



(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)



1-0039555

(51)^{2020.01} H03M 13/11

(13) B

(21) 1-2020-02262

(22) 13/06/2014

(62) 1-2016-00152

(86) PCT/KR2014/005204 13/06/2014

(87) WO 2014/200304 18/12/2014

(30) 61/835,096 14/06/2013 US; 61/841,502 01/07/2013 US; 61/862,208 05/08/2013 US;
10-2014- 0058599 15/05/2014 KR

(45) 25/04/2024 433

(43) 25/08/2020 389

(73) SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD. (KR)

129, Samsung-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 16677, Republic of Korea

(72) JEONG, Hong-sil (KR); MYUNG, Se-ho (KR); KIM, Kyung-joong (KR).

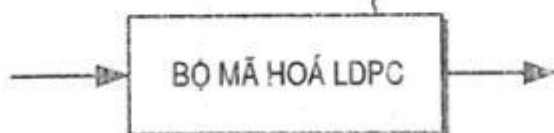
(74) Công ty TNHH Sở hữu trí tuệ WINCO (WINCO CO., LTD.)

(54) PHƯƠNG PHÁP TRUYỀN VÀ PHƯƠNG PHÁP THU TÍN HIỆU PHÁT RỘNG
TRUYỀN HÌNH

(57) Sáng chế đề cập đến thiết bị và phương pháp mã hóa và giải mã mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (Low Density Parity Check, LDPC). Thiết bị mã hóa này bao gồm bộ mã hóa LDPC để thực hiện bước mã hóa LDPC trên các bit đầu vào dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ để tạo ra từ mã LDPC có 64.800 bit, trong đó ma trận kiểm tra chẵn lẻ bao gồm ma trận con từ thông tin và ma trận con chẵn lẻ, ma trận con từ thông tin được tạo nên từ một nhóm gồm nhiều khối cột, mỗi khối cột có 360 cột, và trong đó ma trận kiểm tra chẵn lẻ và ma trận con từ thông tin được xác định theo nhiều bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ 360.

600

610



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến thiết bị và phương pháp mã hoá và giải mã mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (Low Density Parity Check, LDPC), và cụ thể hơn, sáng chế đề cập đến thiết bị và phương pháp mã hoá và giải mã mã LDPC thực hiện bước mã hoá và giải mã LDPC dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong hệ thống truyền thông/phát rộng, hiệu suất liên kết có thể suy giảm đáng kể do các loại tạp nhiễu, hiện tượng fading và nhiễu liên ký hiệu (Inter-Symbol Interference, ISI) của kênh. Vì vậy, để sử dụng các hệ thống truyền thông/phát rộng kỹ thuật số tốc độ cao cần có năng suất truyền dữ liệu cao và độ tin cậy cao như các hệ thống truyền thông di động thế hệ kế tiếp, hệ thống phát rộng kỹ thuật số, và mạng internet dùng cho các thiết bị cầm tay, thì phải phát triển các kỹ thuật khắc phục được tình trạng tạp nhiễu, fading và nhiễu liên ký hiệu. Một trong số những công trình nghiên cứu nhằm khắc phục tình trạng tạp nhiễu, v.v., là công trình nghiên cứu đã được thực hiện tích cực trong thời gian gần đây liên quan đến mã sửa lỗi, đó là phương pháp nâng cao độ tin cậy của các hệ thống truyền thông bằng cách khôi phục có hiệu quả những thông tin bị lỗi.

Mã LDPC đã được Gallager giới thiệu lần đầu tiên vào những năm 1960, nhưng lại bị lãng quên trong một thời gian rất dài vì nó phức tạp nên khó có thể áp dụng được với trình độ công nghệ vào thời đó. Tuy nhiên, vì hiệu suất của các mã turbo được Berrou, Glavieux và Thitimajshima đề xuất vào năm 1993 gần đạt đến dung lượng kênh Shannon, cho nên có nhiều công trình nghiên cứu đã được thực hiện liên quan đến kỹ thuật mã hoá kênh dựa vào phương pháp giải mã lặp và đồ thị mã hoá bằng cách thực hiện nhiều phép diễn dịch khác nhau dựa trên hiệu suất và đặc trưng của các mã turbo. Vì vậy, khi mã LDPC được nghiên cứu trở lại vào cuối những năm 1990, và khi các mã LDPC được giải mã bằng cách áp dụng phương pháp giải mã lặp dựa trên thuật toán tổng-tích cho các mã LDPC trên đồ thị Tanner tương ứng với các mã LDPC, thì đã nhận thấy rằng hiệu suất của các mã LDPC gần đạt đến dung lượng kênh Shannon.

Các mã LDPC thường được xác định dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ và được biểu diễn bằng cách sử dụng đồ thị hai phía thường được gọi là đồ thị Tanner.

Phần mô tả sáng chế dưới đây sẽ mô tả từ mã LDPC dựa vào Fig.1. Các mã LDPC được mã hoá LDPC bằng cách thu từ thông tin 102 có K_{ldpc} bit hoặc ký hiệu để tạo ra từ mã 100 có N_{ldpc} bit hoặc ký hiệu. Để cho dễ hiểu, dưới đây sẽ giả sử rằng từ mã 100 có N_{ldpc} bit được tạo ra bằng cách thu từ thông tin 102 có K_{ldpc} bit. Tức là khi từ thông tin $I = [i_0, i_1, i_2, \dots, i_{K_{ldpc}-1}]$ 102 được tạo nên từ K_{ldpc} bit đầu vào được mã hoá LDPC, thì từ mã $c = [c_0, c_1, c_2, c_3, \dots, c_{N_{ldpc}-1}]$ 100 được tạo ra. Nghĩa là, từ mã là một chuỗi bit gồm nhiều bit và mỗi bit của từ mã là mỗi bit tạo nên từ mã. Ngoài ra, từ thông tin là một chuỗi bit gồm nhiều bit và mỗi bit của từ thông tin là mỗi bit tạo nên từ thông tin. Trong trường hợp như vậy, đối với mã có hệ thống, từ mã được tạo nên từ $C = [c_0, c_1, c_2, \dots, c_{N_{ldpc}-1}] = [i_0, i_1, i_2, \dots, i_{K_{ldpc}-1}, p_0, p_1, p_2, \dots, p_{N_{ldpc}-K_{ldpc}-1}]$ bit. Trong đó, $P = [p_0, p_1, p_2, \dots, p_{N_{ldpc}-K_{ldpc}-1}]$ là phần chẵn lẻ 104 và số bit chẵn lẻ N_{parity} được xác định như sau:

$$N_{parity} = N_{ldpc} - K_{ldpc}.$$

Mã LDPC là một loại mã khối tuyến tính và có phương pháp xác định từ mã đáp ứng các điều kiện theo biểu thức toán học 1 dưới đây:

$$H \cdot c^T = [h_0 \quad h_1 \quad h_2 \quad \dots \quad h_{N_{ldpc}-1}] \cdot c^T = \sum_{i=0}^{N_{ldpc}-1} c_i \cdot h_i = 0 \quad (1)$$

trong đó $c = [c_0, c_1, c_2, \dots, c_{N_{ldpc}-1}]$.

Trong biểu thức toán học 1 nêu trên, H là ma trận kiểm tra chẵn lẻ, c là từ mã, c_i là bit thứ i của từ mã, và N_{ldpc} là độ dài từ mã. Trong đó, h_i là cột thứ i của ma trận kiểm tra chẵn lẻ H.

Ma trận kiểm tra chẵn lẻ H được tạo nên từ N_{ldpc} cột đúng bằng số lượng bit của từ mã LDPC. Biểu thức toán học 1 cho thấy rằng, vì tổng của tích của cột thứ i h_i của ma trận kiểm tra chẵn lẻ và bit thứ i c_i của từ mã phải bằng "0", cho nên cột thứ i h_i có quan hệ với bit thứ i c_i của từ mã.

Trong khi đó, hiệu suất của các mã LDPC có thể được xác định dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ. Vì vậy, cần phải thiết kế ma trận kiểm tra chẵn lẻ sao cho các mã LDPC có hiệu suất cao hơn.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Một hoặc nhiều phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế có thể khắc phục được các nhược điểm đã được nêu ở trên và các nhược điểm khác không được nêu ở trên. Tuy nhiên, các phương án này không nhất thiết phải khắc phục các nhược điểm nêu trên và có thể không giải quyết được vấn đề nào trong số các vấn đề nêu trên.

Theo một hoặc nhiều phương án làm ví dụ, sáng chế tạo ra phương pháp và thiết bị mã hoá và giải mã mã LDPC có khả năng nâng cao hiệu suất mã hoá và giải mã LDPC.

Theo khía cạnh của phương án làm ví dụ, sáng chế đề xuất thiết bị mã hoá có thể bao gồm: bộ mã hoá LDPC được tạo cấu hình để thực hiện bước mã hoá LDPC trên các bit đầu vào dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ để tạo ra từ mã LDPC có 64.800 bit, trong đó ma trận kiểm tra chẵn lẻ bao gồm ma trận con từ thông tin và ma trận con chẵn lẻ, và trong đó ma trận con từ thông tin được tạo nên từ nhiều khối cột, mỗi khối cột có 360 cột, và được xác định trong bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ 360.

Bộ mã hoá LDPC có thể thực hiện bước mã hoá LDPC bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 17 khi tỷ lệ mã bằng 6/15.

Bộ mã hoá LDPC có thể thực hiện bước mã hoá LDPC bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 14 khi tỷ lệ mã bằng 8/15.

Bộ mã hoá LDPC có thể thực hiện bước mã hoá LDPC bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 18 khi tỷ lệ mã bằng 10/15.

Bộ mã hoá LDPC có thể thực hiện bước mã hoá LDPC bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 16 khi tỷ lệ mã bằng 12/15.

Theo khía cạnh của phương án làm ví dụ khác, sáng chế đề xuất phương pháp mã hoá có thể bao gồm bước: tạo ra từ mã LDPC có 64.800 bit bằng cách thực hiện bước mã hoá LDPC trên các bit đầu vào dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ, trong đó ma trận kiểm tra chẵn lẻ bao gồm ma trận con từ thông tin và ma trận con chẵn lẻ, và trong đó ma trận con từ thông tin được tạo nên từ nhiều khối cột, mỗi khối cột có 360 cột, và được xác

định trong bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ 360.

Trong khi tạo ra từ mã LDPC, bước mã hoá LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 17 khi tỷ lệ mã bằng 6/15.

Trong khi tạo ra từ mã LDPC, bước mã hoá LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 14 khi tỷ lệ mã bằng 8/15.

Trong khi tạo ra từ mã LDPC, bước mã hoá LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 18 khi tỷ lệ mã bằng 10/15.

Trong khi tạo ra từ mã LDPC, bước mã hoá LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 16 khi tỷ lệ mã bằng 12/15.

Theo khía cạnh của phương án làm ví dụ khác nữa, sáng chế đề xuất thiết bị giải mã có thể bao gồm: bộ giải mã LDPC được tạo cấu hình để thực hiện bước giải mã LDPC trên từ mã LDPC có 64.800 bit dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ, trong đó ma trận kiểm tra chẵn lẻ bao gồm ma trận con từ thông tin và ma trận con chẵn lẻ, và trong đó ma trận con từ thông tin được tạo nên từ nhiều khối cột, mỗi khối cột có 360 cột, và được xác định trong bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ 360.

Bộ giải mã LDPC có thể thực hiện bước giải mã LDPC bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 17 khi tỷ lệ mã bằng 6/15.

Bộ giải mã LDPC có thể thực hiện bước giải mã LDPC bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 14 khi tỷ lệ mã bằng 8/15.

Bộ giải mã LDPC có thể thực hiện bước giải mã LDPC bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 18 khi tỷ lệ mã bằng 10/15.

Bộ giải mã LDPC có thể thực hiện bước giải mã LDPC bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 16 khi tỷ lệ mã bằng 12/15.

Theo khía cạnh của phương án làm ví dụ khác nữa, sáng chế đề xuất phương pháp

giải mã có thể bao gồm bước: thực hiện bước giải mã LDPC trên từ mã LDPC có 64.800 bit dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ, trong đó ma trận kiểm tra chẵn lẻ bao gồm ma trận con từ thông tin và ma trận con chẵn lẻ, và trong đó ma trận con từ thông tin được tạo nên từ nhiều khối cột, mỗi khối cột có 360 cột, và được xác định trong bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ 360.

Trong khi thực hiện bước giải mã LDPC, bước giải mã LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 17 khi tỷ lệ mã bằng 6/15.

Trong khi thực hiện bước giải mã LDPC, bước giải mã LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 14 khi tỷ lệ mã bằng 8/15.

Trong khi thực hiện bước giải mã LDPC, bước giải mã LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 18 khi tỷ lệ mã bằng 10/15.

Trong khi thực hiện bước giải mã LDPC, bước giải mã LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 16 khi tỷ lệ mã bằng 12/15.

Theo các phương án làm ví dụ nêu trên, có thể nâng cao hiệu suất mã hoá và giải mã LDPC.

Các khía cạnh và ưu điểm bổ sung và/hoặc các khía cạnh và ưu điểm khác của các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế sẽ được mô tả một phần trong phần mô tả sáng chế dưới đây và sẽ được hiểu rõ một phần sau khi xem bản mô tả sáng chế này, hoặc có thể được biết rõ hoàn toàn sau khi thực hiện các phương án đó.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các khía cạnh nêu trên và/hoặc các khía cạnh khác của sáng chế sẽ được hiểu rõ hơn sau khi xem phần mô tả một số phương án thực hiện sáng chế kết hợp với các hình vẽ kèm theo, trong đó:

Fig.1 là sơ đồ thể hiện từ mã của mã LDPC có hệ thống;

Fig.2 là sơ đồ thể hiện ma trận kiểm tra chẵn lẻ và đồ thị nhân tử của các mã thông thường (8, 2, 4).

Fig.3 là sơ đồ thể hiện ma trận kiểm tra chẵn lẻ theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.4 là sơ đồ thể hiện ma trận kiểm tra chẵn lẻ được tạo ra bằng cách hoán vị hàng và cột của ma trận kiểm tra chẵn lẻ trên Fig.3 theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.5A và Fig.5B là các sơ đồ thể hiện nút kiểm tra và nút thay đổi dùng để giải mã LDPC theo các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.6 là sơ đồ khối thể hiện cấu hình của thiết bị mã hoá theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.7 là sơ đồ khối thể hiện cấu hình của thiết bị truyền tín hiệu theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.8 là sơ đồ khối thể hiện cấu hình của thiết bị giải mã theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.9 là sơ đồ khối thể hiện thiết bị giải mã theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.10 là sơ đồ khối thể hiện cấu hình của thiết bị thu theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.11 và Fig.12 là các sơ đồ thể hiện hiệu quả đạt được khi thực hiện bước mã hoá LDPC theo các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.13 là lưu đồ thể hiện phương pháp mã hoá theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế; và

Fig.14 là lưu đồ thể hiện phương pháp giải mã theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế sẽ được mô tả chi tiết dưới đây dựa

vào các hình vẽ kèm theo. Ngoài ra, trong phần mô tả các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế sẽ không mô tả chi tiết các chức năng hoặc cấu trúc đã biết để tránh làm mờ giải pháp kỹ thuật của sáng chế vì những chi tiết không cần thiết.

Kỹ thuật mã hoá và giải mã LDPC trong hệ thống truyền thông/phát rộng theo các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế sẽ được mô tả dưới đây.

Trong phần mô tả các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế dưới đây có sử dụng các tên gọi và thuật ngữ được xác định trong hệ thống theo tiêu chuẩn truyền hình phát rộng kỹ thuật số trên mặt đất thế hệ thứ hai (Digital Video Broadcasting the Second Generation Terrestrial, DVB-T2), đây là một trong số các tiêu chuẩn phát rộng kỹ thuật số của châu Âu, và hệ thống theo tiêu chuẩn truyền hình phát rộng kỹ thuật số của khu vực Bắc Mỹ, Advanced Television Systems Committee (ATSC) 3.0, đang được xây dựng thành tiêu chuẩn. Tuy nhiên, phạm vi áp dụng của sáng chế không bị giới hạn ở các tên gọi và thuật ngữ đó, sáng chế có thể được áp dụng tương tự cho các hệ thống khác.

Đồ thị biểu diễn phương pháp mã hoá và giải mã LDPC sẽ được mô tả dựa vào Fig.2.

Fig.2 là sơ đồ thể hiện ví dụ về ma trận kiểm tra chẵn lẻ H_1 của các mã LDPC được tạo nên từ bốn (4) hàng và tám (8) cột. Ma trận kiểm tra chẵn lẻ H_1 được biểu diễn bằng đồ thị Tanner. Dựa vào Fig.2, ma trận kiểm tra chẵn lẻ H_1 có tám (8) cột, và do đó, từ mã có độ dài bằng tám (8) được tạo ra. Các mã được tạo ra dựa trên ma trận H_1 là các mã LDPC, và mỗi cột của ma trận H_1 tương ứng với tám (8) bit mã hoá.

Dựa vào Fig.2, đồ thị Tanner cho các mã LDPC được mã hoá và giải mã dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ H_1 được tạo nên từ tám (8) nút thay đổi, đó là x_1 202, x_2 204, x_3 206, x_4 208, x_5 210, x_6 212, x_7 214 và x_8 216, và bốn nút kiểm tra 218, 220, 222 và 224. Ở đây, cột thứ i và hàng thứ j của ma trận kiểm tra chẵn lẻ H_1 của các mã LDPC lần lượt tương ứng với nút thay đổi x_i và nút kiểm tra thứ j . Ngoài ra, giá trị một (1) ở giao điểm của cột thứ i và hàng thứ j của ma trận kiểm tra chẵn lẻ H_1 của các mã LDPC, tức là giá trị khác không, chỉ báo rằng có cạnh nối giữa nút thay đổi x_i và nút kiểm tra thứ j trên đồ thị Tanner như được thể hiện trên Fig.2.

Bậc của nút thay đổi và nút kiểm tra trên đồ thị Tanner của các mã LDPC biểu thị

số cạnh được nối với mỗi nút, số cạnh này đúng bằng số lượng mục khác không trong một hàng hoặc một cột tương ứng với nút tương ứng trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ của các mã LDPC. Ví dụ, trên Fig.2, bậc của các nút thay đổi x_1 202, x_2 204, x_3 206, x_4 208, x_5 210, x_6 212, x_7 214 và x_8 216 lần lượt bằng 4, 3, 3, 3, 2, 2, 2 và 2, còn bậc của các nút kiểm tra 218, 220, 222 và 224 lần lượt bằng 6, 5, 5 và 5. Ngoài ra, số lượng mục khác không trong mỗi cột của ma trận kiểm tra chẵn lẻ H_1 trên Fig.2 tương ứng với các nút thay đổi trên Fig.2 lần lượt phù hợp với các bậc 4, 3, 3, 3, 2, 2, 2 và 2, và số lượng mục khác không trong mỗi hàng của ma trận kiểm tra chẵn lẻ H_1 trên Fig.2 tương ứng với các nút kiểm tra trên Fig.2 lần lượt phù hợp với các bậc 6, 5, 5 và 5.

