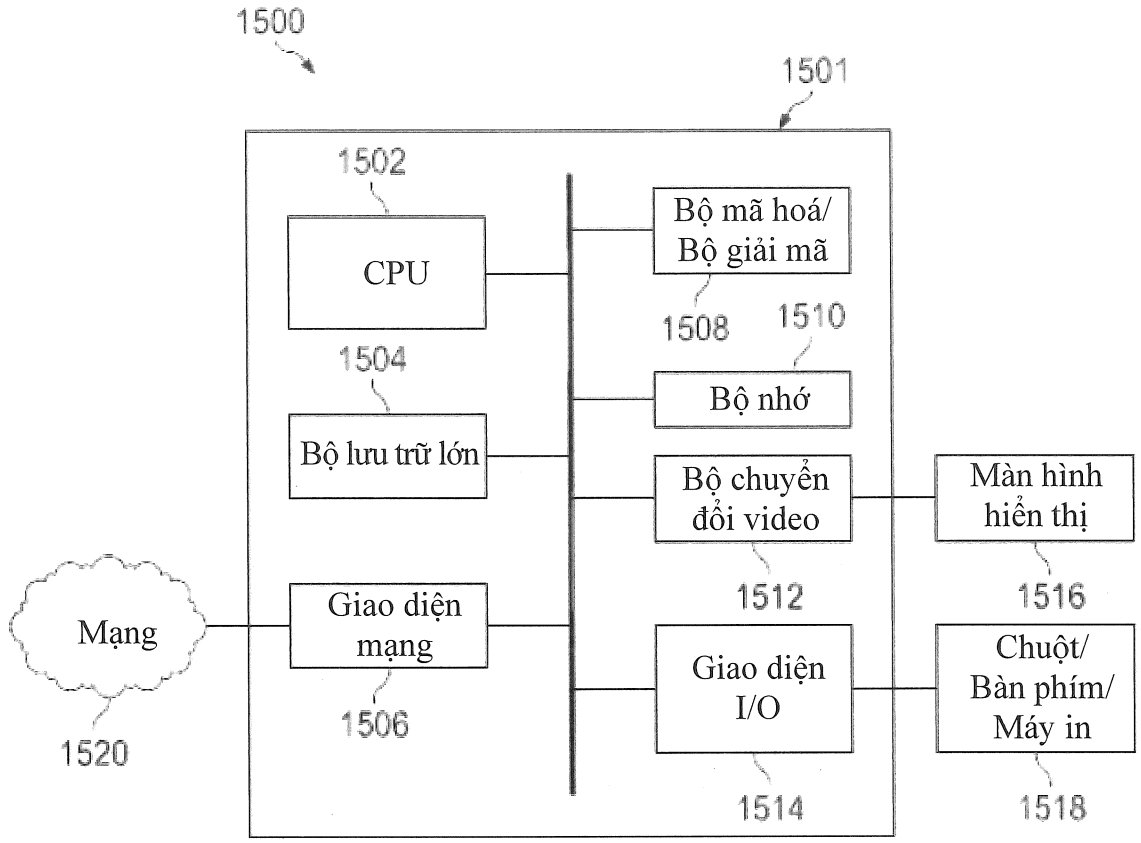

1500
1501
1502
CPU
1504
Bộ lưu trữ lớn
Giao diện mạng
1506
Mạng
1520
Bộ mã hoá/ Bộ giải mã
1508
1510
Bộ nhớ
Bộ chuyển đổi video
1512
Giao diện I/O
1514
Màn hình hiển thị
1516
Chuột/ Bàn phím/ Máy in
1518