Các mã LDPC có thể được giải mã bằng cách áp dụng phương pháp giải mã lặp dựa vào thuật toán tổng-tích trên đồ thị hai phía được thể hiện trên Fig.2. Ở đây, thuật toán tổng-tích là một loại thuật toán truyền thông báo, và thuật toán truyền thông báo là thuật toán trao đổi các thông báo qua các cạnh nối trên đồ thị hai phía và tính các thông báo xuất ra bằng cách sử dụng các thông báo nhập vào ở các nút thay đổi hoặc các nút kiểm tra để cập nhật thông báo.

Ở đây, giá trị của bit mã hoá thứ i có thể được xác định dựa vào thông báo của nút thay đổi thứ i . Quyết định mềm và quyết định cứng có thể được thực hiện trên giá trị của bit mã hoá thứ i . Vì vậy, hiệu suất của bit thứ i c_i của từ mã LDPC tương ứng với hiệu suất của nút thay đổi thứ i , hiệu suất này có thể được xác định dựa vào vị trí và số lượng của các giá trị một (1) trong cột thứ i của ma trận kiểm tra chẵn lẻ. Tức là hiệu suất của N_{ldpc} bit của từ mã được xác định dựa vào vị trí và số lượng của các giá trị một (1) trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ.

Các đặc trưng của ma trận kiểm tra chẵn lẻ của các mã LDPC có cấu trúc cụ thể sẽ được mô tả dưới đây dựa vào Fig.3.

Fig.3 thể hiện ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Ma trận kiểm tra chẵn lẻ được thể hiện trên Fig.3 có cấu trúc có thể mã hoá và giải mã mã có hệ thống, trong đó từ mã chứa từ thông tin gốc. Ma trận kiểm tra chẵn lẻ theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế sẽ được mô tả dưới đây dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ trên Fig.3, tuy nhiên phạm vi áp dụng của sáng chế không bị giới hạn ở ma trận kiểm tra chẵn lẻ như được thể hiện trên Fig.3.

Trên Fig.3, N_{ldpc} là độ dài của từ mã LDPC và K_{ldpc} là độ dài của từ thông tin. Độ dài của từ mã hoặc độ dài của từ thông tin lần lượt biểu thị số lượng bit có trong từ mã hoặc từ thông tin. M là khoảng lặp lại của một mẫu cột trong ma trận con 310 (dưới đây được gọi là ma trận con từ thông tin) tương ứng với từ thông tin và Q_{ldpc} là khoảng cách dịch chuyển tuần hoàn của mỗi cột trong ma trận con từ thông tin 310, trong đó giá trị của số nguyên M và Q_{ldpc} được xác định theo biểu thức $Q_{ldpc} = (N_{ldpc} - K_{ldpc})/M$. Ở đây, K_{ldpc}/M cũng là số nguyên. Giá trị của M và Q_{ldpc} có thể thay đổi tùy thuộc vào độ dài của từ mã và tỷ lệ mã (hoặc tỷ lệ mã hoá).

Dựa vào Fig.3, ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 được phân chia ra thành ma trận con từ thông tin 310 (hoặc ma trận từ thông tin) tương ứng với từ thông tin và ma trận con chẵn lẻ 320 (hoặc ma trận chẵn lẻ) tương ứng với phần chẵn lẻ. Ma trận con từ thông tin 310 có K_{ldpc} cột và ma trận con chẵn lẻ 320 có $N_{parity} = N_{ldpc} - K_{ldpc}$ cột. Số lượng hàng của ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 và số lượng cột của ma trận con chẵn lẻ 320 bằng $N_{ldpc} - K_{ldpc}$.

Vị trí của các mục có giá trị 1, tức là giá trị một (1) có mặt trong ma trận con chẵn lẻ 320 gồm có các cột từ cột thứ K_{ldpc} đến cột thứ $(N_{ldpc} - 1)$ của ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 có cấu trúc hai đường chéo. Vì vậy, trong số các cột có mặt trong ma trận con chẵn lẻ 320, tất cả các bậc (ở đây, bậc là số lượng giá trị một (1) có trong mỗi cột) của các cột còn lại trừ cột thứ $(N_{ldpc} - 1)$ đều bằng hai (2), còn bậc của cột thứ $(N_{ldpc} - 1)$ thì bằng một (1).

Trong khi đó, cấu trúc của ma trận con từ thông tin 310, tức là ma trận con gồm có các cột từ cột thứ không (0) đến cột thứ $(K_{ldpc} - 1)$ tuân theo quy tắc như sau.

Thứ nhất, K_{ldpc} cột tương ứng với từ thông tin trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 phân chia ra thành nhiều nhóm cột, mỗi nhóm cột có M cột, và ma trận con từ thông tin 310 được phân chia ra thành tổng cộng là K_{ldpc}/M nhóm cột. Trong các cột thuộc cùng một nhóm cột, vị trí của các hàng có chứa giá trị một (1) có một mối quan hệ, theo đó hàng có chứa giá trị một (1) được dịch chuyển với khoảng cách Q_{ldpc} so với hàng liền trước có cùng giá trị một (1). Trong đó, Q_{ldpc} có thể là số nguyên lớn hơn hoặc bằng một (1).

Thứ hai, nếu giả sử rằng bậc của cột thứ không (0) thuộc nhóm cột thứ i ($i = 0, 1, \dots$,

$K_{ldpc}/M-1$ bằng D_i và vị trí của mỗi hàng có chứa giá trị một (1) là $R_{i,0}^{(0)}, R_{i,0}^{(1)}, \dots, R_{i,0}^{(D_i-1)}$, thì chỉ số $R_{i,j}^{(k)}$ của hàng có chứa giá trị 1 thứ k , tức là giá trị một (1) thứ k , trong cột thứ j của nhóm cột thứ i được xác định dựa vào biểu thức toán học 2 dưới đây:

$$R_{i,j}^{(k)} = (R_{i,(j-1)}^{(k)} + Q_{ldpc}) \bmod (N_{ldpc} - K_{ldpc}) \quad (2)$$

Trong biểu thức toán học 2 nêu trên, $k = 0, 1, 2, \dots, D_i-1$, $i = 0, 1, \dots, K_{ldpc}/M-1$, và $j = 1, 2, \dots, M-1$.

Biểu thức toán học 2 nêu trên có thể được biểu diễn dưới dạng biểu thức toán học 3 dưới đây:

$$R_{i,j}^{(k)} = \{R_{i,0}^{(k)} + (j \bmod M) \times Q_{ldpc}\} \bmod (N_{ldpc} - K_{ldpc}) \quad (3)$$

Trong biểu thức toán học 3 nêu trên, $k = 0, 1, 2, \dots, D_i-1$, $i = 0, 1, \dots, K_{ldpc}/M-1$, và $j = 1, 2, \dots, M-1$.

Trong các biểu thức toán học nêu trên, $R_{i,j}^{(k)}$ là chỉ số của hàng có chứa giá trị 1 thứ k trong cột thứ j của nhóm cột thứ i , N_{ldpc} là độ dài của từ mã LDPC, K_{ldpc} là độ dài của từ thông tin, D_i là bậc của cột thứ không (0) thuộc nhóm cột thứ i , và M là số lượng cột thuộc một nhóm cột.

Theo các biểu thức toán học nêu trên, nếu chỉ biết giá trị $R_{i,0}^{(k)}$, thì có thể biết được chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 thứ k trong nhóm cột thứ i . Vì vậy, khi giá trị chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 thứ k trong cột thứ không (0) của mỗi nhóm cột được lưu trữ, thì có thể hiểu rằng vị trí của cột và hàng có chứa giá trị 1 trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 (tức là ma trận con từ thông tin 310 của ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300) có cấu trúc được thể hiện trên Fig.3.

Theo các quy tắc nêu trên, tất cả các bậc của các cột thuộc nhóm cột thứ i là D_i . Theo các quy tắc nêu trên, các mã LDPC trong đó lưu trữ thông tin về ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 có thể được biểu diễn theo cách đơn giản như sau.

Xét một ví dụ cụ thể, khi N_{ldpc} bằng 30, K_{ldpc} bằng 15, và Q_{ldpc} bằng ba (3), thì thông tin vị trí của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ không (0) của ba nhóm cột có thể được biểu diễn bằng các dãy được xác định dựa vào biểu thức toán học 4 dưới đây. Dãy

được biểu diễn bằng biểu thức toán học 4 có thể được gọi là dãy vị trí của giá trị 1.

$$\begin{aligned} R_{1,0}^{(1)} &= 1, R_{1,0}^{(2)} = 2, R_{1,0}^{(3)} = 8, R_{1,0}^{(4)} = 10, \\ R_{2,0}^{(1)} &= 0, R_{2,0}^{(2)} = 9, R_{2,0}^{(3)} = 13, \\ R_{3,0}^{(1)} &= 0, R_{3,0}^{(2)} = 14. \end{aligned} \quad (4)$$

Trong biểu thức toán học 4 nêu trên, $R_{i,j}^{(k)}$ là chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 thứ k trong cột thứ j của nhóm cột thứ i.

Các dãy vị trí của giá trị 1 được xác định dựa vào biểu thức toán học 4 nêu trên, biểu thức toán học này biểu diễn chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của mỗi nhóm cột, có thể được biểu diễn theo cách đơn giản như trong bảng 1 dưới đây:

Bảng 1

1	2	8	10
0	9	13	
0	14		

Bảng 1 trên đây thể hiện vị trí của các mục có giá trị 1, tức là giá trị một (1) trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ, trong đó dãy vị trí của giá trị 1 thứ i được biểu diễn bằng chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i.

Khi cột và hàng của ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 trên Fig.3 được hoán vị theo biểu thức toán học 5 (hoán vị hàng) và biểu thức toán học 6 (hoán vị cột) dưới đây, thì ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 trên Fig.3 có thể được thể hiện dưới dạng ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 trên Fig.4.

$$Q_{ldpc} \cdot i + j \Rightarrow M \cdot j + i \quad (0 \leq i < M, 0 \leq j < Q_{ldpc}), \quad i \Rightarrow i \quad (0 \leq i < K_{ldpc}) \quad (5)$$

$$K_{ldpc} + Q_{ldpc} \cdot k + l \Rightarrow K_{ldpc} + M \cdot l + k \quad (0 \leq k < M, 0 \leq l < Q_{ldpc}) \quad (6)$$

Trong phần trình bày trên đây, phép hoán vị hàng có nghĩa là thứ tự các hàng của ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 thay đổi dựa vào biểu thức toán học 5 nêu trên. Ngoài ra, phép hoán vị cột có nghĩa là thứ tự các cột của ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 thay đổi dựa vào biểu thức toán học 6 nêu trên.

Phương pháp thực hiện phép hoán vị dựa vào các biểu thức toán học 5 và 6 nêu trên

là như sau. Trong trường hợp này, phép hoán vị cột được áp dụng theo nguyên lý giống như phép hoán vị hàng, ngoại trừ việc phép hoán vị cột chỉ được áp dụng cho ma trận con chẵn lẻ 320 với $i \Rightarrow i' (0 \leq i' < K_{ldpc})$. Phép hoán vị hàng để làm ví dụ minh họa sẽ được mô tả dưới đây.

Đối với phép hoán vị hàng, i và j đáp ứng điều kiện $X = Q_{ldpc} \times i + j$ cho hàng thứ X được tính, và giá trị i và j tính được sẽ được thế vào biểu thức $M \times j + i$ để tính hàng được hoán vị với hàng thứ X . Ví dụ, với hàng thứ bảy, i và j đáp ứng điều kiện $7 = 2 \times i + j$ là i bằng 3 và j bằng 1, do đó hàng thứ bảy được hoán vị với hàng thứ mười ba ($10 \times 1 + 3 = 13$).

Khi hàng và cột của ma trận kiểm tra chẵn lẻ trên Fig.3 được hoán vị dựa vào các biểu thức toán học 5 và 6, thì ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể được thể hiện dưới dạng ma trận kiểm tra chẵn lẻ trên Fig.4.

Dựa vào Fig.4, ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 của các mã LDPC có cấu trúc trong đó toàn bộ ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 được phân chia ra thành nhiều khối thành phần và mỗi khối thành phần tương ứng với một ma trận tựa tuần hoàn $M \times M$.

Ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 trên Fig.4 được tạo ra theo đơn vị là ma trận tựa tuần hoàn $M \times M$, và do đó, M cột có thể được gọi là một khối cột (hoặc nhóm cột) và M hàng có thể được gọi là một khối hàng (hoặc nhóm hàng). Tức là ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 có cấu trúc được thể hiện trên Fig.4 dùng trong phương án làm ví dụ này được tạo nên từ $N_{qc_column} = N_{ldpc}/M$ khối cột và $N_{qc_row} = N_{parity}/M$ khối hàng.

Các ma trận $M \times M$ tạo nên ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 có cấu trúc được thể hiện trên Fig.4 sẽ được mô tả chi tiết dưới đây.

Thứ nhất, ma trận $M \times M$ 440 của khối cột thứ $(N_{qc_column}-1)$ trong các khối hàng thứ không (0) có dạng như được xác định dựa vào biểu thức toán học 7 dưới đây:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Trong ma trận $M \times M$ được xác định dựa vào biểu thức toán học 7 nêu trên, tất cả các giá trị của hàng thứ không (0) và cột thứ $M-1$ đều bằng '0'. Với $0 \leq i \leq (M-2)$, hàng thứ $(i+1)$ của cột thứ i bằng '1' và tất cả các giá trị còn lại đều bằng '0'.

Thứ hai, trong ma trận con chẵn lẻ 420 của ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 trên Fig.4, với $0 \leq i \leq (N_{ldpc}-K_{ldpc})/M-1$, khối hàng thứ i của các khối cột thứ $(K_{ldpc}/M+i)$ được tạo nên từ các ma trận đơn vị $I_{M \times M}$ 460. Ngoài ra, với $0 \leq i \leq (N_{ldpc}-K_{ldpc})/M-2$, khối hàng thứ $(i+1)$ của các khối cột thứ $K_{ldpc}/M+i$ được tạo nên từ các ma trận đơn vị $I_{M \times M}$ 460.

Thứ ba, ma trận con từ thông tin 410 có thể có cấu trúc trong đó ma trận P^{a_i} thu được bằng cách dịch chuyển tuần hoàn ma trận tựa tuần hoàn P , hoặc ma trận tựa tuần hoàn P và ma trận P^{a_i} thu được bằng cách dịch chuyển tuần hoàn ma trận tựa tuần hoàn P được kết hợp với nhau.

Ma trận tựa tuần hoàn P được biểu diễn bằng biểu thức toán học 8 dưới đây:

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Ma trận tựa tuần hoàn P theo biểu thức toán học 8 nêu trên là ma trận vuông có kích thước $M \times M$ và là ma trận có các bậc tương ứng của M hàng và cột tạo nên ma trận tựa tuần hoàn P bằng một (1).

Nếu chỉ số trên a_{ij} của ma trận tựa tuần hoàn P bằng 0, thì ma trận tựa tuần hoàn P^0 là ma trận đơn vị $I_{M \times M}$, còn nếu chỉ số trên a_{ij} của ma trận tựa tuần hoàn P bằng ∞ , thì ma

trận tựa tuần hoàn P^∞ là ma trận không. Như được thể hiện trên Fig.4, trong toàn bộ ma trận kiểm tra chẵn lẻ của các mã LDPC, tổng số cột bằng $N_{ldpc} = M \times N_{qc_column}$ và tổng số hàng bằng $N_{parity} = M \times N_{qc_row}$. Tức là ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 như được thể hiện trên Fig.4 được tạo nên từ N_{qc_column} khối cột và N_{qc_row} khối hàng.

Ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 như được thể hiện trên Fig.4 được biểu diễn bằng các vị trí của ma trận tựa tuần hoàn khác không và các giá trị chỉ số ở các vị trí tương ứng.

Đối với các mã LDPC, hiệu suất của từ mã được xác định dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ. Cụ thể, hiệu suất của từ mã có thể được xác định theo sự phân bố trọng số và sự phân bố tuần hoàn của các cột và các hàng.

Sự phân bố trọng số của các cột biểu thị là có bao nhiêu cột có giá trị một (1) và có bao nhiêu giá trị một (1) trong mỗi cột trong số N_{ldpc} cột. Ngoài ra, sự phân bố trọng số của các hàng biểu thị là có bao nhiêu hàng có giá trị một (1) và có bao nhiêu giá trị một (1) trong mỗi hàng trong số $N_{ldpc} - K_{ldpc}$ hàng. Ngoài ra, trọng số hoặc bậc của giá trị một (1) biểu thị số lượng giá trị một (1) của mỗi cột và hàng.

Ở đây, sự phân bố trọng số của các cột và các hàng có thể được xác định dựa vào phương pháp được gọi là phương pháp triển khai mật độ (xem tài liệu: Richardson, T., và URBANKE, R.: 'The capacity of low-density parity-check codes under message-passing decoding', IEEE Trans. Inf. Theory, 2001, 47, (2), trang 599-618).

Cụ thể, trong trường hợp áp dụng phương pháp triển khai mật độ, khi bước mã hoá/giải mã LDPC được thực hiện dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ có sơ đồ phân bố bậc cho trước, có thể ước tính được là cần lặp lại bao nhiêu lần để xác suất xuất hiện lỗi mã hoá bằng '0' với mọi tỷ số tín hiệu/tạp nhiễu (Signal to Noise Ratio, SNR). Đối với phương pháp triển khai mật độ, vì đã ước tính xem liệu có đạt được xác suất xuất hiện lỗi mã hoá bằng '0' hay không với điều kiện giả sử là độ dài của từ mã là vô hạn, nên có thể không xác định được sơ đồ phân bố bậc của ma trận kiểm tra chẵn lẻ nếu chỉ dựa vào phương pháp triển khai mật độ khi ma trận kiểm tra chẵn lẻ cho các mã có độ dài hữu hạn được thiết kế.

Ngoài ra, số lượng giá trị một (1) phụ thuộc vào sơ đồ phân bố bậc của ma trận

kiểm tra chẵn lẻ ảnh hưởng đến mức độ phức tạp của phương pháp mã hoá/giải mã, và do đó cần phải thiết kế ma trận kiểm tra chẵn lẻ dựa trên hiệu suất của mã được kiểm tra không chỉ dựa vào phương pháp lý thuyết được gọi là phương pháp triển khai mật độ mà còn dựa vào mức độ phức tạp của phương pháp mã hoá/giải mã thực tế và ma trận kiểm tra chẵn lẻ được thiết kế.

Phương pháp thiết kế ma trận kiểm tra chẵn lẻ sẽ được mô tả chi tiết dưới đây.

Ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể có rất nhiều dạng khác nhau, nhưng sáng chế chỉ nhằm thiết kế ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc cụ thể như được thể hiện trên Fig.3. Ngoài ra, ma trận kiểm tra chẵn lẻ xác định sơ đồ phân bố bậc, trong đó hệ số tăng ích mã hoá có thể đạt được giá trị tối đa, dựa vào phương pháp triển khai mật độ và phương pháp loại bỏ định kỳ, hiện tượng sần lồi xuất hiện trong vùng có giá trị BER/FER thấp. Như đã nêu trên, ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 có cấu trúc được thể hiện trên Fig.3 chuyển thành ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 có cấu trúc được thể hiện trên Fig.4 bằng cách hoán vị cột và hàng. Đối với cấu trúc trên Fig.4, ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể được thiết kế dựa trên ma trận $M \times M$, và do đó có thể thiết kế dễ dàng. Vì vậy, theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, ma trận kiểm tra chẵn lẻ được thiết kế dưới dạng ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 có cấu trúc được thể hiện trên Fig.4, và sau đó, ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 có cấu trúc được thể hiện trên Fig.3 được thiết kế bằng cách hoán vị hàng và cột.

Phương pháp thiết kế ma trận kiểm tra chẵn lẻ theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế sẽ được mô tả chi tiết dưới đây.

Bước 1) Xác định kích thước N_{ldpc} và K_{ldpc} và giá trị của M và Q_{ldpc} của ma trận kiểm tra chẵn lẻ cần thiết kế.

Theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, các thông số nêu trên của ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể được xác định trong bảng 2 dưới đây:

Bảng 2

Tỷ lệ mã	N_{ldpc}	K_{ldpc}	N_{parity}	M	Q_{ldpc}	N_{qc_column}	N_{qc_row}
6/15	64800	25920	38880	360	108	180	108
8/15	64800	34560	30240	360	84	180	84
10/15	64800	43200	21600	360	60	180	60
12/15	64800	51840	12960	360	36	180	36

Đối với ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 có cấu trúc được thể hiện trên Fig.4, ma trận con chẵn lẻ 420 là cố định, và do đó, chỉ cần xác định vị trí và sự phân bố của giá trị một (1) trong ma trận con từ thông tin 410. Ngoài ra, vị trí và sự phân bố của giá trị một (1) trong ma trận con từ thông tin 410 được tạo ra theo đơn vị là ma trận tựa tuần hoàn $M \times M$, và do đó, số lượng và vị trí của ma trận tựa tuần hoàn, không phải là ma trận không, và các giá trị khoảng cách dịch chuyển tuần hoàn, tức là giá trị chỉ số của các ma trận tựa tuần hoàn, được xác định.

Dưới đây, ở bước 2, số lượng ma trận tựa tuần hoàn, không phải là ma trận không, được xác định.

Bước 2) Xác định sơ đồ phân bố bậc của ma trận kiểm tra chẵn lẻ bằng phương pháp triển khai mật độ.

Như đã nêu trên, sự phân bố của giá trị một (1) trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ góp phần chủ yếu vào hiệu suất của các mã LDPC. Vì vậy, theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, sự phân bố của giá trị một (1) trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định bằng phương pháp triển khai mật độ. Tức là sơ đồ phân bố bậc có khả năng cao nhất xảy ra trường hợp là xác suất xuất hiện lỗi hội tụ đến một giá trị định trước sau khi thực hiện phương pháp giải mã lặp với số lần bằng số lần định trước, tức là sơ đồ phân bố bậc có tỷ lệ SNR thấp nhất, được chọn trong số tất cả các sơ đồ phân bố bậc có thể có.

Trong trường hợp này có các điều kiện hạn chế như sau:

1) Số lượng giá trị một (1) trong một mã LDPC ảnh hưởng đến mức độ phức tạp của phương pháp mã hoá và giải mã, và do đó phải hạn chế số lượng giá trị một (1).

2) Nếu số lượng giá trị một (1) trong một cột là khác nhau, thì mức độ phức tạp của phương pháp giải mã có thể tăng lên, và do đó phải hạn chế các loại số lượng giá trị một

(1).

Trước hết, tất cả các sơ đồ phân bố bậc (các danh sách) có thể có được xác định dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ có các thông số như được thể hiện trong bảng 2 nêu trên có xem xét đến các điều kiện hạn chế nêu trên. Tiếp theo, sau khi giá trị SNR đích cho mỗi tỷ lệ mã được xác định, khi các mã được mã hoá/giải mã LDPC dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ với các sơ đồ phân bố bậc có trong danh sách đạt được giá trị SNR đích bằng phương pháp triển khai mật độ được giải mã, thì sẽ xác định được là cần lặp lại bao nhiêu lần để cho xác suất xuất hiện lỗi hội tụ đến một giá trị định trước.

Trong trường hợp này, với mọi sơ đồ phân bố bậc có trong danh sách, khi xác suất xuất hiện lỗi đã hội tụ đến một giá trị định trước hoặc số lần lặp ít hơn một giá trị cụ thể, thì giá trị SNR đích sẽ được điều chỉnh thấp xuống và phương pháp triển khai mật độ đối với sơ đồ phân bố bậc được thực hiện thêm lần nữa.

Tuy nhiên, khi giá trị thu được từ phương pháp triển khai mật độ đối với tất cả các sơ đồ phân bố bậc không hội tụ mặc dù số lần lặp nhiều hơn giá trị cụ thể, thì giá trị SNR được điều chỉnh cao lên và phương pháp triển khai mật độ đối với sơ đồ phân bố bậc được thực hiện thêm lần nữa.

Trong số tất cả các sơ đồ phân bố bậc có trong danh sách, sơ đồ phân bố bậc có xác suất xuất hiện lỗi hội tụ đến giá trị định trước hoặc thấp hơn giá trị định trước với giá trị SNR thấp và số lần giải mã lặp ít (tức là số lần lặp ít) được chọn làm kết quả của bước 1.

Bước 3) Xác định vị trí của ma trận khác không tựa tuần hoàn dựa vào sơ đồ phân bố bậc được xác định ở bước 2.

Ở bước này, vị trí của ma trận khác không tựa tuần hoàn được xác định dựa vào thuật toán PEG đã biết (xem tài liệu: X.-Y. Hu, E. Eleftheriou, và D.-M. Arnold, "Regular and irregular progressive edge-growth tanner graphs", IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 51, no. 1, trang 386-398, Jan. 2005). Trong trường hợp như vậy, các điều kiện hạn chế bổ sung được đề xuất theo sáng chế này là nhằm tạo ra số lượng giá trị 1 trong mỗi hàng sao cho đồng đều nhất.

Bước 4) Cần phải điều chỉnh chỉ số của các ma trận tựa tuần hoàn để ngăn không cho xảy ra hiện tượng sần lỗi.

Ở bước này, ma trận con chẵn lẻ là cố định, và do đó không cần xem xét. Trong ma trận con từ thông tin, chỉ cần thay đổi giá trị chỉ số của các ma trận khác không tựa tuần hoàn nằm trong một hàng định trước từ cột có bậc thấp nhất.

Ở bước này, tất cả các chỉ số của các ma trận khác không tựa tuần hoàn, trừ ma trận con chẵn lẻ 420, nằm trong cùng một hàng cần phải có các giá trị khác nhau.

Thứ tự của các hàng có giá trị chỉ số thay đổi có thể là khác nhau. Việc thay đổi giá trị chỉ số được lặp lại cho đến khi giá trị tuần hoàn nhỏ nhất không tăng lên nữa hoặc số lượng nút thay đổi có giá trị tuần hoàn nhỏ nhất không cải thiện thêm nữa. Ở đây, bước 4 được gọi là bước nâng.

Bước 5) Cần phải chỉnh sửa ma trận kiểm tra chẵn lẻ được thiết kế có cấu trúc như trên Fig.4 thành cấu trúc như trên Fig.3 bằng phép hoán vị hàng và phép hoán vị cột.

Trong trường hợp này, phép hoán vị hàng có thể được thực hiện dựa vào biểu thức toán học 9 và phép hoán vị cột có thể được thực hiện dựa vào biểu thức toán học 10 dưới đây:

$$M \cdot i + j \Rightarrow Q_{ldpc} \cdot j + i \quad (0 \leq i < Q_{ldpc}, 0 \leq j < M), \quad i \Rightarrow i \quad (0 \leq i < K_{ldpc}) \quad (9)$$

$$K_{ldpc} + M \cdot k + l \Rightarrow K_{ldpc} + Q_{ldpc} \cdot l + k \quad (0 \leq k < Q_{ldpc}, 0 \leq l < M) \quad (10)$$

Phương pháp thiết kế ma trận kiểm tra chẵn lẻ dựa vào trường hợp tỷ lệ mã bằng 10/15 (= 2/3) để làm ví dụ minh họa sẽ được mô tả chi tiết dưới đây.

Bước 1) Xác định các thông số N_{ldpc} và K_{ldpc} liên quan đến kích thước và giá trị của M và Q_{ldpc} của ma trận kiểm tra chẵn lẻ cần thiết kế như được thể hiện trong bảng 3 dưới đây:

Bảng 3

Tỷ lệ mã	N_{ldpc}	K_{ldpc}	N_{parity}	M	Q_{ldpc}	N_{qc_column}	N_{qc_row}
10/15	64800	43200	21600	360	60	180	60

Bước 2) Xác định sơ đồ phân bố bậc của ma trận kiểm tra chẵn lẻ bằng phương pháp triển khai mật độ.

Như đã nêu trên, sự phân bố của giá trị một (1) trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ góp

phần chủ yếu vào hiệu suất của các mã LDPC. Vì vậy, theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, sự phân bố của giá trị một (1) trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định bằng phương pháp triển khai mật độ. Tức là sơ đồ phân bố bậc có khả năng cao nhất xảy ra trường hợp là xác suất xuất hiện lỗi hội tụ đến một giá trị định trước sau khi thực hiện phương pháp giải mã lặp với số lần bằng số lần định trước, tức là sơ đồ phân bố bậc có tỷ lệ SNR thấp nhất, được chọn trong số tất cả các sơ đồ phân bố bậc có thể có.

Các sơ đồ phân bố mà trong đó xác suất xuất hiện lỗi có nhiều khả năng bằng một giá trị định trước với giá trị SNR thấp nhất sau khi thực hiện phương pháp triển khai mật độ sẽ được chọn trong số tất cả các sơ đồ phân bố bậc có thể có. Ví dụ, đối với các sơ đồ phân bố được chọn, khi giá trị SNR = 2,6 dB, thì sẽ thu được số lần lặp để đạt được giá trị BER = 10^{-5} bằng phương pháp triển khai mật độ. Các sơ đồ phân bố được chọn và số lần lặp thu được dựa vào phương pháp triển khai mật độ áp dụng cho các sơ đồ phân bố được chọn được thể hiện trong bảng 4 dưới đây. Trong bảng 4, $N(x_i)$ là số lượng nhóm cột hoặc khối cột có bậc x_i .

Bảng 4

Trường hợp	Bậc (x_1)	$N(x_1)$	Bậc (x_2)	$N(x_2)$	Bậc (x_3)	$N(x_3)$	Bậc (x_4)	$N(x_4)$	Số lần lặp đạt được BER = 10^{-5}
1	16	23	4	2	3	95	2	60	65
2	16	23	4	13	3	84	2	60	65
3	17	20	4	31	3	69	2	60	73
4	17	19	4	42	3	59	2	60	94
5	15	26	4	0	3	94	2	60	63
6	16	24	4	0	3	96	2	60	63

Bước 3) Xác định vị trí của ma trận khác không tựa tuần hoàn dựa vào sơ đồ phân bố bậc được xác định ở bước 2.

Theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, sơ đồ phân bố bậc cho trường hợp 6 trong bảng 4 nêu trên được chọn. Ngoài ra, để đáp ứng sơ đồ phân bố bậc được chọn, vị trí của các ma trận khác không tựa tuần hoàn được xác định.

Lý do chọn trường hợp 6 là vì, như đã nêu trên, số lượng giá trị một (1) phụ thuộc vào sơ đồ phân bố bậc của ma trận kiểm tra chẵn lẻ ảnh hưởng đến mức độ phức tạp của

phương pháp mã hoá/giải mã, và do đó cần phải thiết kế ma trận kiểm tra chẵn lẻ dựa trên hiệu suất của mã không chỉ dựa vào phương pháp lý thuyết được gọi là phương pháp triển khai mật độ mà còn dựa vào mức độ phức tạp của phương pháp mã hoá/giải mã thực tế và ma trận kiểm tra chẵn lẻ được thiết kế.

Bước 4) Cần phải điều chỉnh chỉ số của các ma trận tựa tuần hoàn để ngăn không cho xảy ra hiện tượng sần lỗi.

Bảng 5 dưới đây thể hiện vị trí và giá trị chỉ số của các ma trận tựa tuần hoàn của ma trận kiểm tra chẵn lẻ 400 có cấu trúc được thể hiện trên Fig.4 được xác định bằng phương pháp nêu trên. Trong quy trình này, phương pháp được gọi là phương pháp nâng (xem bước 4 trên đây) có xem xét đến các đặc trưng tuần hoàn được áp dụng.

Bảng 5

	Chỉ số của các nhóm cột có chứa ma trận khác không tựa tuần hoàn của hàng thứ i	Chỉ số của các ma trận khác không tựa tuần hoàn của hàng thứ i
0	3 6 12 14 15 23 34 61 81 87 108 120 179	350 122 72 90 310 344 85 245 10 12 93 0 359
1	1 4 9 10 13 19 38 49 79 83 106 120 121	313 156 2 258 227 245 5 117 280 96 211 0 0
2	3 5 15 20 22 23 44 62 78 91 99 121 122	219 33 282 344 118 250 5 238 352 230 120 0 0
3	0 8 12 16 21 23 28 56 93 98 117 122 123	211 302 339 64 228 247 147 13 38 143 247 0 0
4	1 7 8 9 16 19 20 46 55 64 101 123 124	104 289 301 304 55 48 170 244 39 185 268 0 0
5	2 3 12 13 18 20 24 54 80 112 114 124 125	5 355 305 99 306 88 96 288 22 52 124 0 0
6	1 6 8 14 16 17 34 40 74 102 107 125 126	309 348 241 98 41 83 3 143 140 102 227 0 0
7	4 8 10 12 19 20 35 37 48 75 103 126 127	108 341 333 17 211 187 104 239 140 284 137 0 0
8	0 4 14 17 21 23 33 65 78 82 98 127 128	38 165 219 233 270 282 63 281 264 225 209 0 0
9	5 6 13 18 19 21 22 41 67 76 109 128 129	8 207 200 148 234 33 307 100 203 162 94 0 0
10	1 2 3 5 11 13 14 29 60 91 103 112 129 130	271 291 274 212 110 57 80 180 134 208 244 337 0 0
11	6 7 8 11 15 21 23 38 58 72 74 130 131	253 35 207 278 180 122 120 75 147 0 174 0 0
12	4 11 19 20 21 22 25 47 80 111 115 131 132	124 95 102 48 172 177 244 144 83 207 136 0 0
13	3 5 7 14 15 17 18 37 69 83 84 110 132 133	66 211 233 54 315 342 338 208 229 357 199 143 0 0
14	1 4 7 10 14 15 17 20 28 52 77 88 133 134	43 282 309 252 263 115 220 85 139 214 114 302 0 0
15	0 4 5 6 8 18 39 43 71 79 104 134 135	283 20 166 310 147 229 316 359 268 15 194 0 0
16	1 4 5 18 21 22 40 60 84 97 118 135 136	151 213 230 83 304 132 47 336 276 233 167 0 0
17	0 6 9 14 21 22 23 27 59 75 110 136 137	70 23 169 174 230 15 19 119 25 57 40 0 0
18	1 4 11 18 21 23 31 66 73 77 91 137 138	78 222 317 343 322 29 293 15 97 268 17 0 0
19	3 8 12 17 18 22 47 65 90 102 117 138 139	1 173 0 282 148 282 299 122 42 212 311 0 0
20	0 2 11 13 15 22 24 42 49 75 88 139 140	8 186 278 1 309 186 57 294 255 293 67 0 0
21	0 5 7 9 12 16 17 45 51 84 108 117 140 141	141 342 45 270 83 272 333 19 105 153 314 134 0 0
22	2 5 10 11 15 17 33 43 59 72 87 141 142	280 99 183 227 276 301 288 45 156 17 334 0 0
23	6 7 8 10 13 17 19 25 56 94 103 114 142 143	248 36 200 344 99 188 1 86 341 163 249 259 0 0
24	4 11 13 17 19 22 40 70 88 100 113 143 144	214 302 90 221 3 359 263 295 49 77 260 0 0