FIG. 15

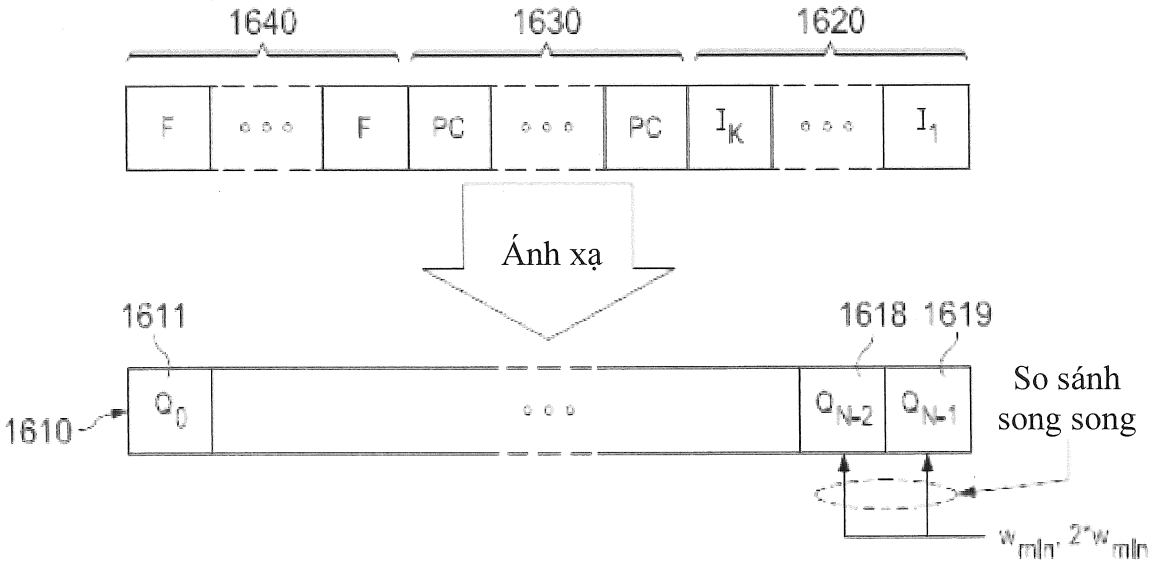

1640
1630
1620
F
PC
I_K
I_1
Ánh xạ
1611
1618
1619
1610
Q_0
Q_{N-2}
Q_{N-1}
So sánh song song
w_{min}, 2^*w_{min}