25	2 7 12 15 16 17 32 54 68 99 104 144 145	127 298 45 313 172 44 310 122 188 23 298 0 0
26	3 7 14 16 20 22 38 48 85 98 100 145 146	210 76 196 27 126 248 72 87 62 138 171 0 0
27	5 9 10 20 21 23 27 52 67 90 94 146 147	215 238 252 154 354 147 254 222 258 37 1 0 0
28	2 3 4 7 13 14 16 42 58 82 95 97 147 148	2 13 13 154 102 123 242 290 126 13 73 198 0 0
29	0 2 9 10 18 21 29 55 69 89 102 148 149	192 26 268 101 49 133 152 33 161 310 219 0 0
30	1 3 8 9 10 17 20 43 63 76 100 149 150	225 53 256 42 50 265 344 15 72 65 324 0 0
31	0 2 7 9 21 22 32 47 61 92 116 150 151	251 329 4 144 203 135 90 137 242 215 71 0 0
32	3 8 12 15 16 19 23 35 64 73 106 151 152	75 9 53 305 219 76 316 278 264 41 194 0 0
33	0 1 5 6 8 9 12 36 52 72 105 112 152 153	193 289 122 345 268 45 252 142 42 244 261 216 0 0
34	2 3 6 11 13 14 30 53 83 109 119 153 154	198 238 102 316 125 311 215 304 171 233 25 0 0
35	0 5 7 17 19 23 24 63 78 96 118 154 155	325 212 281 345 46 101 151 172 236 138 51 0 0
36	2 5 9 10 12 15 19 26 56 66 71 107 155 156	55 12 237 99 228 150 213 104 91 291 92 131 0 0
37	1 4 6 18 22 23 29 51 61 85 96 156 157	210 300 236 46 341 2 333 314 107 60 342 0 0
38	2 8 11 14 16 18 19 39 54 73 82 119 157 158	110 225 136 154 222 159 50 273 159 62 240 76 0 0
39	2 9 13 15 16 20 23 36 49 86 101 158 159	125 324 179 352 157 311 41 213 260 215 224 0 0
40	1 3 6 12 18 19 31 57 92 95 114 159 160	99 265 202 210 13 265 100 118 275 280 100 0 0
41	0 4 7 9 13 20 41 50 64 74 96 160 161	265 328 333 343 93 305 316 282 57 341 293 0 0
42	1 4 14 15 19 20 28 32 86 89 110 161 162	74 103 45 205 151 222 156 106 358 170 294 0 0
43	3 10 11 16 18 21 22 45 53 58 111 162 163	148 60 91 137 330 224 338 144 128 65 284 0 0
44	2 10 11 12 13 14 15 34 57 67 68 115 163 164	21 77 206 51 84 9 316 125 322 96 210 4 0 0
45	0 1 9 10 13 20 26 59 80 106 113 164 165	310 173 346 83 239 206 327 198 262 64 280 0 0
46	2 5 7 8 15 16 19 41 44 70 85 105 165 166	250 147 233 254 87 92 243 266 13 222 227 290 0 0
47	1 4 6 12 22 23 39 53 55 94 116 166 167	110 124 212 137 199 102 123 186 133 280 231 0 0
48	0 7 10 12 16 21 22 48 66 87 97 167 168	133 207 254 348 289 340 189 35 113 273 9 0 0
49	4 5 10 11 16 23 30 51 62 90 101 168 169	290 18 27 182 317 248 4 19 294 206 311 0 0
50	3 5 14 18 19 22 25 57 89 105 119 169 170	304 298 256 329 99 110 263 181 249 340 13 0 0
51	1 8 9 13 14 16 18 42 71 81 109 170 171	102 90 110 343 80 310 19 327 250 173 93 0 0
52	0 10 11 13 16 20 35 44 86 108 115 171 172	269 356 84 303 323 200 351 49 287 307 200 0 0
53	2 11 17 21 22 23 31 63 93 104 113 172 173	74 127 272 61 163 349 261 183 125 99 117 0 0
54	0 5 6 9 11 13 45 46 65 70 81 173 174	359 30 277 163 179 218 178 286 85 286 327 0 0
55	2 6 8 17 20 23 26 37 62 76 95 174 175	280 8 87 185 136 193 300 25 261 340 120 0 0
56	3 6 8 10 19 21 36 50 60 93 116 175 176	72 89 240 39 250 214 225 22 176 88 291 0 0
57	4 6 7 9 11 12 15 33 68 69 107 176 177	73 65 150 80 133 233 273 228 4 232 6 0 0
58	0 3 7 14 15 17 18 27 46 79 92 118 177 178	124 39 149 116 100 145 240 290 57 304 105 13 0 0
59	1 12 17 18 20 21 30 50 77 99 111 178 179	317 35 148 5 341 32 347 14 326 342 237 0 0
60	3 6 12 14 15 23 34 61 81 87 108 120 179	350 122 72 90 310 344 85 245 10 12 93 0 359
61	1 4 9 10 13 19 38 49 79 83 106 120 121	313 156 2 258 227 245 5 117 280 96 211 0 0
62	3 5 15 20 22 23 44 62 78 91 99 121 122	219 33 282 344 118 250 5 238 352 230 120 0 0
63	0 8 12 16 21 23 28 56 93 98 117 122 123	211 302 339 64 228 247 147 13 38 143 247 0 0
64	1 7 8 9 16 19 20 46 55 64 101 123 124	104 289 301 304 55 48 170 244 39 185 268 0 0
65	2 3 12 13 18 20 24 54 80 112 114 124 125	5 355 305 99 306 88 96 288 22 52 124 0 0
66	1 6 8 14 16 17 34 40 74 102 107 125 126	309 348 241 98 41 83 3 143 140 102 227 0 0
67	4 8 10 12 19 20 35 37 48 75 103 126 127	108 341 333 17 211 187 104 239 140 284 137 0 0
68	0 4 14 17 21 23 33 65 78 82 98 127 128	38 165 219 233 270 282 63 281 264 225 209 0 0
69	5 6 13 18 19 21 22 41 67 76 109 128 129	8 207 200 148 234 33 307 100 203 162 94 0 0

70	1 2 3 5 11 13 14 29 60 91 103 112 129 130	271 291 274 212 110 57 80 180 134 208 244 337 0 0
71	6 7 8 11 15 21 23 38 58 72 74 130 131	253 35 207 278 180 122 120 75 147 0 174 0 0
72	4 11 19 20 21 22 25 47 80 111 115 131 132	124 95 102 48 172 177 244 144 83 207 136 0 0
73	3 5 7 14 15 17 18 37 69 83 84 110 132 133	66 211 233 54 315 342 338 208 229 357 199 143 0 0
74	1 4 7 10 14 15 17 20 28 52 77 88 133 134	43 282 309 252 263 115 220 85 139 214 114 302 0 0
75	0 4 5 6 8 18 39 43 71 79 104 134 135	283 20 166 310 147 229 316 359 268 15 194 0 0
76	1 4 5 18 21 22 40 60 84 97 118 135 136	151 213 230 83 304 132 47 336 276 233 167 0 0
77	0 6 9 14 21 22 23 27 59 75 110 136 137	70 23 169 174 230 15 19 119 25 57 40 0 0
78	1 4 11 18 21 23 31 66 73 77 91 137 138	78 222 317 343 322 29 293 15 97 268 17 0 0
79	3 8 12 17 18 22 47 65 90 102 117 138 139	1 173 0 282 148 282 299 122 42 212 311 0 0
80	0 2 11 13 15 22 24 42 49 75 88 139 140	8 186 278 1 309 186 57 294 255 293 67 0 0
81	0 5 7 9 12 16 17 45 51 84 108 117 140 141	141 342 45 270 83 272 333 19 105 153 314 134 0 0
82	2 5 10 11 15 17 33 43 59 72 87 141 142	230 99 183 227 276 301 288 45 156 17 334 0 0
83	6 7 8 10 13 17 19 25 56 94 103 114 142 143	248 36 200 344 99 188 1 86 341 163 249 259 0 0
84	4 11 13 17 19 22 40 70 88 100 113 143 144	214 302 90 221 3 359 263 295 49 77 260 0 0
85	2 7 12 15 16 17 32 54 68 99 104 144 145	127 298 45 313 172 44 310 122 188 23 298 0 0
86	3 7 14 16 20 22 38 48 85 98 100 145 146	210 76 196 27 126 248 72 87 62 138 171 0 0
87	5 9 10 20 21 23 27 52 67 90 94 146 147	215 238 252 154 354 147 254 222 258 37 1 0 0
88	2 3 4 7 13 14 16 42 58 82 95 97 147 148	2 13 13 154 102 123 242 290 126 13 73 198 0 0
89	0 2 9 10 18 21 29 55 69 89 102 148 149	192 26 268 101 49 133 152 33 161 310 219 0 0
90	1 3 8 9 10 17 20 43 63 76 100 149 150	225 53 256 42 50 265 344 15 72 65 324 0 0
91	0 2 7 9 21 22 32 47 61 92 116 150 151	251 329 4 144 203 135 90 137 242 215 71 0 0
92	3 8 12 15 16 19 23 35 64 73 106 151 152	75 9 53 305 219 76 316 278 264 41 194 0 0
93	0 1 5 6 8 9 12 36 52 72 105 112 152 153	193 289 122 345 268 45 252 142 42 244 261 216 0 0
94	2 3 6 11 13 14 30 53 83 109 119 153 154	198 238 102 316 125 311 215 304 171 233 25 0 0
95	0 5 7 17 19 23 24 63 78 96 118 154 155	325 212 281 345 46 101 151 172 236 138 51 0 0
96	2 5 9 10 12 15 19 26 56 66 71 107 155 156	55 12 237 99 228 150 213 104 91 291 92 131 0 0
97	1 4 6 18 22 23 29 51 61 85 96 156 157	210 300 236 46 341 2 333 314 107 60 342 0 0
98	2 8 11 14 16 18 19 39 54 73 82 119 157 158	110 225 136 154 222 159 50 273 159 62 240 76 0 0
99	2 9 13 15 16 20 23 36 49 86 101 158 159	125 324 179 352 157 311 41 213 260 215 224 0 0
100	1 3 6 12 18 19 31 57 92 95 114 159 160	99 265 202 210 13 265 100 118 275 280 100 0 0
101	0 4 7 9 13 20 41 50 64 74 96 160 161	266 328 333 343 93 305 316 282 57 341 293 0 0
102	1 4 14 15 19 20 28 32 86 89 110 161 162	74 103 45 205 151 222 156 106 358 170 294 0 0
103	3 10 11 16 18 21 22 45 53 58 111 162 163	148 60 91 137 330 224 338 144 128 65 284 0 0
104	2 10 11 12 13 14 15 34 57 67 68 115 163 164	21 77 206 51 84 9 316 125 322 96 210 4 0 0
105	0 1 9 10 13 20 26 59 80 106 113 164 165	310 173 346 83 239 206 327 198 262 64 280 0 0
106	2 5 7 8 15 16 19 41 44 70 85 105 165 166	250 147 233 254 87 92 243 266 13 222 227 290 0 0
107	1 4 6 12 22 23 39 53 55 94 116 166 167	110 124 212 137 199 102 123 186 133 280 231 0 0
108	0 7 10 12 16 21 22 48 66 87 97 167 168	133 207 254 348 289 340 189 35 113 273 9 0 0
109	4 5 10 11 16 23 30 51 62 90 101 168 169	290 18 27 182 317 248 4 19 294 206 311 0 0
110	3 5 14 18 19 22 25 57 89 105 119 169 170	304 298 256 329 99 110 253 181 249 340 13 0 0
111	1 8 9 13 14 16 18 42 71 81 109 170 171	102 90 110 343 80 310 19 327 250 173 93 0 0
112	0 10 11 13 16 20 35 44 86 108 115 171 172	269 356 84 303 323 200 351 49 287 307 200 0 0
113	2 11 17 21 22 23 31 63 93 104 113 172 173	74 127 272 61 163 349 261 183 125 99 117 0 0
114	0 5 6 9 11 13 45 46 65 70 81 173 174	359 30 277 163 179 218 178 286 85 286 327 0 0

115	2 6 8 17 20 23 26 37 62 76 95 174 175	280 8 87 185 136 193 300 25 261 340 120 0 0
116	3 6 8 10 19 21 36 50 60 93 116 175 176	72 89 240 39 250 214 225 22 176 88 291 0 0
117	4 6 7 9 11 12 15 33 68 69 107 176 177	73 65 150 80 133 233 273 228 4 232 6 0 0
118	0 3 7 14 15 17 18 27 46 79 92 118 177 178	124 39 149 116 100 145 240 290 57 304 105 13 0 0
119	1 12 17 18 20 21 30 50 77 99 111 178 179	317 35 148 6 341 32 347 14 326 342 237 0 0

Bước 5) Cần phải chỉnh sửa ma trận kiểm tra chẵn lẻ được thiết kế có cấu trúc như trên Fig.4 thành cấu trúc như trên Fig.3 bằng phép hoán vị hàng và phép hoán vị cột.

Ví dụ về ma trận kiểm tra chẵn lẻ được thiết kế bằng phương pháp thiết kế ma trận kiểm tra chẵn lẻ nêu trên sẽ được mô tả dưới đây.

Đã biết rằng mọi ma trận kiểm tra chẵn lẻ H_1 đều tương đương với ma trận kiểm tra chẵn lẻ H_2 thu được bằng cách thực hiện phép hoán vị hàng và hoán vị cột trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ H_1 . Tức là mọi ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc được thể hiện trên Fig.3 đều tương đương với ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc được thể hiện trên Fig.4 thu được bằng cách thực hiện phép hoán vị hàng và hoán vị cột trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ trên Fig.3.

Ngoài ra, ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc được thể hiện trên Fig.3 và ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thứ tự của các nhóm cột của ma trận kiểm tra chẵn lẻ trên Fig.3 theo phương án làm ví dụ này cũng tương đương với nhau. Ngoài ra, khi giá trị chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i là $k_1, k_2, \dots, K_m$ (trong đó m là bậc của cột thuộc nhóm cột thứ i), các ma trận kiểm tra chẵn lẻ tương đương với nhau nếu như giá trị chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) thuộc nhóm cột thứ i được chuyển thành $(K_x + Q_{ldpc} \times y) \bmod (N_{ldpc} - K_{ldpc})$ ($1 \leq k \leq m$). Q_{ldpc} bằng $(N_{ldpc} - K_{ldpc})/M$ như đã nêu trên, trong đó M là số lượng cột thuộc một nhóm cột. Ngoài ra, y là hằng số bất kỳ.

Xét một ví dụ cụ thể, khi N_{ldpc} bằng 30, K_{ldpc} bằng 15, và Q_{ldpc} bằng 3, thì thông tin vị trí của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ không (0) của ba nhóm cột được thể hiện trong bảng 6 dưới đây:

Bảng 6

1 2 8 10
0 9 13
0 14

Khi y bằng 2,

$$\text{vì } 1 \rightarrow (1+3 \times 2) \bmod 15 = 7$$

$$2 \rightarrow (2+3 \times 2) \bmod 15 = 8$$

$$8 \rightarrow (8+3 \times 2) \bmod 15 = 14$$

$$10 \rightarrow (10+3 \times 2) \bmod 15 = 1$$

$$0 \rightarrow (0+3 \times 2) \bmod 15 = 6$$

$$9 \rightarrow (9+3 \times 2) \bmod 15 = 0$$

$$13 \rightarrow (13+3 \times 2) \bmod 15 = 4$$

$$0 \rightarrow (0+3 \times 2) \bmod 15 = 6$$

$$14 \rightarrow (14+3 \times 2) \bmod 15 = 5,$$

cho nên các ma trận kiểm tra chẵn lẻ tương đương với nhau nếu như thông tin vị trí của hàng có chứa các giá trị 1 trong các cột thứ không (0) của ba nhóm cột được xác định trong bảng 7 dưới đây:

Bảng 7

7 8 14 1
6 0 4
6 5

Ngoài ra, các ma trận kiểm tra chẵn lẻ tương đương với nhau nếu như thứ tự của các nhóm cột được thay đổi, và do đó, các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong bảng 8 dưới đây cũng tương đương với nhau.

Bảng 8

0 9 3
0 14
1 2 8 10

Ngoài ra, đối với ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc được thể hiện trên Fig.4 theo

phương án làm ví dụ này, khi các giá trị chỉ số của các ma trận tựa tuần hoàn có mặt trong cùng một nhóm cột hoặc khối cột được cộng thêm hoặc trừ bớt cùng một giá trị, thì ma trận kiểm tra chẵn lẻ này có thể giống với ma trận kiểm tra chẵn lẻ trước. Ngoài ra, các ma trận kiểm tra chẵn lẻ mà trong đó thứ tự của các khối cột có thay đổi thì tương đương với nhau.

Ví dụ về ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc được thể hiện trên Fig.3 được thiết kế bằng phương pháp thiết kế ma trận kiểm tra chẵn lẻ theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế sẽ được mô tả dưới đây.

Ví dụ, nếu độ dài của từ mã N_{ldpc} bằng 64800, tỷ lệ mã R bằng 6/15, M bằng 360 và Q_{ldpc} bằng 108, thì chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc trên Fig.3 được thể hiện trong bảng 9 dưới đây:

Bảng 9

i	Chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ 0 của nhóm cột thứ i
0	891 2309 3615 5472 8525 10308 11096 11503 11553 12420 13298 15489 15883 17561 21293 23132 25133 28163 30811 31810 34215 34584 36541 38410
1	3290 5479 5596 6546 7021 7566 9274 9303 10047 10278 10956 12393 18309 19755 19790 20828 22690 25235 26853 31571 31893 36500 36772 37536
2	1031 4765 5011 5200 6189 8985 12056 12366 14439 15482 16521 18338 19165 19476 21455 22096 22589 23699 23838 24649 30113 31490 31960 34564
3	1619 2364 2889 3409 7278 7384 8220 11204 11694 12064 16087 16722 19633 21525 24373 25817 29614 31392 33508 34329 34352 37006 37080 38444
4	3612 5474 6202 8521 11153 12202 12213 12962 13868 14359 14385 15072 15375 18156 18308 26375 28004 28905 29697 30000 30686 32819 34407 38688
5	1441 2527 3103 3297 6303 6421 7233 8011 8250 8909 10558 13855 14699 17508 17810 21259 22423 23264 29249 30830 32607 35202 38303 38402
6	4 515 1864 6876 7245 7371 9190 11814 13748 15774 20161 21526 24462 24884 25737 26251 27266 29957 34779 35082 36664 37354 37516 37837
7	368 4867 6985 7663 15368 15947 16235 16544 17468 18936 21544 21903 22422 23080 25411 25938 26128 29554 29847 31845 32714 36101 37324 38004
8	1125 2843 3161 3172 6296 8216 9506 9822 10005 11459 12555 12919 13814 13872 17916 19481 22046 23394 26020 32002 35467 36616 38306 38784
9	803 1133 1439 4618 5708 7048 8114 8195 9089 10238 12403 12520 14005 14194 16527 19186 20343 22595 27314 30831 35338 36223 36754 38504
10	988 1723 2736 2849 3827 7076 12613 12989 13268 14323 15013 20703 20872 21170 25384 29187 29524 29693 30029 30948 32598 32733 32906 34586
11	6085 8070 8611 10860 11848 13126 15737 19744 21503 21572 21598 22468 23444 23753 26696 26722 29679 29999 31803 32206 33479 34221 36608 38731

12	1410 1790 3290 7470 9833 10001 10966 11262 11687 12155 12807 16606 17295 20105 23354 23405 27107 28277 29386 30326 32151 32641 33649 36765
13	817 2781 2937 3886 5881 9657 10675 10815 11934 13044 16160 19321 19567 24463 26365 28182 29386 31428 31708 33113 33975 34629 36265 36650
14	1393 6471 7153 7266 7647 11124 13430 16396 21033 21227 23273 24502 25273 27888 29107 30726 31551 31987 32737 33126 33764 35951 36021 36264
15	5003 10529 15986 32408
16	1236 7663 14599 24745
17	10824 16168 16783 29318
18	6834 29474 29608 29779
19	2709 8594 20859 23739
20	6014 11516 14715 36702
21	2784 6493 27798 35084
22	1044 5892 13056 18720
23	2875 19737 21893 32447
24	11358 17602 34706 38472
25	11527 23325 28196 33428
26	2428 2597 3177 3909
27	29269 33353 33791 37487
28	204 14925 22290 26379
29	18959 19007 24212 27094
30	13813 14631 17097 31294
31	11533 17559 30617 37966
32	14821 22942 28281 28353
33	3440 8417 8534 24133
34	10186 20333 24737 34733
35	12388 31132 33131 36927
36	7311 16914 19363 30928
37	16762 23990 30952 36068
38	1872 9840 33270 37616
39	14047 17094 18244 24107
40	1903 21121 22616 38860
41	5979 16278 27327 34338
42	7644 10438 25622 36926
43	1243 27018 31393 38210
44	179 1944 5719 15319
45	17318 24311 37325
46	1528 10135 33640
47	1321 15978 25776
48	16957 21572 26719
49	14349 15799 29164
50	574 5582 20145
51	8814 14785 31081
52	667 7530 25659
53	7823 23615 37483

54	12766 30755 35696
55	4302 11660 36217
56	7393 11724 20441
57	864 13910 22924
58	5500 10085 31057
59	5399 13946 32583
60	1364 12423 36203
61	12356 2495 8 32026
62	10894 33813 38525
63	15456 15794 28350
64	6603 25570 33797
65	8709 19457 38831
66	330 9502 24362
67	12579 15733 34408
68	28443 34954 37293
69	3123 8513 19702
70	16976 22876 26384
71	20399 29971 33952

Như vậy, vị trí của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của mỗi nhóm cột có thể được xác định dựa vào chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i được thể hiện trong bảng 9 nêu trên, và, bằng cách dịch chuyển hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của mỗi nhóm cột với khoảng cách dịch chuyển Q_{ldpc} , thì có thể xác định được các hàng có chứa giá trị một (1) trong các cột còn lại của nhóm cột.