FIG. 16

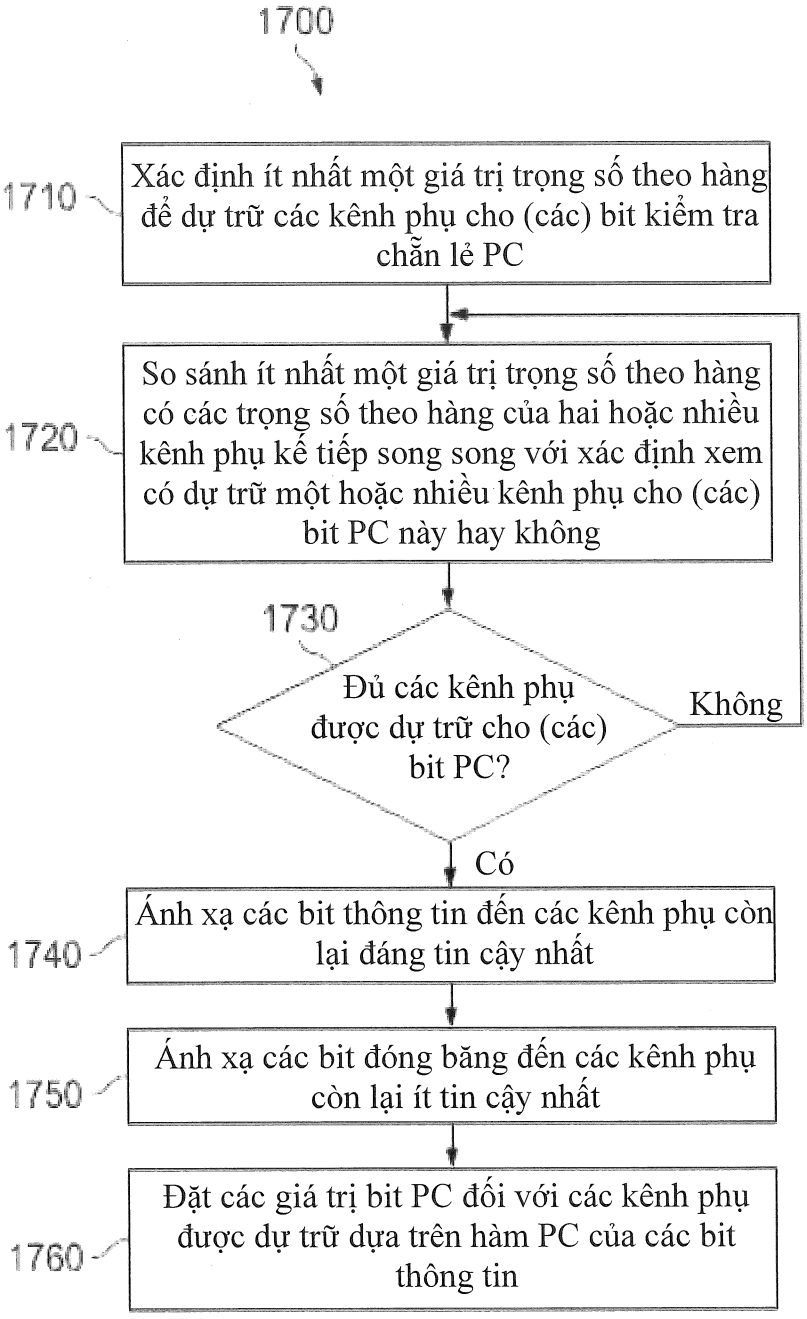

1700
1710
Xác định ít nhất một giá trị trọng số theo hàng để dự trữ các kênh phụ cho (các) bit kiểm tra chẵn lẻ PC
1720
So sánh ít nhất một giá trị trọng số theo hàng có các trọng số theo hàng của hai hoặc nhiều kênh phụ kế tiếp song song với xác định xem có dự trữ một hoặc nhiều kênh phụ cho (các) bit PC này hay không
1730
Đủ các kênh phụ được dự trữ cho (các) bit PC?
Không
Có
1740
Ánh xạ các bit thông tin đến các kênh phụ còn lại đáng tin cậy nhất
1750
Ánh xạ các bit đóng băng đến các kênh phụ còn lại ít tin cậy nhất
1760
Đặt các giá trị bit PC đối với các kênh phụ được dự trữ dựa trên hàm PC của các bit thông tin

FIG. 17

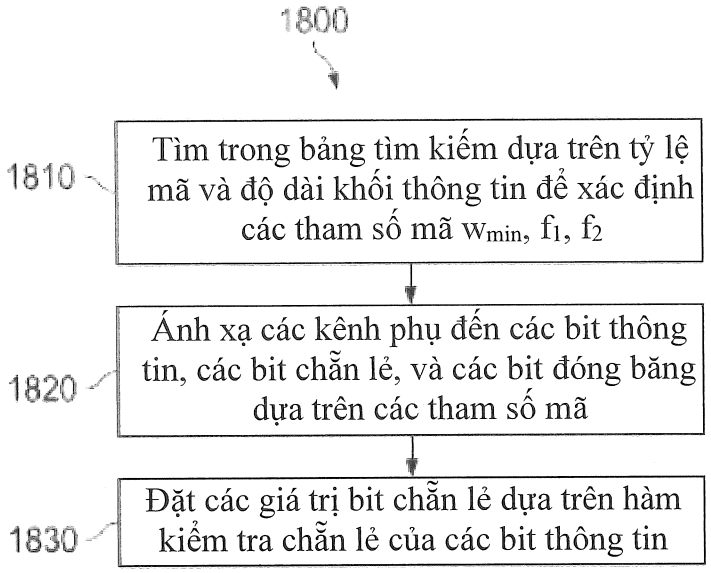

1800
1810
Tìm trong bảng tìm kiếm dựa trên tỷ lệ mã và độ dài khối thông tin để xác định các tham số mã w_{min}, f_1, f_2
1820
Ánh xạ các kênh phụ đến các bit thông tin, các bit chẵn lẻ, và các bit đóng băng dựa trên các tham số mã
1830
Đặt các giá trị bit chẵn lẻ dựa trên hàm kiểm tra chẵn lẻ của các bit thông tin