Trong ví dụ nêu trên, vì $Q_{ldpc} = (64800 - 25920) / 360 = 108$ và chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ không (0) bằng 891, 2309, 3615, ..., nên chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ nhất của nhóm cột thứ không (0) có thể bằng 999 ($= 891 + 108$), 2417 ($= 2309 + 108$), 3723 ($= 3615 + 108$), ... và chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ hai của nhóm cột thứ không (0) có thể bằng 1107 ($= 999 + 108$), 2525 ($= 2417 + 108$), 3831 ($= 3723 + 108$), ...

Mã trận kiểm tra chẵn lẻ cũng có thể được xác định bằng phương pháp được mô tả dựa vào bảng 9 nêu trên theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế.

Ví dụ khác, nếu độ dài của từ mã N_{ldpc} bằng 64800, tỷ lệ mã R bằng $8/15$, M bằng 360 và Q_{ldpc} bằng 84, thì chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i trong mã trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc trên Fig.3 được thể hiện

trong bảng 10 dưới đây:

Bảng 10

i	Chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ 0 của nhóm cột thứ i
0	575 3480 5049 7421 9300 10191 12344 12662 13287 13828 15934 17773 17905 18805 20237 22049 23922 25842 26477
1	4644 4943 6642 8110 9277 12823 13067 13101 13659 17652 17759 18222 18901 19452 21242 22878 24486 30082 30160
2	4600 5990 11592 11782 12150 13399 16582 17315 18200 18446 21324 21563 22895 23558 24829 26359 26379 27208 28674
3	727 4247 4937 8089 15745 18832 19983 20501 20832 21763 21809 22581 24885 25564 26204 26239 28375 28935 29822
4	2596 2687 3647 5652 7705 7911 7994 9284 10109 13037 14671 15837 17416 18970 19791 22614 23204 23504 28674
5	1056 3435 6648 7544 8563 10425 13131 13942 17003 19076 20152 23804 25730 25979 26464 28495 28640 29904 30054
6	1410 2632 3806 7856 8285 8683 8968 10120 12354 16212 16354 18750 20643 23389 23593 23821 24081 24691 27287
7	785 1301 2206 3442 6642 8532 10226 10372 12226 15724 17648 19961 20314 21981 25084 25517 25627 25965 30023
8	957 983 1450 3635 4882 5169 5906 8105 10539 11404 13286 14847 15216 15238 15705 21328 21952 23068 26520
9	465 2753 4029 5584 6626 7620 7688 8867 9205 9786 10661 11396 12721 12757 15181 21677 26829 28685 30125
10	2018 3017 5775 7512 8926 10258 11871 13763 14732 15346 17677 17762 18625 21929 22892 24994 28400 29283 29504
11	1686 2538 3165 3716 10989 11643 13764 14063 15621 15940 16710 16739 17442 18607 18661 21028 23820 25148 26498
12	983 2443 3139 8694 8930 11798 12540 13629 14446 16902 18391 18452 19745 23125 24267 24762 25491 25899 26702
13	744 4121 4252 9986 10475 13103 13185 14142 15345 15352 15445 17573 21329 21790 21879 23791 23840 23858 26362
14	1468 4636 4903 6223 7505 7748 7986 9273 11609 11821 13188 18694 19231 20890 21722 23933 25493 26809 29300
15	295 5207 5830 5967 9076 9476 10287 14563 14863 16497 16877 17122 17132 21298 23456 23941 24040 25165 29292
16	6219 6354 6512 6678 7214 7968 9600 15508 15635 17351 17825 18054 18545 21172 21604 25263 28503 29776 29957
17	1399 1866 4118 6022 6498 8718 8929 10364 10908 11588 13031 17426 19049 20238 23750 25217 25437 27795 30143
18	1263 1605 3107 5328 5522 7461 7484 9206 10185 11691 12614 12955 15109 22915 24383 26051 27802 27882 29485
19	684 1033 2283 3002 4245 4663 8887 9768 12403 14232 16792 18157 18826 21931 22730 25789 25975 26985 29162
20	2377 18147 29547 29698

21	3083 4540 6201 17778
22	468 9283 14739 24011
23	4848 12149 14672 26446
24	8851 9316 12511 18952
25	14327 21539 22753 28982
26	169 5297 12557 15108
27	8941 20588 23889 29192
28	17157 17418 24573 26133
29	7756 8650 28174 28806
30	8550 12638 19454 27484
31	15398 23410 25520 26808
32	7634 15554 19352 27115
33	6090 13925 17827 29331
34	1845 2352 5982 19601
35	471 1464 3191 3634
36	17099 18086 23525
37	3397 15058 30224
38	4864 25880 26268
39	1096 4775 7912
40	1314 3259 17301
41	2481 8396 15132
42	17825 28119 28676
43	2343 8382 28840
44	18374 20939 27091
45	1290 8786 15916
46	1481 4710 28846
47	2185 3705 27086
48	5496 15681 21854
49	12697 13407 22178
50	12788 21227 22894
51	2854 6232 3609
52	2289 18227 27458
53	1965 21935 23001
54	3836 7081 12282
55	1976 18845 23135
56	497 9717 26670
57	22046 27327 30067
58	12068 28045 28990
59	2023 10933 16444
60	19566 23905 25186
61	13303 13834 28813
62	10572 20305 21388
63	14093 18024 24286
64	3612 21383 23582
65	50 11267 12288

66	771 5652 27795
67	16131 20047 25649
68	13227 23035 24450
69	4839 13467 27488
70	2852 4677 21481
71	2504 4680 15664
72	12518 14518 24267
73	1222 2218 11859
74	9660 15774 18261
75	232 6424 29978
76	9750 11165 16295
77	2706 4894 28489
78	3301 14110 28612
79	2128 14436 15883
80	6274 17243 21989
81	13202 18006 22517
82	11159 16111 21608
83	3719 11563 22100
84	1756 2020 18861
85	20913 29473 30103
86	15091 26976 27173
87	8217 9114 12963
88	5395 18516 28235
89	3859 17909 23051
90	5733 16513 18373
91	1935 3492 8437
92	11903 16760 29914
93	6091 10469 29997
94	2895 22370 29958
95	1827 12296 20070

Ví dụ khác, nếu độ dài của từ mã N_{ldpc} bằng 64800, tỷ lệ mã R bằng 10/15, M bằng 360 và Q_{ldpc} bằng 60, thì chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc trên Fig.3 được thể hiện trong bảng 11 dưới đây:

Bảng 11

i	Chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ 0 của nhóm cột thứ i
0	114 2135 3045 4635 5512 5681 6571 8943 10053 10109 13161 13668 14218 17417 19328 21140
1	2639 2821 3066 4293 5350 8130 9037 11265 12556 15047 15364 15531 15700 16938 17202 19034
2	1891 4150 4822 4855 6646 9754 10460 14005 14139 15038 17213 18336 20069 20384 21305 21508
3	305 600 3410 5170 5740 7354 8462 9026 12763 17132 17336 17653 18450 19318 20848 21559
4	1961 3637 4249 4694 8298 8784 8836 11708 12241 14172 14207 15127 15462 17277 20415 20848

5	1101 3770 7816 8727 8890 8915 8953 11655 12826 14313 15682 19622 19854 20569 20916 21129
6	726 933 3015 5034 6431 6743 7477 8927 9189 9520 14280 15514 16316 17757 20237 21175
7	1661 3074 3745 4264 4775 7633 7666 9228 12388 12657 12718 17066 18921 19463 19511 21391
8	1147 3483 3544 5553 6270 6406 7146 7256 8138 9191 9623 11239 12795 16251 16435 21092
9	885 1061 2199 3364 5421 5549 7347 7416 11477 11874 12991 15051 16857 18933 19110 21481
10	292 983 1627 6121 6408 6494 6507 10642 15569 15696 16665 17024 18043 18630 19316 20029
11	2598 2674 3504 4931 4940 8002 9284 10729 10914 13478 13677 14033 15010 15912 16183 16612
12	19 768 1263 3305 6513 7677 7956 9040 13427 16641 17280 18452 18584 18925 19559 20587
13	1071 3472 7305 7981 8574 9609 10899 14134 15508 15665 15683 16061 16224 16604 18190 21560
14	2974 5834 6290 8468 9866 11177 12398 14248 14698 15726 16200 16810 16851 18373 18942 21104
15	519 2684 2713 2845 3000 3080 3332 4682 5062 5277 9342 10811 12636 14714 15658 16426
16	2272 2629 3051 4308 5301 7108 8318 8492 11305 12219 13423 16126 17763 18304 19146 20006
17	935 1093 1641 3562 4699 5333 5730 7628 8364 8414 10343 10555 12779 12958 16626 18985
18	1038 1333 1843 1910 3245 7258 7875 12098 12729 12739 16636 18689 18877 20511 20860 21299
19	5740 6656 6901 7066 7569 8856 8947 12582 15492 15710 17072 18638 18724 18875 21444 21563
20	962 990 1199 2979 3341 8322 9285 9652 10387 11404 12387 13495 14066 16325 16514 18732
21	387 1248 2298 3376 5408 7817 7923 8203 8816 9451 11292 13649 14291 17993 19629 19739
22	84 1177 1363 3189 4699 6746 9707 10308 10460 10992 11873 13531 13696 14522 15050 20717
23	713 960 2672 4688 6602 6769 6783 10075 12807 14411 15527 15575 19179 19878 20477 21517
24	12575 15845 18200
25	5870 6972 16463
26	2025 3655 15396
27	4258 6387 14477
28	12282 12783 13274
29	1657 10810 12509
30	839 8734 21409
31	4038 5993 15640
32	3025 15282 16231
33	4342 7977 17828
34	14144 16500 21426
35	592 4952 15367
36	8156 8859 13113
37	7267 9133 20155
38	17111 17306 21301
39	2655 5258 14267
40	5844 13026 18796
41	2681 5686 15609
42	2031 3980 4228
43	75 18922 20730
44	18712 20866 21302
45	10974 13003 20481
46	4494 6964 18238
47	3679 12972 13411
48	13207 16406 19548
49	6039 6320 14581

50	4721 20336 20819
51	2797 15321 20509
52	8307 8774 19113
53	3394 10487 13963
54	4325 12098 14305
55	13667 19264 19649
56	1163 16176 20823
57	2324 10790 14560
58	12791 14068 17743
59	9765 12262 20117
60	1456 11096 13570
61	6900 7111 15217
62	4009 5995 7322
63	10673 11315 17310
64	5792 10504 18221
65	4748 14299 16554
66	4176 14868 20718
67	6147 9429 15884
68	9044 10345 21417
69	7737 7873 11969
70	3924 4494 8326
71	5535 6651 16116
72	11 6993 20602
73	15798 17918 19172
74	1181 11171 13206
75	4040 4567 18197
76	1255 11889 17730
77	2099 5538 14774
78	482 5768 7475
79	3418 4801 20715
80	5925 16632 20285
81	2034 11271 21000
82	7238 8108 20848
83	193 11374 15841
84	5056 9673 12441
85	8026 17906 18037
86	162 4432 8739
87	1582 5268 20880
88	3494 17600 18684
89	3029 6710 11442
90	9289 19099 19407
91	7802 9130 20598
92	5140 8731 15358
93	14153 16376 19323
94	4847 11843 21567

95	4840 14455 17248
96	1117 4061 13355
97	7636 9748 21108
98	9068 13023 13346
99	1139 14402 20245
100	2190 11366 17004
101	2989 5524 8199
102	8489 8899 15486
103	6683 6970 13387
104	3745 9975 15713
105	1250 4246 5973
106	8941 9992 17805
107	7986 13776 21297
108	2781 3232 16020
109	7654 15969 16071
110	4002 13033 19217
111	4603 7439 9192
112	1390 8673 18485
113	4845 6024 14633
114	6083 14165 15640
115	9652 13452 21404
116	4196 7787 17371
117	2959 6783 13581
118	11596 18575 20878
119	17078 20134 20870

Ví dụ khác, nếu độ dài của từ mã N_{ldpc} bằng 64800, tỷ lệ mã R bằng 12/15, M bằng 360 và Q_{ldpc} bằng 36, thì chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc trên Fig.3 được thể hiện trong bảng 12 dưới đây:

Bảng 12

i	Chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ 0 của nhóm cột thứ i
0	57 3127 3324 3362 3471 4108 4850 5588 5721 6436 6845 9325 11745 12956
1	651 893 1879 2641 2807 4123 4406 5364 6346 8530 9387 10301 11047 12660
2	1925 2592 2655 4108 4433 4544 4614 7081 7254 7759 7815 9121 9453 10613
3	718 1559 1859 2697 3739 3948 4506 4982 6898 7410 7569 8243 10840 12075
4	21 1387 1645 1980 4188 4751 6148 7864 8498 8647 9715 10513 11114 12910
5	1082 2045 2395 3663 4597 4727 7055 8123 8189 8618 8782 11114 11716 12211
6	312 951 2269 2569 4820 4972 5803 5816 6406 6861 8277 8398 9349 10816
7	20 1833 2300 4962 5267 5653 6215 7098 7434 7509 9235 10331 10731 11060
8	594 1091 1743 1809 2686 3095 3316 5381 5927 6115 7100 7750 9901 11091
9	1065 1236 1716 2628 4589 5164 5209 6502 7719 10107 11333 11599 12011 12893

10	1799 2958 3999 4196 4351 4358 5019 5128 5840 6154 6961 9328 10530 11440
11	2982 3133 4612 4776 4986 6276 6992 7372 7589 7831 8109 8619 11594 12694
12	282 3140 3300 4219 4459 5189 5525 6753 8154 8522 8931 9073 10019 10654
13	298 1137 3973 4000 7328 7923 8602 8734 8792 9419 9748 9988 10200 10985
14	1142 1639 1997 3951 4388 4638 5676 6478 6738 6927 8643 8793 11528 11949
15	629 1735 3072 3268 3585 3888 4491 4622 5294 6817 6829 9003 9930 10426
16	486 1200 1594 2713 3273 3440 4667 5247 7304 7901 8302 8576 9014 10180
17	2377 2471 3742 5186 7137 9518 9798 10029 10060 11052 12109 12660 12716 12762
18	175 1242 2118 4101 4130 6252 6598 7272 7342 7834 7859 7924 10940 11032
19	550 1349 2360 2373 2895 3442 5258 5695 8512 8882 10710 11562 11940 12432
20	1791 2788 4958 5573 5917 5952 6195 7376 7920 7971 8983 10817 10883 11550
21	639 1000 2387 2429 3548 3659 4186 6741 7490 8383 8760 9392 9649 11971
22	523 1269 2262 2987 3073 3811 4227 5028 5181 8471 8712 9421 9509 11871
23	117 266 505 1967 2620 3188 5282 7194 8119 8251 8290 10433 12174 12337
24	896 3196 3714 4979 5258 5584 5945 7142 7713 9745 9789 11252 11339 11945
25	864 2383 2594 3398 5969 6116 6418 6649 7199 7242 8169 9221 9740 9890
26	1334 1487 12881
27	1447 4633 11032
28	273 1257 10453
29	5102 10999 12496
30	7578 9743 10513
31	7156 10266 10546
32	3199 7369 7824
33	2354 7674 8569
34	3687 9478 12663
35	2997 9418 9581
36	6519 8081 11229
37	9894 9899 11254
38	6 9344 11731
39	9612 12680 12776
40	353 10896 11643
41	945 2537 9804
42	2915 8984 11098
43	2353 4884 7456
44	6003 8924 11646
45	349 748 8625
46	4799 7204 12240
47	2464 8958 11020
48	1915 2903 12358
49	2246 3032 12531
50	2594 12742 12914
51	2002 10995 12079
52	853 1049 5022
53	4142 4301 6413
54	914 3882 12047

55	5479 10413 11225
56	228 6874 11183
57	2836 9737 10728
58	1795 9981 12734
59	2641 2844 11779
60	1245 9983 12804
61	6002 8612 9704
62	1237 1760 7504
63	844 1485 5869
64	2657 4461 5642
65	2423 4203 9111
66	244 1855 6131
67	5318 6371 11430
68	391 1617 10126
69	1762 9259 10603
70	2604 4335 6702
71	4381 5486 8045
72	7667 8875 11451
73	1968 4023 6911
74	4630 10184 11357
75	6582 12348 12769
76	3840 6302 7388
77	1 4197 5358
78	1265 3153 11352
79	2504 7180 10044
80	1980 5027 9717
81	5699 6899 9668
82	1432 2803 3314
83	1237 8470 9642
84	829 6745 7923
85	329 1931 5575
86	1067 6867 7257
87	4744 5559 7835
88	109 6756 12238
89	2814 5237 11153
90	1592 10696 10749
91	225 2293 6260
92	646 2170 7578
93	6466 8222 9838
94	44 6574 12160
95	1755 2734 12780
96	1249 8264 8318
97	5789 6622 9481
98	5666 8581 8744
99	123 5803 9291

100	3750 7919 9167
101	1064 2848 12753
102	2142 8656 9244
103	6193 7219 11732
104	7356 7819 9928
105	4780 5937 11993
106	5092 7186 9141
107	1238 3840 12360
108	1649 2096 2587
109	5560 5903 12899
110	1134 4341 8330
111	1645 9495 10041
112	9585 11595 12912
113	8748 10646 11894
114	45 7255 9074
115	1051 2694 6188
116	622 3460 8394
117	3598 4623 9025
118	1218 3540 12843
119	4938 8698 12423
120	1766 3635 11427
121	5177 6706 9127
122	943 3590 10245
123	4864 7394 11117
124	5852 6042 10421
125	8285 10775 12349
126	787 7171 7866
127	718 4688 12234
128	728 2353 10667
129	3629 4592 6485
130	2880 5157 11466
131	2906 10220 11796
132	4243 5440 10907
133	5262 7543 12303
134	4440 7779 10940
135	2515 5843 9202
136	4684 8874 10586
137	2270 7197 8652
138	7190 7870 8317
139	1158 10456 12909
140	1583 7669 10781
141	8141 11209 12555
142	3181 3903 7832
143	2428 4467 8074

Trong phương pháp thiết kế mã, quy trình thực hiện bước 4 áp dụng phương pháp nâng có xem xét đến các đặc trưng tuần hoàn. Khi xem xét thêm các đặc trưng đại số và cả các đặc trưng tuần hoàn, thì cũng có thể thiết kế được các mã có hiệu suất cao hơn.