FIG. 18

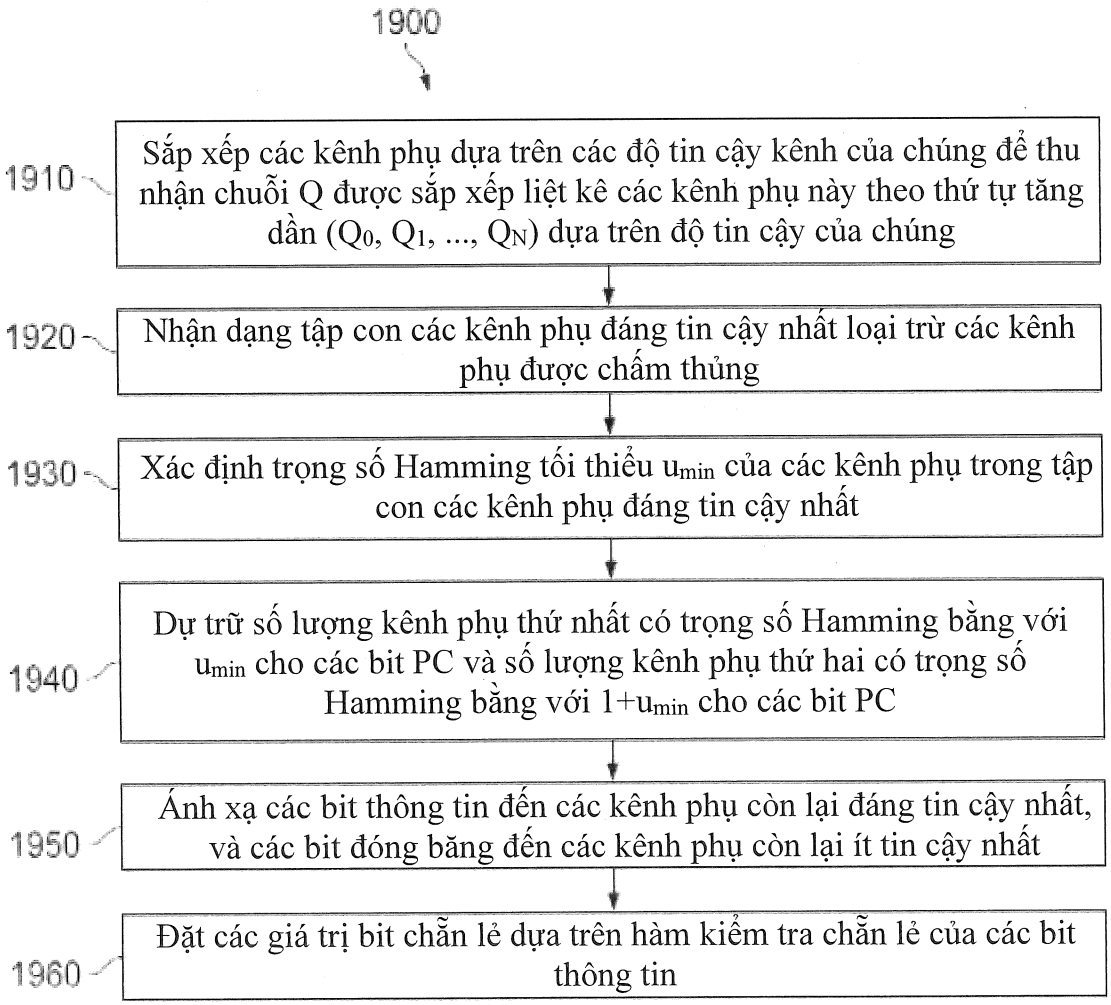

1900
1910
Sắp xếp các kênh phụ dựa trên các độ tin cậy kênh của chúng để thu nhận chuỗi Q được sắp xếp liệt kê các kênh phụ này theo thứ tự tăng dần (Q_0, Q_1, ..., Q_N) dựa trên độ tin cậy của chúng
1920
Nhận dạng tập con các kênh phụ đáng tin cậy nhất loại trừ các kênh phụ được chấm thủng
1930
Xác định trọng số Hamming tối thiểu u_{min} của các kênh phụ trong tập con các kênh phụ đáng tin cậy nhất
1940
Dự trữ số lượng kênh phụ thứ nhất có trọng số Hamming bằng với u_{min} cho các bit PC và số lượng kênh phụ thứ hai có trọng số Hamming bằng với $1+u_{min}$ cho các bit PC
1950
Ánh xạ các bit thông tin đến các kênh phụ còn lại đáng tin cậy nhất, và các bit đóng băng đến các kênh phụ còn lại ít tin cậy nhất
1960
Đặt các giá trị bit chẵn lẻ dựa trên hàm kiểm tra chẵn lẻ của các bit thông tin

FIG. 19

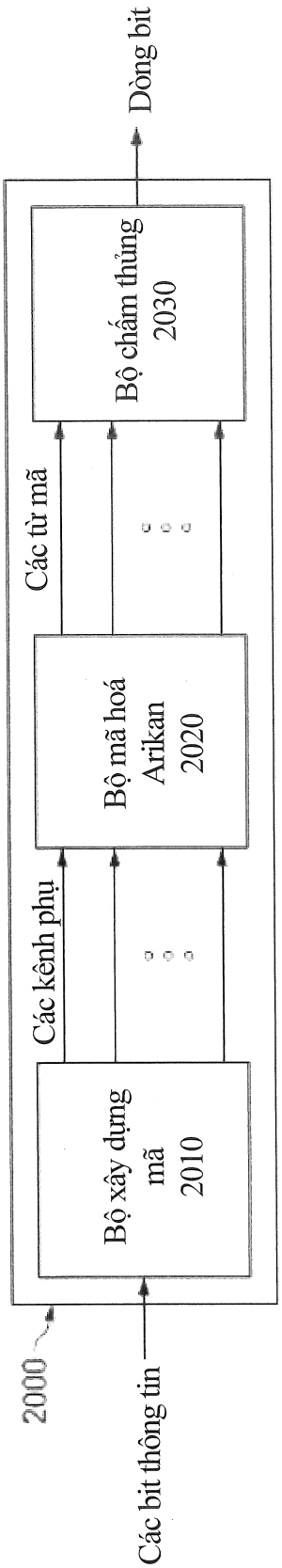


FIG. 20

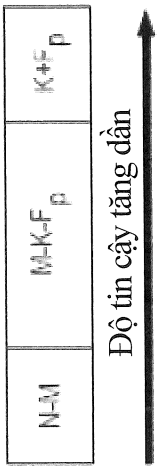


FIG. 21

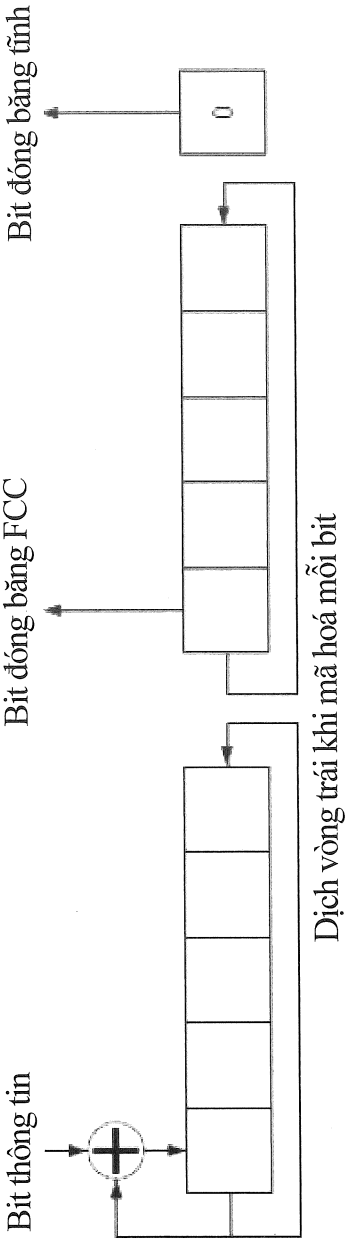


FIG. 22

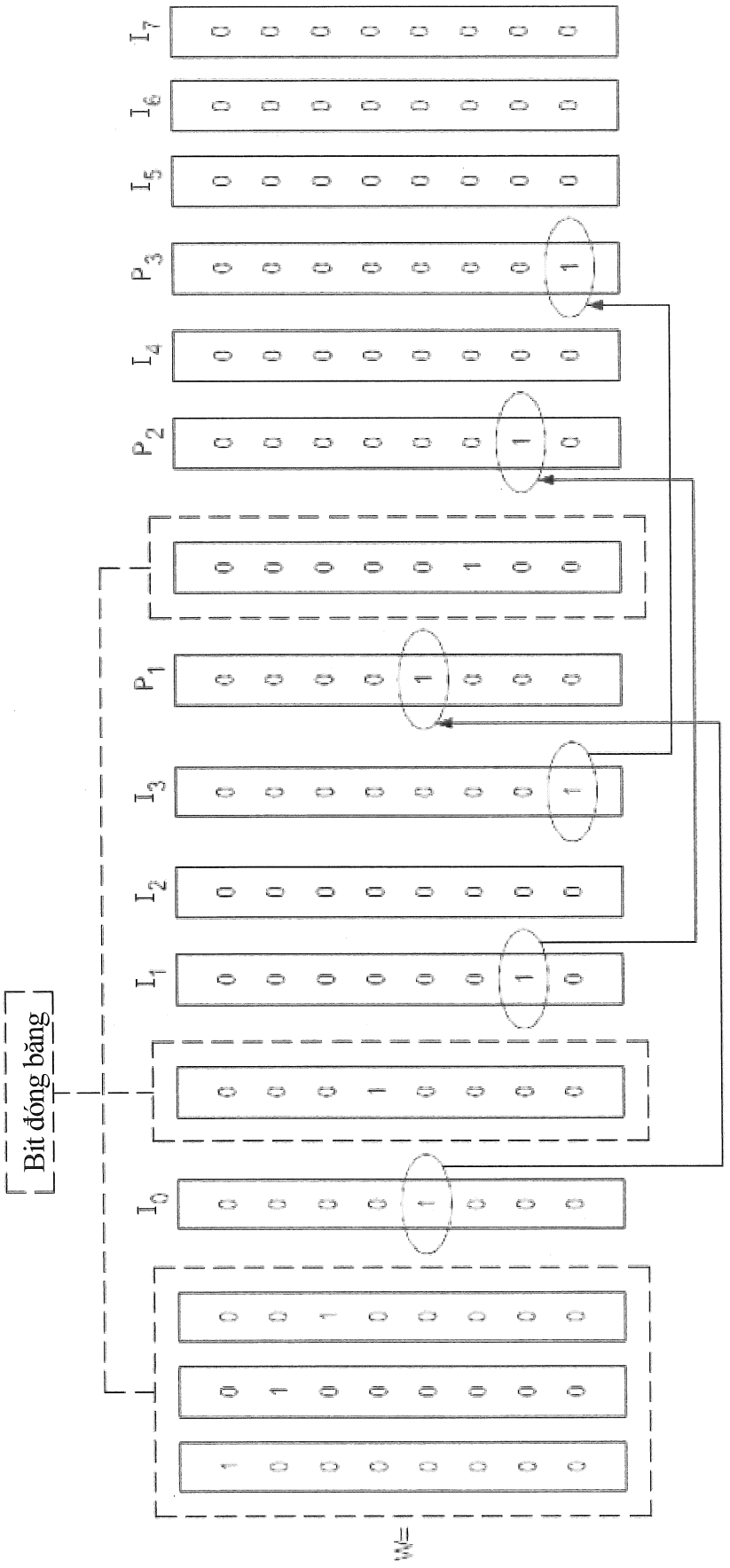


FIG. 23

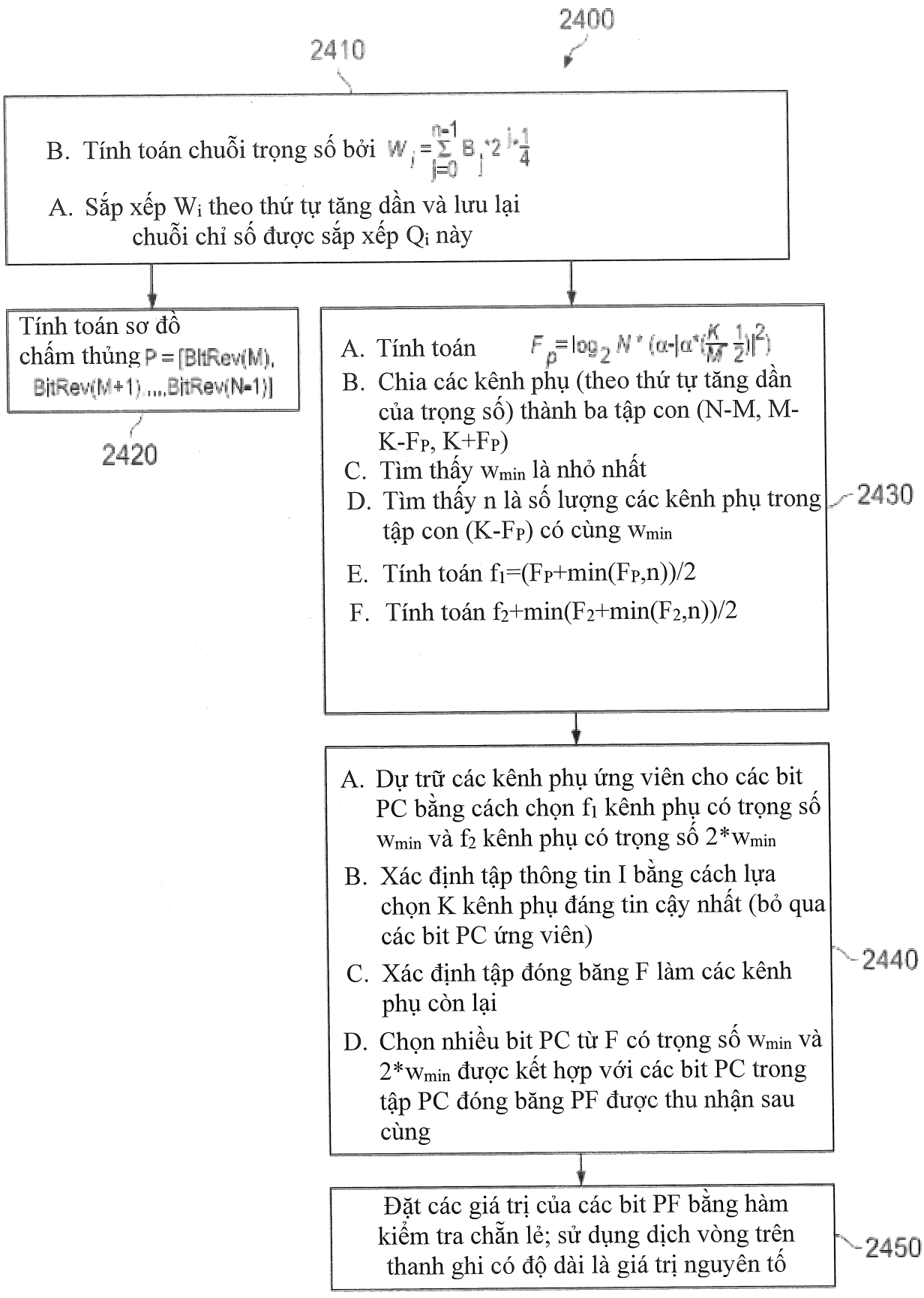

2400
2410
B. Tính toán chuỗi trọng số bởi $W_i = \sum_{j=0}^{n-1} B_j * 2^{\frac{j-1}{4}}$
A. Sắp xếp W_i theo thứ tự tăng dần và lưu lại chuỗi chỉ số được sắp xếp Q_i này
Tính toán sơ đồ chấm thủng P = [BitRev(M), BitRev(M+1), ...,BitRev(N-1)]