Nói chung, vì hiệu suất của các mã LDPC ảnh hưởng đến sơ đồ phân bố bậc cũng như các đặc trưng tuần hoàn, cho nên có thể thiết kế được các mã có hiệu suất cao hơn khi xem xét cả hai đặc trưng này.

Theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, các thông số có thể được xác định tùy thuộc vào các chu kỳ có độ dài ngắn nhất và số lượng nút thay đổi có trong các chu kỳ đó và có bậc cụ thể, và đây có thể được xác định tùy thuộc vào quy tắc được xác định dựa vào các thông số trong phương pháp nâng.

Ví dụ, khi phương pháp nâng được áp dụng cho một nhóm cột có bậc là A và B, thì có thể chỉ xem xét một chu kỳ mà trong đó số lượng nút thay đổi có bậc là A trong số các nút thay đổi có trong chu kỳ đó khi phương pháp nâng được thực hiện cho nhóm cột có bậc là A bằng hoặc nhỏ hơn x_1 và giá trị của các nút thay đổi (số lượng nút thay đổi có bậc là A + số lượng nút thay đổi có bậc là B $\times$ C) có trong chu kỳ đó khi phương pháp nâng được thực hiện cho nhóm cột có bậc là B bằng hoặc nhỏ hơn x_2 .

Tuy nhiên, tất cả các chu kỳ đều được xem xét khi phương pháp nâng được áp dụng cho các nhóm cột có bậc không phải là A và B.

Ở đây, A là số nguyên dương bằng hoặc lớn hơn hai (2), B là số nguyên dương lớn hơn A và nhỏ hơn bậc lớn nhất của ma trận kiểm tra chẵn lẻ, và C là hệ số trọng số và có giá trị nguyên dương.

Ngoài ra, tất cả các chu kỳ đều được xem xét mà không cần tách ra một chu kỳ cụ thể khi phương pháp nâng được áp dụng cho các nhóm cột có bậc không phải là A và B.

Xét một ví dụ cụ thể, trường hợp $A = 3$, $B = 4$ và $C = 2$ sẽ được mô tả dưới đây.

Ví dụ, trong phương pháp nâng, phương pháp nâng được thực hiện khi chỉ xem xét những chu kỳ mà trong đó số lượng nút thay đổi (số lượng nút thay đổi tương đương với số lượng cột) có bậc bằng ba (3) trong số các nút thay đổi có trong các chu kỳ đó khi phương pháp nâng được thực hiện cho các nhóm cột có bậc bằng ba (3) bằng hoặc nhỏ

hơn x_1 và (số lượng nút thay đổi có bậc là 4×2 + số lượng nút thay đổi có bậc bằng ba (3)) trong số các nút thay đổi có trong các chu kỳ đó khi phương pháp nâng được thực hiện cho các nhóm cột có bậc là bốn (4) bằng hoặc nhỏ hơn x_2 .

Tức là khi các giá trị chỉ số có thay đổi trong phương pháp nâng, thì phương pháp nâng được lặp lại cho tới khi số lượng nút thay đổi có các chu kỳ không cải thiện thêm nữa, để thay đổi các giá trị chỉ số tùy thuộc vào bậc của mỗi nút thay đổi khi chỉ xem xét những chu kỳ tương ứng với các điều kiện này.

Thông thường, trong phương pháp nâng đơn giản, ma trận kiểm tra chẵn lẻ được thiết kế sao cho số lượng chu kỳ giảm xuống. Trong phương pháp này, ma trận kiểm tra chẵn lẻ được thiết kế sao cho số lượng chu kỳ đáp ứng các điều kiện nêu trên giảm xuống.

Lý do tại sao các điều kiện nêu trên ảnh hưởng đến việc thiết kế các mã LDPC có hiệu suất cao hơn là vì các chu kỳ và các sơ đồ phân bố bậc ảnh hưởng đến các mã LDPC được xem xét trong các điều kiện nêu trên.

Ví dụ về các mã LDPC được thiết kế có xem xét đến các điều kiện bổ sung này được thể hiện trong các bảng dưới đây từ bảng 13 đến bảng 18. Để tham khảo, độ dài và tỷ lệ mã giống với độ dài và tỷ lệ mã của các mã LDPC được thể hiện trong các bảng trên đây từ bảng 9 đến bảng 12 được thiết kế, các giá trị (x_1, x_2) bằng (4, 5) được xem xét trong bảng 13, các giá trị (x_1, x_2) bằng (4, 5) được xem xét trong bảng 14, các giá trị (x_1, x_2) bằng (3, 4) được xem xét trong bảng 15, và các giá trị (x_1, x_2) bằng (3, 4) được xem xét trong bảng 16. Ngoài ra, các giá trị (x_1, x_2) bằng (8, 8) được xem xét trong bảng 17 và các giá trị (x_1, x_2) bằng (3, 4) được xem xét trong bảng 18.

Trong ví dụ về các mã LDPC được thiết kế có xem xét đến các điều kiện bổ sung nêu trên, nếu độ dài của từ mã N_{ldpc} bằng 64800, tỷ lệ mã R bằng 6/15, M bằng 360, và Q_{ldpc} bằng 108, thì chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc trên Fig.3 được thể hiện trong bảng 13 dưới đây:

Bảng 13

i	Chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ 0 của nhóm cột thứ i
0	253 1553 2024 4493 5350 5664 6351 8563 8803 9576 9936 11995 12166 13193 13412 17088 21893 22167 22478 22673 23735 35313 36981 37527
1	1238 1701 2316 3621 7222 8387 9190 10178 10599 10744 11743 18179 22465 23562 23820 26493 28168 28515 28940 29982 31196 32946 33687 34305
2	1475 1874 2994 3168 3381 3988 7646 9309 11199 12856 15025 16586 20113 23155 24030 27491 28235 29392 30885 32896 33656 33785 34685 38713
3	512 721 1813 3144 3276 6198 13540 14553 15017 15548 16120 17449 19101 19763 24180 25629 27612 29682 30910 32038 35346 36607 36836 37876
4	333 1124 3269 4236 4920 5207 6154 7041 7282 7979 8472 9302 10033 14295 15888 16485 18963 24572 26642 27516 30242 31209 32000 33259
5	2528 4425 4656 6631 8875 10621 12590 13334 14011 16406 16937 18942 20315 24078 24889 27298 29555 30123 30513 33101 33403 33787 36651 37975
6	414 721 898 2093 3813 8358 9316 11235 12032 12568 14339 14908 15390 19210 19450 22689 22840 28044 31218 35042 35348 35863 37611 37837
7	979 3559 4988 6900 7254 7491 11518 12297 12928 14894 15473 16179 16667 17744 20983 22854 24913 25640 28792 29536 30428 32284 33732 34523
8	353 1877 2171 5080 7140 7878 8762 11558 14836 15000 15513 16490 17423 18943 21094 22348 23394 24182 26203 28328 32408 34284 38061 38259
9	142 1961 5219 5816 9555 10358 10675 15251 15716 16079 20566 21470 23007 25419 27130 28000 28693 30742 30862 33209 33472 33851 35546 36115
10	1388 4346 5764 6052 7940 9207 13401 13603 14233 14411 16310 16598 22524 22824 26535 27965 28433 30605 31984 34241 35730 36139 37261 37720
11	106 1441 3892 4300 5026 7207 8648 14012 15828 17007 19409 22942 26363 28363 28806 29351 29722 33033 35204 35315 35824 37901 38036 38643
12	2607 5309 6506 9122 9318 9889 10322 12074 13373 14058 15341 15774 18154 18749 21949 27887 29885 31294 31487 32769 32890 37983 38403 38879
13	2154 4374 10366 10605 11179 15994 18855 20342 23936 24777 25768 26371 26745 27049 27324 27493 27985 29781 30148 33240 33673 34441 35057 35731
14	3054 6385 6561 6755 7795 9366 10392 12042 12832 14851 16187 17441 18536 20967 21792 24084 24505 26677 28167 28334 35199 36745 37533 37786
15	2735 3833 10268 17606
16	559 9607 17652 34573
17	9528 12139 14306 38416
18	11978 17094 25891 30040
19	14811 15531 27333 31274
20	12926 28602 32103 35600
21	8616 14917 18992 23478
22	7416 8568 10248 36672
23	3611 15521 17793 32467
24	4662 7908 8894 32722
25	8156 28077 32840 35719
26	977 17949 23380 26181

27	7655 9515 12185 17821
28	1107 8520 16782 23241
29	16942 19784 22031 22955
30	1054 23163 23793 37789
31	8509 17981 22306 33327
32	2253 11397 16225 30826
33	23654 30073 31421 33140
34	18286 19445 29945 38405
35	7535 8608 21915 38260
36	11082 13972 17895 18931
37	8114 25376 25660 33718
38	3380 5946 20124 37272
39	10159 18822 22456 29291
40	15289 18016 18512 37003
41	18471 19326 27834 28119
42	15326 28272 36142 37826
43	12277 20646 22411 22658
44	12199 23328 35495 36055
45	17318 24311 29009
46	1528 32815 33640
47	15978 19141 25776
48	8683 11960 16957
49	15799 20829 29164
50	574 5582 20145
51	8814 18673 31081
52	8394 25659 36739
53	23615 32879 37483
54	12766 30755 35696
55	4302 18788 25093
56	13205 14424 33529
57	864 16070 22924
58	7120 10085 31057
59	5399 13946 32583
60	1364 12423 19355
61	12356 2495 8 32026
62	11997 25582 36581
63	6074 9516 18414
64	7102 22587 33797
65	8709 19457 38831
66	9502 10266 24362
67	1801 12579 34408
68	471 34954 37293
69	1666 3123 8513
70	9160 11576 26384
71	14311 20399 33952

Trong ví dụ khác về các mã LDPC được thiết kế có xem xét đến các điều kiện bổ sung nêu trên, nếu độ dài của từ mã N_{ldpc} bằng 64800, tỷ lệ mã R bằng 8/15, M bằng 360, và Q_{ldpc} bằng 84, thì chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc trên Fig.3 được thể hiện trong bảng 14 dưới đây:

Bảng 14

i	Chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ 0 của nhóm cột thứ i
0	2768 3039 4059 5856 6245 7013 8157 9341 9802 10470 11521 12083 16610 18361 20321 24601 27420 28206 29788
1	2739 8244 8891 9157 12624 12973 15534 16622 16919 18402 18780 19854 20220 20543 22306 25540 27478 27678 28053
2	1727 2268 6246 7815 9010 9556 10134 10472 11389 14599 15719 16204 17342 17666 18850 22058 25579 25860 29207
3	28 1346 3721 5565 7019 9240 12355 13109 14800 16040 16839 17369 17631 19357 19473 19891 20381 23911 29683
4	869 2450 4386 5316 6160 7107 10362 11132 11271 13149 16397 16532 17113 19894 22043 22784 27383 28615 28804
5	508 4292 5831 8559 10044 10412 11283 14810 15888 17243 17538 19903 20528 22090 22652 27235 27384 28208 28485
6	389 2248 5840 6043 7000 9054 11075 11760 12217 12565 13587 15403 19422 19528 21493 25142 27777 28566 28702
7	1015 2002 5764 6777 9346 9629 11039 11153 12690 13068 13990 16841 17702 20021 24106 26300 29332 30081 30196
8	1480 3084 3467 4401 4798 5187 7851 11368 12323 14325 14546 16360 17158 18010 21333 25612 26556 26906 27005
9	6925 8876 12392 14529 15253 15437 19226 19950 20321 23021 23651 24393 24653 26668 27205 28269 28529 29041 29292
10	2547 3404 3538 4666 5126 5468 7695 8799 14732 15072 15881 17410 18971 19609 19717 22150 24941 27908 29018
11	888 1581 2311 5511 7218 9107 10454 12252 13662 15714 15394 17025 18671 24304 25316 25556 28489 28977 29212
12	1047 1494 1718 4645 5030 6811 7868 8146 10611 15767 17682 18391 22614 23021 23763 25478 26491 29088 29757
13	59 1781 1900 3814 4121 8044 8906 9175 11156 14841 15789 16033 16755 17292 18550 19310 22505 29567 29850
14	1952 3057 4399 9476 10171 10769 11335 11569 15002 19501 20621 22642 23452 24360 25109 25290 25828 28505 29122
15	2895 3070 3437 4764 4905 6670 9244 11845 13352 13573 13975 14600 15871 17996 19672 20079 20579 25327 27958
16	612 1528 2004 4244 4599 4926 5843 7684 10122 10443 12267 14368 18413 19058 22985 24257 26202 26596 27899

17	1361 2195 4146 6708 7158 7538 9138 9998 14862 15359 16076 18925 21401 21573 22503 24146 24247 27778 29312
18	5229 6235 7134 7655 9139 13527 15408 16058 16705 18320 19909 20901 22238 22437 23654 25131 27550 28247 29903
19	697 2035 4887 5275 6909 9166 11805 15338 16381 18403 20425 20688 21547 24590 25171 26726 28848 29224 29412
20	5379 17329 22659 23062
21	11814 14759 22329 22936
22	2423 2811 10296 12727
23	8460 15260 16769 17290
24	14191 14608 29536 30187
25	7103 10069 20111 22850
26	4285 15413 26448 29069
27	548 2137 9189 10928
28	4581 7077 23382 23949
29	3942 17248 19486 27922
30	8668 10230 16922 26678
31	6158 9980 13788 28198
32	12422 16076 24206 29887
33	8778 10649 18747 22111
34	21029 22677 27150 28980
35	7918 15423 27672 27803
36	5927 18086 23525
37	3397 15058 30224
38	24016 25880 26268
39	1096 4775 7912
40	3259 17301 20802
41	129 8396 15132
42	17825 28119 28676
43	2343 8382 28840
44	3907 18374 20939
45	1132 1290 8786
46	1481 4710 28846
47	2185 3705 26834
48	5496 15681 21854
49	12697 13407 22178
50	12788 21227 22894
51	629 2854 6232
52	2289 18227 27458
53	7593 21935 23001
54	3836 7081 12282
55	7925 18440 23135
56	497 6342 9717
57	11199 22046 30067
58	12572 28045 28990

59	1240 2023 10933
60	19566 20629 25186
61	6442 13303 28813
62	4765 10572 16180
63	552 19301 24286
64	6782 18480 21383
65	11267 12288 15758
66	771 5652 15531
67	16131 20047 25649
68	13227 23035 24450
69	4839 13467 27488
70	2852 4677 22993
71	2504 28116 29524
72	12518 17374 24267
73	1222 11859 27922
74	9660 17286 18261
75	232 11296 29978
76	9750 11165 16295
77	4894 9505 23622
78	10861 11980 14110
79	2128 15883 22836
80	6274 17243 21989
81	10866 13202 22517
82	11159 16111 21608
83	3719 18787 22100
84	1756 2020 23901
85	20913 29473 30103
86	2729 15091 26976
87	4410 8217 12963
88	5395 24564 28235
89	3859 17909 23051
90	5733 26005 29797
91	1935 3492 29773
92	11903 21380 29914
93	6091 10469 29997
94	2895 8930 15594
95	1827 10028 20070

Trong ví dụ khác về các mã LDPC được thiết kế có xem xét đến các điều kiện bổ sung nêu trên, nếu độ dài của từ mã N_{ldpc} bằng 64800, tỷ lệ mã R bằng 10/15, M bằng 360, và Q_{ldpc} bằng 60, thì chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc trên Fig.3 được thể hiện trong bảng 15 dưới đây:

Bảng 15

i	Chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ 0 của nhóm cột thứ i
0	501 1533 5943 9232 10258 10428 10965 11934 14081 14708 15509 17251 18380 19815 20075 20237
1	753 1266 2017 3107 4210 4770 6520 10861 11594 13191 14116 18342 18604 18825 19398 21479
2	2379 3029 3140 3398 4528 6562 8575 9593 11196 11585 12931 13064 13825 15886 20854 21010
3	733 1262 2250 4910 8165 8374 8698 10543 10930 12940 14520 14936 15752 16879 19226 20188
4	2056 2341 4237 4807 6469 7708 8895 9548 13274 13404 13481 14082 15647 17712 19377 19638
5	2882 3081 3633 4047 4755 5094 5589 6709 12526 12710 12910 13342 14196 17836 20353 21095
6	34 309 1187 3000 3097 3246 6280 6873 7074 8935 12615 13517 14363 16317 19856 20591
7	2181 2381 3551 6904 6995 8248 9023 9348 9433 11097 12914 17326 17671 18658 19585 20846
8	915 2036 2104 2790 3606 4763 6319 7807 8918 9311 13431 15723 19953 20935 21092 21286
9	1921 2131 2321 3114 4589 5133 5477 8265 9891 13941 14404 15777 17310 17787 18399 20916
10	1612 3502 3696 5084 6421 7410 7723 8467 8787 9434 11516 14329 14505 17723 19229 19308
11	2900 3311 3430 3984 4843 5422 6049 7374 7572 11037 15112 15173 17144 20378 20718 20854
12	4685 4896 7712 9120 10019 11988 12657 12907 13113 13519 14384 15347 16180 17125 19923 20661
13	189 2543 5548 6001 8979 9224 12641 13404 13505 13674 16011 16234 16820 17230 18945 19912
14	788 6540 7724 9898 13150 13817 15313 15554 15928 16118 17734 18170 18385 19422 20106 20931
15	4779 4964 6722 8474 9298 10620 11326 11471 12897 13482 15805 17076 18193 18260 20122 21392
16	385 2524 3486 4503 6708 7712 8632 8908 9283 10826 12081 12699 16551 16846 19058 20749
17	1405 1748 3058 4219 9053 9906 10581 11242 11515 14910 15143 16499 18395 18853 19454 21264
18	1875 2716 5358 6878 7089 8758 9659 11909 12290 12697 14631 17200 18305 18973 19159 21583
19	683 1564 1718 3350 3940 5672 6189 9361 11347 11915 13236 15946 16404 18372 21116 21282
20	962 4602 5035 5827 8007 10139 11524 11970 13479 13586 16061 18532 18705 19152 19625 20054
21	497 1698 1976 2383 2823 3479 7527 9948 11889 13649 14491 15431 16868 17232 18316 20453
22	1029 6199 8477 9707 10400 10913 11617 11923 12482 14690 14988 15796 16104 19272 20426 20731
23	95 953 1208 1818 5640 5797 8852 9399 9595 10877 11087 13129 15122 16631 17643 18867
24	12575 12680 15845
25	5870 6972 16463
26	2025 3655 7716
27	4258 6387 14477
28	12282 13274 18603
29	1657 10810 12509
30	839 8734 21409
31	4038 5993 15640
32	14005 15282 18931
33	4342 7977 17828
34	14144 16500 21426
35	592 4952 13747
36	8156 8859 18093
37	5995 7267 9133
38	5581 17111 17306
39	3218 7635 14267
40	5844 13026 18796
41	5686 12821 15609