2420
A. Tính toán $F_p = \log_2 N * (\alpha - |\alpha * (\frac{K}{M} \frac{1}{2})|^2)$
B. Chia các kênh phụ (theo thứ tự tăng dần của trọng số) thành ba tập con (N-M, M-K-F_P, K+F_P)
C. Tìm thấy w_{min} là nhỏ nhất
D. Tìm thấy n là số lượng các kênh phụ trong tập con (K-F_P) có cùng w_{min}
E. Tính toán $f_1=(F_P+\min(F_P,n))/2$
F. Tính toán $f_2+\min(F_2+\min(F_2,n))/2$
2430
A. Dự trữ các kênh phụ ứng viên cho các bit PC bằng cách chọn f_1 kênh phụ có trọng số w_{min} và f_2 kênh phụ có trọng số $2*w_{min}$
B. Xác định tập thông tin I bằng cách lựa chọn K kênh phụ đáng tin cậy nhất (bỏ qua các bit PC ứng viên)
C. Xác định tập đóng băng F làm các kênh phụ còn lại
D. Chọn nhiều bit PC từ F có trọng số w_{min} và $2*w_{min}$ được kết hợp với các bit PC trong tập PC đóng băng PF được thu nhận sau cùng
2440
Đặt các giá trị của các bit PF bằng hàm kiểm tra chẵn lẻ; sử dụng dịch vòng trên thanh ghi có độ dài là giá trị nguyên tố
2450