42	3980 4228 7731
43	75 18922 20730
44	18712 20866 21302
45	10674 13003 20481
46	1914 6964 18238
47	12972 13411 21559
48	13207 16406 19548
49	4021 6039 6320
50	4721 20336 20819
51	2797 15321 20509
52	8187 8774 19113
53	3634 10487 13963
54	3205 4325 12098
55	1444 4409 13667
56	1163 5856 7623
57	2324 10790 14560
58	1468 12791 17743
59	9765 12262 20117
60	1456 4150 11096
61	6900 9631 15217
62	4009 5995 7322
63	10673 11315 17310
64	5792 10504 18221
65	4748 14299 14994
66	4176 14868 20718
67	6147 15884 19749
68	9044 10345 20757
69	5817 7873 11969
70	3114 3924 8326
71	5535 6651 16116
72	7642 16391 17673
73	15798 17918 19172
74	1181 5291 17166
75	4220 4567 18197
76	1255 17730 19449
77	2099 5538 14774
78	6542 7475 17228
79	3418 4801 20715
80	1145 4245 16632
81	2034 11271 21000
82	7238 8103 15208
83	193 11374 15841
84	1333 5056 12441
85	8026 17906 18037
86	162 4432 8739

87	4762 5268 8940
88	3494 6384 17600
89	3029 6710 11442
90	919 9289 19407
91	9130 17762 20598
92	5140 17911 20878
93	14153 16376 19323
94	3863 4847 21567
95	2608 4840 14455
96	1117 4061 5255
97	13468 14536 14928
98	9068 13023 13346
99	1139 14402 15445
100	2190 17004 17906
101	2989 5524 12399
102	8489 8899 15486
103	6683 6970 13387
104	3745 9975 17753
105	1250 4246 17193
106	9992 19441 19965
107	5796 7986 21297
108	2781 3232 16020
109	6891 7654 15969
110	4002 13033 19217
111	7439 9192 13183
112	1390 8673 18485
113	24 4845 14633
114	6083 14765 15640
115	9652 13452 21404
116	7787 10616 17371
117	2959 6783 13581
118	11596 18575 20878
119	8318 14614 20870

Trong ví dụ khác về các mã LDPC được thiết kế có xem xét đến các điều kiện bổ sung nêu trên, nếu độ dài của từ mã N_{ldpc} bằng 64800, tỷ lệ mã R bằng 12/15, M bằng 360, và Q_{ldpc} bằng 36, thì chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc trên Fig.3 được thể hiện trong bảng 16 dưới đây:

Bảng 16

i	Chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ 0 của nhóm cột thứ i
0	584 1472 1621 1867 3338 3568 3723 4185 5126 5889 7737 8632 8940 9725
1	221 445 590 3779 3835 6939 7743 8280 8448 8491 9367 10042 11242 12917
2	4662 4837 4900 5029 6449 6687 6751 8684 9936 11681 11811 11886 12089 12909
3	2418 3018 3647 4210 4473 7447 7502 9490 10067 11092 11139 11256 12201 12383
4	2591 2947 3349 3406 4417 4519 5176 6672 8498 8863 9201 11294 11376 12184
5	27 101 197 290 871 1727 3911 5411 6676 8701 9350 10310 10798 12439
6	1765 1897 2923 3584 3901 4048 6963 7054 7132 9165 10184 10824 11278 12669
7	2183 3740 4808 5217 5660 6375 6787 8219 8466 9037 10353 10583 11118 12762
8	73 1594 2146 2715 3501 3572 3639 3725 6959 7187 8406 10120 10507 10691
9	240 732 1215 2185 2788 2830 3499 3881 4197 4991 6425 7061 9756 10491
10	831 1568 1828 3424 4319 4516 4639 6018 9702 10203 10417 11240 11518 12458
11	2024 2970 3048 3638 3676 4152 5284 5779 5926 9426 9945 10873 11787 11837
12	1049 1218 1651 2328 3493 4363 5750 6483 7613 8782 9738 9803 11744 11937
13	1193 2060 2289 2964 3478 4592 4756 6709 7162 8231 8326 11140 11908 12243
14	978 2120 2439 3338 3850 4589 6567 8745 9656 9708 10161 10542 10711 12639
15	2403 2938 3117 3247 3711 5593 5844 5932 7801 10152 10226 11498 12162 12941
16	1781 2229 2276 2533 3582 3951 5279 5774 7930 9824 10920 11038 12340 12440
17	289 384 1980 2230 3464 3873 5958 8656 8942 9006 10175 11425 11745 12530
18	155 354 1090 1330 2002 2236 3559 3705 4922 5958 6576 8564 9972 12760
19	303 876 2059 2142 5244 5330 6644 7576 8614 9598 10410 10718 11033 12957
20	3449 3617 4408 4602 4727 6182 8835 8928 9372 9644 10237 10747 11655 12747
21	811 2565 2820 8677 8974 9632 11069 11548 11839 12107 12411 12695 12812 12890
22	972 4123 4943 6385 6449 7339 7477 8379 9177 9359 10074 11709 12552 12831
23	842 973 1541 2262 2905 5276 6758 7099 7894 8128 8325 8663 8875 10050
24	474 791 968 3902 4924 4965 5085 5908 6109 6329 7931 9038 9401 10568
25	1397 4461 4658 5911 6037 7127 7318 8678 8924 9000 9473 9602 10446 12692
26	1334 7571 12881
27	1393 1447 7972
28	633 1257 10597
29	4843 5102 11056
30	3294 8015 10513
31	1108 10374 10546
32	5353 7824 10111
33	3398 7674 8569
34	7719 9478 10503
35	2997 9418 9581
36	5777 6519 11229
37	1966 5214 9899
38	6 4088 5827
39	836 9248 9612
40	483 7229 7548
41	7865 8289 9804

42	2915 11098 11900
43	6180 7096 9481
44	1431 6786 8924
45	748 6757 8625
46	3312 4475 7204
47	1852 8958 11020
48	1915 2903 4006
49	6776 10836 12531
50	2594 9998 12742
51	159 2002 12079
52	853 3281 3762
53	5201 5798 6413
54	3882 6062 12047
55	4133 6775 9657
56	228 6874 11183
57	7433 10728 10864
58	7735 8073 12734
59	2844 4621 11779
60	3909 7103 12804
61	6002 9704 11060
62	5864 6856 7681
63	3652 5869 7605
64	2546 2657 4461
65	2423 4203 9111
66	244 1855 4691
67	1106 2178 6371
68	391 1617 10126
69	250 9259 10603
70	3435 4614 6924
71	1742 8045 9529
72	7667 8875 11451
73	4023 6108 6911
74	8621 10184 11650
75	6726 10861 12348
76	3228 6302 7388
77	1 1137 5358
78	381 2424 8537
79	3256 7508 10044
80	1980 2219 4569
81	2468 5699 10319
82	2803 3314 12808
83	8578 9642 11533
84	829 4585 7923
85	59 329 5575
86	1067 5709 6867

87	1175 4744 12219
88	109 2518 6756
89	2105 10626 11153
90	5192 10696 10749
91	6260 7641 8233
92	2998 3094 11214
93	3398 6466 11494
94	6574 10448 12160
95	2734 10755 12780
96	1028 7958 10825
97	8545 8602 10793
98	392 3398 11417
99	6639 9291 12571
100	1067 7919 8934
101	1064 2848 12753
102	6076 8656 12690
103	5504 6193 10171
104	1951 7156 7356
105	4389 4780 7889
106	526 4804 9141
107	1238 3648 10464
108	2587 5624 12557
109	5560 5903 11963
110	1134 2570 3297
111	10041 11583 12157
112	1263 9585 12912
113	3744 7898 10646
114	45 9074 10315
115	1051 6188 10038
116	2242 8394 12712
117	3598 9025 12651
118	2295 3540 5610
119	1914 4378 12423
120	1766 3635 12759
121	5177 9586 11143
122	943 3590 11649
123	4864 6905 10454
124	5852 6042 10421
125	6095 8285 12349
126	2070 7171 8563
127	718 12234 12716
128	512 10667 11353
129	3629 6485 7040
130	2880 8865 11466
131	4490 10220 11796

132	5440 8819 9103
133	5262 7543 12411
134	516 7779 10940
135	2515 5843 9202
136	4684 5994 10586
137	573 2270 3324
138	7870 8317 10322
139	6856 7638 12909
140	1583 7669 10781
141	8141 9085 12555
142	3903 5485 9992
143	4467 11998 12904

Trong ví dụ khác về các mã LDPC được thiết kế có xem xét đến các điều kiện bổ sung nêu trên, nếu độ dài của từ mã N_{ldpc} bằng 64800, tỷ lệ mã R bằng 6/15, M bằng 360, và Q_{ldpc} bằng 108, thì chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc trên Fig.3 được thể hiện trong bảng 17 dưới đây:

Bảng 17

i	Chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ 0 của nhóm cột thứ i
0	1606 3402 4961 6751 7132 11516 12300 12482 12592 13342 13764 14123 21576 23946 24533 25376 25667 26836 31799 34173 35462 36153 36740 37085 37152 37468 37658
1	4621 5007 6910 8732 9757 11508 13099 15513 16335 18052 19512 21319 23663 25628 27208 31333 32219 33003 33239 33447 36200 36473 36938 37201 37283 37495 38642
2	16 1094 2020 3080 4194 5098 5631 6877 7889 8237 9804 10067 11017 11366 13136 13354 15379 18934 20199 24522 26172 28666 30386 32714 36390 37015 37162
3	700 897 1708 6017 6490 7372 7825 9546 10398 16605 18561 18745 21625 22137 23693 24340 24966 25015 26995 28586 28895 29687 33938 34520 34858 37056 38297
4	159 2010 2573 3617 4452 4958 5556 5832 6481 8227 9924 10836 14954 15594 16623 18065 19249 22394 22677 23408 23731 24076 24776 27007 28222 30343 38371
5	3118 3545 4768 4992 5227 6732 8170 9397 10522 11508 15536 20218 21921 28599 29445 29758 29968 31014 32027 33685 34378 35867 36323 36728 36870 38335 38623
6	1264 4254 6936 9165 9486 9950 10861 11653 13697 13961 15164 15665 18444 19470 20313 21189 24371 26431 26999 28086 28251 29261 31981 34015 35850 36129 37186
7	111 1307 1628 2041 2524 5358 7988 8191 10322 11905 12919 14127 15515 15711 17061 19024 21195 22902 23727 24401 24608 25111 25228 27338 35398 37794 38196
8	961 3035 7174 7948 13355 13607 14971 18189 18339 18665 18875 19142 20615 21136 21309 21758 23366 24745 25849 25982 27583 30006 31118 32106 36469 36583 37920
9	2990 3549 4273 4808 5707 6021 6509 7456 8240 10044 12262 12660 13085 14750 15680 16049 21587 23997 25803 28343 28693 34393 34860 35490 36021 37737 38296
10	955 4323 5145 6885 8123 9730 11840 12216 19194 20313 23056 24248 24830 25268 26617 26801 28557 29753 30745 31450 31973 32839 33025 33296 35710 37366 37509

11	264 605 4181 4483 5156 7238 8863 10939 11251 12964 16254 17511 20017 22395 22818 23261 23422 24064 26329 27723 28186 30434 31956 33971 34372 36764 38123
12	520 2562 2794 3528 3860 4402 5676 6963 8653 9018 9783 11933 16336 17193 17320 19035 20606 23579 23769 24123 24966 27866 32457 34011 34499 36620 37526
13	10106 10637 10906 34242
14	1856 15100 19378 21848
15	943 11191 27806 29411
16	4575 6359 13629 19383
17	4476 4953 18782 24313
18	5441 6381 21840 35943
19	9638 9763 12546 30120
20	9587 10626 11047 25700
21	4088 15298 28768 35047
22	2332 6363 8782 28863
23	4625 4933 28298 30289
24	3541 4918 18257 31746
25	1221 25233 26757 34892
26	8150 16677 27934 30021
27	8500 25016 33043 38070
28	7374 10207 16189 35811
29	611 18480 20064 38261
30	25416 27352 36089 38469
31	1667 17614 25839 32776
32	4118 12481 21912 37945
33	5573 13222 23619 31271
34	18271 26251 27182 30587
35	14690 26430 26799 34355
36	13688 16040 20716 34558
37	2740 14957 23436 32540
38	3491 14365 14681 36858
39	4796 6238 25203 27854
40	1731 12816 17344 26025
41	19182 21662 23742 27872
42	6502 13641 17509 34713
43	12246 12372 16746 27452
44	1589 21528 30621 34003
45	12328 20515 30651 31432
46	3415 22656 23427 36395
47	632 5209 25958 31085
48	619 3690 19648 37778
49	9528 13581 26965 36447
50	2147 26249 26968 28776
51	15698 18209 30683
52	1132 19888 34111
53	4608 25513 38874

54	475 1729 34100
55	7348 32277 38587
56	182 16473 33082
57	3865 9678 21265
58	4447 20151 27618
59	6335 14371 38711
60	704 9695 28858
61	4856 9757 30546
62	1993 19361 30732
63	756 28000 29138
64	3821 24076 31813
65	4611 12326 32291
66	7628 21515 34995
67	1246 13294 30068
68	6466 33233 35865
69	14484 23274 38150
70	21269 36411 37450
71	23129 26195 37653

Trong ví dụ khác về các mã LDPC được thiết kế có xem xét đến các điều kiện bổ sung nêu trên, nếu độ dài của từ mã N_{ldpc} bằng 64800, tỷ lệ mã R bằng 10/15, M bằng 360, và Q_{ldpc} bằng 60, thì chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc trên Fig.3 được thể hiện trong bảng 18 dưới đây:

Bảng 18

i	Chỉ số của các hàng có chứa giá trị 1 trong cột thứ 0 của nhóm cột thứ i
0	979 1423 4166 4609 6341 8258 10334 10548 14098 14514 17051 17333 17653 17830 17990
1	2559 4025 6344 6510 9167 9728 11312 14856 17104 17721 18600 18791 19079 19697 19840
2	3243 6894 7950 10539 12042 13233 13938 14752 16449 16727 17025 18297 18796 19400 21577
3	3272 3574 6341 6722 9191 10807 10957 12531 14036 15580 16651 17007 17309 19415 19845
4	155 4598 10201 10975 11086 11296 12713 15364 15978 16395 17542 18164 18451 18612 20617
5	1128 1999 3926 4069 5558 6085 6337 8386 10693 12450 15438 16223 16370 17308 18634
6	2408 2929 3630 4357 5852 7329 8536 8695 10603 11003 14304 14937 15767 18402 21502
7	199 3066 6446 6849 8973 9536 10452 12857 13675 15913 16717 17654 19802 20115 21579
8	312 870 2095 2586 5517 6196 6757 7311 7368 13046 15384 18576 20349 21424 21587
9	985 1591 3248 3509 3706 3847 6174 6276 7864 9033 13618 15675 16446 18355 18843
10	975 3774 4083 5825 6166 7218 7633 9657 10103 13052 14240 17320 18126 19544 20208
11	1795 2005 2544 3418 6148 8051 9066 9725 10676 10752 11512 15171 17523 20481 21059
12	167 315 1824 2325 2640 2868 6070 6597 7016 8109 9815 11608 16142 17912 19625
13	1298 1896 3039 4303 4690 8787 12241 13600 14478 15492 16602 17115 17913 19466 20597
14	568 3695 6045 6624 8131 8404 8590 9059 9246 11570 14336 18657 18941 19218 21506

15	228 1889 1967 2299 3011 5074 7044 7596 7689 9534 10244 10697 11691 17902 21410
16	1330 1579 1739 2234 3701 3865 5713 6677 7263 11172 12143 12765 17121 20011 21436
17	303 1668 2501 4925 5778 5985 9635 10140 10820 11779 11849 12058 15650 20426 20527
18	698 2484 3071 3219 4054 4125 5663 5939 6928 7086 8054 12173 16280 17945 19302
19	232 1619 3040 4901 7438 8135 9117 9233 10131 13321 17347 17436 18193 18586 19929
20	12 3721 6254 6609 7880 8139 10437 12262 13928 14065 14149 15032 15694 16264 18883
21	482 915 1548 1637 6687 9338 10163 11768 11970 15524 15695 17386 18787 19210 19340
22	1291 2500 4109 4511 5099 5194 10014 13165 13256 13972 15409 16113 16214 18584 20998
23	1761 4778 7444 7740 8129 8341 8931 9136 9207 10003 10678 13959 17673 18194 20990
24	3060 3522 5361 5692 6833 8342 8792 11023 11211 11548 11914 13987 15442 15541 19707
25	1322 2348 2970 5632 6349 7577 8782 9113 9267 9376 12042 12943 16680 16970 21321
26	6785 11960 21455
27	1223 15672 19550
28	5976 11335 20385
29	2818 9387 15317
30	2763 3554 18102
31	5230 11489 18997
32	5809 15779 20674
33	2620 17838 18533
34	3025 9342 9931
35	3728 5337 12142
36	2520 6666 9164
37	12892 15307 20912
38	10736 12393 16539
39	1075 2407 12853
40	4921 5411 18206
41	5955 15647 16838
42	6384 10336 19266
43	429 10421 17266
44	4880 10431 12208
45	2910 11895 12442
46	7366 18362 18772
47	4341 7903 14994
48	4564 6714 7378
49	4639 8652 18871
50	15787 18048 20246
51	3241 11079 13640
52	1559 2936 15881
53	2737 6349 10881
54	10394 16107 17073
55	8207 9043 12874
56	7805 16058 17905
57	11189 15767 17764
58	5823 12923 14316
59	11080 20390 20924

60	568 8263 17411
61	1845 3557 6562
62	2890 10936 14756
63	9031 14220 21517
64	3529 12955 15902
65	413 6750 8735
66	6784 12092 16421
67	12019 13794 15308
68	12588 15378 17676
69	8067 14539 19304
70	1244 5877 6085
71	15897 19349 19993
72	1426 2394 12264
73	3456 8931 12075
74	13342 15273 20351
75	9138 13352 20798
76	7031 7626 14081
77	4280 4507 15617
78	4170 10569 14335
79	3839 7514 16578
80	4688 12815 18782
81	4861 7858 9435
82	605 5445 12912
83	2280 4734 7311
84	6668 8128 12638
85	3733 10621 19534
86	13933 18316 19341
87	1786 3037 21566
88	2202 13239 16432
89	4882 5803 9300
90	4580 8484 16754
91	14630 17502 18269
92	6889 11119 12447
93	8162 9078 16330
94	6538 17851 18100
95	17763 19793 20816
96	2183 11907 17567
97	6640 14428 15175
98	877 12035 14081
99	1336 6468 12328
100	5948 9146 12003
101	3782 5699 12445
102	1770 7946 8244
103	7384 12639 14989
104	1469 11586 20959

105	7943 10450 15907
106	5005 8153 10035
107	17750 18826 21513
108	4725 8041 10112
109	3837 16266 17376
110	11340 17361 17512
111	1269 4611 4774
112	2322 10813 16157
113	16752 16843 18959
114	70 4325 18753
115	3165 8153 15384
116	160 8045 16823
117	14112 16724 16792
118	4291 7667 18176
119	5943 19879 20721

Ở đây, cần lưu ý rằng, nếu ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thứ tự của các chỉ số trong một dãy cho mỗi nhóm cột thứ i trong một bảng bất kỳ trong số các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên đã thay đổi, thì ma trận kiểm tra chẵn lẻ đã thay đổi cũng có thể được áp dụng cho các mã giống như ma trận kiểm tra chẵn lẻ ban đầu.