FIG. 24

24/24

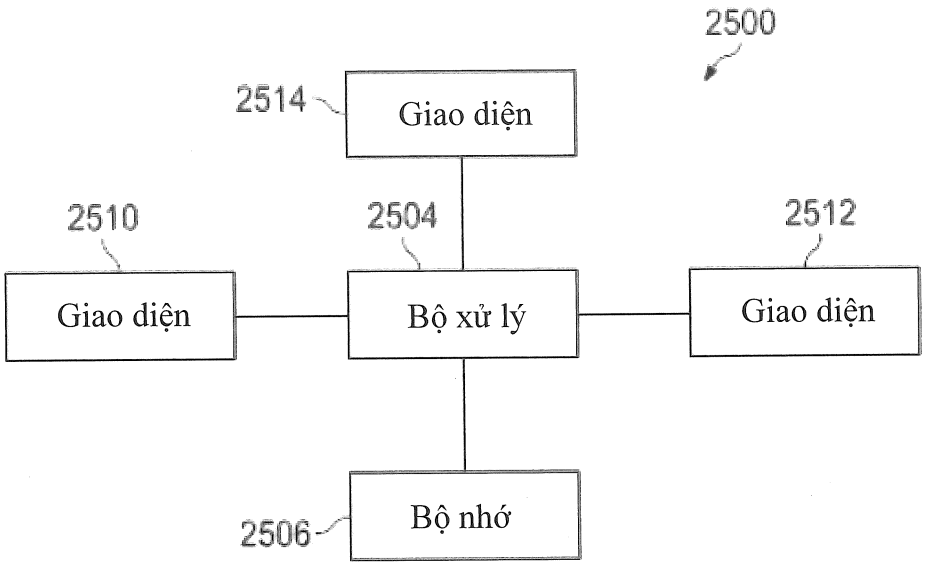


FIG. 25

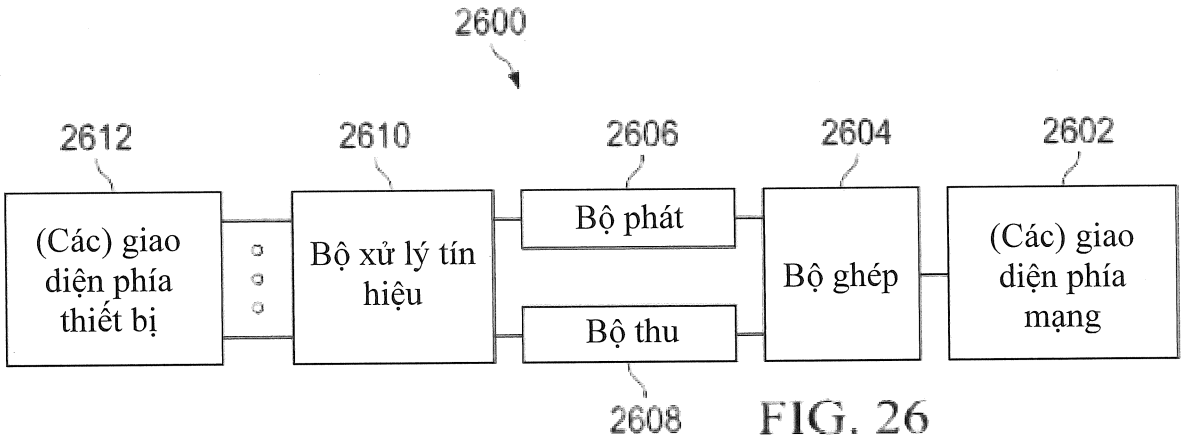


FIG. 26