Ví dụ, như được thể hiện trong bảng 11 nêu trên, dãy tương ứng với nhóm cột thứ không (0) được sắp xếp theo thứ tự 114, 2135, 3045, 4635, 5512, 5681, 6571, 8943, 10053, 10109, 13161, 13668, 14218, 17417, 19328, 21140, và nếu dãy có thứ tự chỉ số đã thay đổi là 2135, 8943, 4635, 114, 3045, 10109, 13161, 21140, 5681, 6571, 5512, 19328, 14218, 13668, 17417, 10053, thì ma trận kiểm tra chẵn lẻ có dãy đã thay đổi vẫn có thể được áp dụng cho các mã đó.

Ngoài ra, nếu một dãy chỉ số của nhóm cột này được thay đổi thành dãy chỉ số của nhóm cột khác và ngược lại, tức là dãy chỉ số của nhóm cột khác được thay đổi thành dãy chỉ số của nhóm cột thứ nhất, trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên, thì các đặc trưng đại số như các đặc trưng tuần hoàn và các sơ đồ phân bố bậc trên đồ thị của các mã vẫn không thay đổi. Vì vậy, trường hợp thay đổi các dãy chỉ số giữa các nhóm cột của ma trận kiểm tra chẵn lẻ là một phương án làm ví dụ khác của sáng chế.

Ví dụ, trong bảng 11 nêu trên, dãy chỉ số 114, 2135, 3045, 4635, 5512, 5681, 6571, 8943, 10053, 10109, 13161, 13668, 14218, 17417, 19328, 21140 của nhóm cột thứ không (0) và dãy chỉ số 19, 768, 1263, 3305, 6513, 7677, 7956, 9040, 13427, 16641, 17280,

18452, 18584, 18925, 19559, 20587 của nhóm cột thứ mười hai có thể được thay đổi sao cho dãy của nhóm cột thứ không (0) được chuyển thành 19, 768, 1263, 3305, 6513, 7677, 7956, 9040, 13427, 16641, 17280, 18452, 18584, 18925, 19559, 20587, và dãy cho nhóm cột thứ mười hai được chuyển thành 114, 2135, 3045, 4635, 5512, 5681, 6571, 8943, 10053, 10109, 13161, 13668, 14218, 17417, 19328, 21140. Nghĩa là, nếu các dãy chỉ số được hoán đổi giữa nhóm cột thứ không (0) và nhóm cột thứ mười hai, thì các đặc trưng tuần hoàn, các sơ đồ phân bố bậc và các thông số tương tự khác liên quan đến đồ thị của các mã vẫn không thay đổi (thực tế là, vì việc hoán đổi các dãy chỉ số giữa các nhóm cột tương ứng có hiệu quả giống như việc chỉ thay đổi thứ tự sắp xếp của các nhóm cột trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ, cho nên các đặc trưng đại số cơ bản vẫn không thay đổi).

Ngoài ra, ma trận kiểm tra chẵn lẻ có một bội số nguyên lần của Q_{ldpc} được cộng vào tất cả các chỉ số của mọi nhóm cột trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên có thể vẫn đạt được các đặc trưng đại số giống như các đặc trưng tuần hoàn và các sơ đồ phân bố bậc liên quan đến đồ thị của các mã theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế.

Ví dụ, nếu một bội số nguyên lần của 60 (tức là $Q_{ldpc} = (N_{ldpc} - K_{ldpc})/M = 60$) được cộng vào tất cả các chỉ số 12575, 15845 và 18200 của nhóm cột thứ 24 trong bảng 11 nêu trên, tức là các chỉ số được chuyển thành 12635 ($= 12575 + 60$), 15905 ($= 15845 + 60$) và 18260 ($= 18200 + 60$), thì các đặc trưng đại số như các đặc trưng tuần hoàn và các sơ đồ phân bố bậc liên quan đến đồ thị của các mã vẫn không thay đổi (thực tế là, vì dãy thu được sau khi cộng một bội số nguyên lần của Q_{ldpc} vào trong nhóm cột có hiệu quả giống như khi chỉ sắp xếp lại thứ tự của các cột trong nhóm cột, cho nên các đặc trưng đại số cơ bản vẫn không thay đổi).

Ở đây, cần lưu ý rằng, trong trường hợp giá trị chỉ số thu được sau khi cộng một bội số nguyên lần của Q_{ldpc} vào một dãy chỉ số cho trước bằng hoặc lớn hơn giá trị $N_{ldpc} - K_{ldpc}$, thì giá trị chỉ số có thay đổi và được áp dụng cho giá trị thu được bằng cách thực hiện phép toán môđulô cho giá trị $N_{ldpc} - K_{ldpc}$.

Ví dụ, vì kết quả của phép cộng khi chỉ cộng mỗi giá trị 50×60 vào dãy 12575, 15845 và 18200 của nhóm cột thứ 24 trong bảng 11 nêu trên sẽ là 16175, 19445 và 21800 với $N_{ldpc} - K_{ldpc} = 21600$, cho nên dãy đã thay đổi có thể là 16175, 19445 và 200, hoặc là

200, 16175 và 19445 nếu áp dụng phép toán môđulo-21600 cho kết quả của phép cộng khi chỉ cộng mỗi bội số nguyên lần của Q_{ldpc} vào dãy nêu trên.

Quy trình mã hoá các mã LDPC bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc được thể hiện trên Fig.3 sẽ được mô tả dưới đây. Như đã nêu trên, quy trình mã hoá các mã LDPC là để xác định từ mã C đáp ứng hệ thức: ma trận kiểm tra chẵn lẻ $\times$ từ mã $= 0$. Tức là phương pháp mã hoá mã LDPC có thể được biểu diễn bằng hệ thức $H \cdot C^T = 0$. Ở đây, H là ma trận kiểm tra chẵn lẻ và C là từ mã LDPC.

Nếu giả sử rằng các bit của từ thông tin được mã hoá LDPC là $(i_0, i_1, \dots, i_{K_{ldpc}-1})$ và các bit của từ mã LDPC được tạo ra sau khi mã hoá LDPC là $(c_0, c_1, \dots, c_{N_{ldpc}-1})$, thì phương pháp tính các bit của từ mã LDPC sẽ được mô tả dưới đây.

Trước tiên, vì mã LDPC là mã có hệ thống, nên c_k với $0 < k < K_{ldpc}-1$ được thiết lập giống như i_k . Ngoài ra, các bit còn lại của từ mã được thiết lập dưới dạng $p_k := c_{k+K_{ldpc}}$. Ở đây, p_k là các bit chẵn lẻ và có thể được tính theo phương pháp như được mô tả dưới đây.

Theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, vì ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên, nên phương pháp được mô tả dưới đây có thể được áp dụng trong trường hợp ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên.

Trước hết, nếu giả sử rằng một mục nằm ở vị trí thứ j của hàng thứ i trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên là $q(i, j, l) = q(i, j, 0) + Q_{ldpc} \cdot l \bmod (N_{ldpc} - K_{ldpc})$ với $0 < l < 360$. Ở đây, dấu '+' dùng để chỉ các phép cộng theo quy định trong trường Galois (Galois Field, GF) (2) (tức là các phép cộng trong GF (2)). Ngoài ra, Q_{ldpc} là khoảng cách dịch chuyển tuần hoàn của mỗi cột trong ma trận con từ thông tin, có thể là giá trị được xác định tương ứng trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên.

Khi $q(i, j, 0)$ và $q(i, j, l)$ được xác định như đã nêu trên, thì phương pháp tính các bit chẵn lẻ được thực hiện như sau.

Bước 1) Thiết lập giá trị ban đầu cho các bit chẵn lẻ bằng '0'. Tức là $p_k = 0$ với $0 < k < N_{ldpc} - K_{ldpc}$.

Bước 2) Thiết lập giá trị i và l sao cho $i := \lfloor k/360 \rfloor$ và $l := k \bmod 360$ với mọi giá trị k nằm trong khoảng $0 < k < K_{ldpc}$. Trong đó, $\lfloor x \rfloor$ là giá trị số nguyên lớn nhất trong số các số nguyên không lớn hơn x . Ví dụ, $\lfloor 1,2 \rfloor = 1$. Sau đó, i_k được cộng vào $p_{q(i,j,l)}$ với mọi giá trị j được xác định dựa vào các giá trị i và l đã thiết lập. Ví dụ, $p_{q(i,0,l)} = p_{q(i,0,l)} + i_k$, $p_{q(i,1,l)} = p_{q(i,1,l)} + i_k$, $p_{q(i,2,l)} = p_{q(i,2,l)} + i_k$, ..., $p_{q(i,w(i)-1,l)} = p_{q(i,w(i)-1,l)} + i_k$ được tính.

Trong đó, $w(i)$ là số lượng giá trị của hàng thứ i trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên và biểu thị số lượng giá trị một (1) trong cột tương ứng với i_k trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ. Ngoài ra, $q(i,j,0)$, là mục nằm ở vị trí thứ j của hàng thứ i trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên, là chỉ số của bit chẵn lẻ và biểu thị vị trí của hàng có chứa giá trị một (1) trong cột tương ứng với i_k trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ.

Bước 3) Tính $p_k = p_k + p_{k-1}$ với mọi giá trị k đáp ứng điều kiện $0 < k < N_{ldpc} - K_{ldpc}$ để tính các bit chẵn lẻ p_k .

Các bit chẵn lẻ được tính bằng phương pháp nêu trên, sao cho có thể tính được tất cả các bit của từ mã LDPC $c_0, c_1, \dots, c_{N_{ldpc}-1}$.

Phương pháp mã hoá LDPC như đã nêu trên chỉ là ví dụ minh hoạ. Vì phương pháp mã hoá LDPC là phương pháp tính từ mã LDPC C thỏa mãn hệ thức $H \cdot C^T = 0$, cho nên có thể có nhiều phương pháp mã hoá khác nhau đối với một ma trận kiểm tra chẵn lẻ cho trước.

Ví dụ, sơ đồ được áp dụng theo tiêu chuẩn DVB-T2 cũng có thể được áp dụng cho trường hợp ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên. Phương pháp mã hoá LDPC dựa trên sơ đồ được quy định theo tiêu chuẩn DVB-T2 sẽ được mô tả sơ lược dưới đây bằng cách sử dụng ví dụ trong đó ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong bảng 11 nêu trên.

Trước tiên, nếu giả sử rằng các bit từ thông tin có độ dài bằng K_{ldpc} là $[i_0, i_1, i_2, \dots, i_{K_{ldpc}-1}]$ và các bit chẵn lẻ có độ dài bằng $N_{ldpc} - K_{ldpc}$ là

$[p_0, p_1, p_2, \dots, p_{N_{ldpc}-K_{ldpc}-1}]$, thì bước mã hoá LDPC có thể được thực hiện theo phương pháp như sau.

Bước 1) Thiết lập giá trị ban đầu cho các bit chẵn lẻ bằng '0'. Tức là $p_0 = p_1 = p_2 = \dots = p_{N_{ldpc}-K_{ldpc}-1} = 0$.

Bước 2) Cộng bit thứ không (0) i_0 của từ thông tin vào bit chẵn lẻ có địa chỉ của bit chẵn lẻ nằm ở hàng thứ nhất (tức là hàng có $i = 0$) trong bảng 11 nêu trên để làm chỉ số cho bit chẵn lẻ. Bước này có thể được biểu diễn bằng các biểu thức toán học 11 dưới đây:

$$\begin{aligned}
 p_{114} &= p_{114} \oplus i_0 & p_{10053} &= p_{10053} \oplus i_0 \\
 p_{2135} &= p_{2135} \oplus i_0 & p_{10109} &= p_{10109} \oplus i_0 \\
 p_{3045} &= p_{3045} \oplus i_0 & p_{13151} &= p_{13151} \oplus i_0 \\
 p_{4635} &= p_{4635} \oplus i_0 & p_{13668} &= p_{13668} \oplus i_0 \\
 p_{5512} &= p_{5512} \oplus i_0 & p_{14218} &= p_{14218} \oplus i_0 \\
 p_{5681} &= p_{5681} \oplus i_0 & p_{17417} &= p_{17417} \oplus i_0 \\
 p_{6571} &= p_{6571} \oplus i_0 & p_{19238} &= p_{19238} \oplus i_0 \\
 p_{8943} &= p_{8943} \oplus i_0 & p_{21140} &= p_{21140} \oplus i_0
 \end{aligned} \tag{11}$$

Trong biểu thức toán học nêu trên, i_0 là bit thứ không (0) của từ thông tin, p_i là bit chẵn lẻ thứ i , và $\oplus$ là phép toán nhị phân. Trong phép toán nhị phân, $1 \oplus 1$ bằng 0, $1 \oplus 0$ bằng 1, $0 \oplus 1$ bằng 1, và $0 \oplus 0$ bằng 0.

Bước 3) Cộng 359 bit còn lại i_m ($m = 1, 2, \dots, 359$) của từ thông tin vào các bit chẵn lẻ. Ở đây, các bit còn lại của từ thông tin có thể là các bit từ thông tin thuộc cùng một nhóm cột với bit i_0 . Trong trường hợp này, địa chỉ của các bit chẵn lẻ có thể được xác định dựa vào biểu thức toán học 12 dưới đây:

$$(x + (m \bmod 360) \times Q_{ldpc}) \bmod (N_{ldpc} - K_{ldpc}) \tag{12}$$

Trong biểu thức toán học 12 nêu trên, x là địa chỉ của vùng chứa bit chẵn lẻ tương ứng với bit i_0 của từ thông tin, và Q_{ldpc} bằng 60 là khoảng cách dịch chuyển của mỗi cột trong ma trận con tương ứng với từ thông tin.

Kết quả là, mỗi bit i_m ($m = 1, 2, \dots, 359$) của từ thông tin được cộng với mỗi bit chẵn lẻ có địa chỉ của bit chẵn lẻ được tính dựa vào biểu thức toán học 12 nêu trên để làm

chỉ số. Ví dụ, các phép toán như được biểu diễn bằng các biểu thức toán học 13 dưới đây có thể được thực hiện trên bit i_1 của từ thông tin.

$$\begin{aligned}
 p_{174} &= p_{174} \oplus i_1 & p_{10115} &= p_{10115} \oplus i_1 \\
 p_{2195} &= p_{2195} \oplus i_1 & p_{10169} &= p_{10169} \oplus i_1 \\
 p_{3105} &= p_{3105} \oplus i_1 & p_{13221} &= p_{13221} \oplus i_1 \\
 p_{4695} &= p_{4695} \oplus i_1 & p_{13728} &= p_{13728} \oplus i_1 \\
 p_{5572} &= p_{5572} \oplus i_1 & p_{14278} &= p_{14278} \oplus i_1 \\
 p_{5741} &= p_{5741} \oplus i_1 & p_{17477} &= p_{17477} \oplus i_1 \\
 p_{6631} &= p_{6631} \oplus i_1 & p_{19388} &= p_{19388} \oplus i_1 \\
 p_{9003} &= p_{9003} \oplus i_1 & p_{21200} &= p_{21200} \oplus i_1
 \end{aligned} \tag{13}$$

Trong biểu thức toán học nêu trên, i_1 là bit thứ nhất của từ thông tin, p_i là bit chẵn lẻ thứ i , và $\oplus$ là phép toán nhị phân. Trong phép toán nhị phân, $1 \oplus 1$ bằng 0, $1 \oplus 0$ bằng 1, $0 \oplus 1$ bằng 1, và $0 \oplus 0$ bằng 0.

Bước 4) Cộng bit thứ 360 i_{360} của từ thông tin vào bit chẵn lẻ có địa chỉ của bit chẵn lẻ nằm ở hàng thứ hai (tức là hàng có $i = 1$) trong bảng 11 nêu trên để làm chỉ số cho bit chẵn lẻ.

Bước 5) Cộng 359 bit còn lại của từ thông tin thuộc cùng một nhóm với bit i_{360} của từ thông tin vào bit chẵn lẻ. Trong trường hợp này, địa chỉ của bit chẵn lẻ có thể được xác định dựa vào biểu thức toán học 6 nêu trên. Tuy nhiên, trong trường hợp này, x là địa chỉ của vùng chứa bit chẵn lẻ tương ứng với bit i_{360} của từ thông tin.

Bước 6) Lặp lại việc thực hiện bước 4 và bước 5 nêu trên đối với tất cả các nhóm cột trong bảng 5 nêu trên.

Bước 7) Kết quả là, tính được bit chẵn lẻ p_i dựa vào biểu thức toán học 14 dưới đây. Trong đó, i được thiết lập giá trị ban đầu bằng một (1).

$$p_i = p_i \oplus p_{i-1} \quad i = 1, 2, \dots, N_{ldpc} - K_{ldpc} - 1 \tag{14}$$

Trong biểu thức toán học 14 nêu trên, p_i là bit chẵn lẻ thứ i , N_{ldpc} là độ dài của từ mã LDPC, K_{ldpc} là độ dài của từ thông tin trong từ mã LDPC, và $\oplus$ là phép toán nhị phân.

Trong phép toán nhị phân, $1 \oplus 1$ bằng 0, $1 \oplus 0$ bằng 1, $0 \oplus 1$ bằng 1, và $0 \oplus 0$ bằng 0.

Theo phương pháp nêu trên, có thể tính được các bit chẵn lẻ.

Địa chỉ của các bit chẵn lẻ có mặt trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i đúng bằng chỉ số của hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i . Vì vậy, chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên được biểu diễn dưới dạng địa chỉ của các bit chẵn lẻ trong phương pháp mã hoá. Vì vậy, các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên có thể biểu diễn “địa chỉ của các vùng chứa bit chẵn lẻ”.

Như đã nêu trên, theo các phương án làm ví dụ, phương pháp mã hoá LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng nhiều sơ đồ khác nhau để tạo ra từ mã LDPC.

Khi đó, các mã LDPC có thể được giải mã bằng cách áp dụng phương pháp giải mã lặp dựa vào thuật toán tổng-tích trên đồ thị hai phía được thể hiện trên Fig.2, trong đó thuật toán tổng-tích là một loại thuật toán truyền thông báo.

Thuật toán truyền thông báo thường dùng để giải mã LDPC sẽ được mô tả dưới đây dựa vào Fig.5A và Fig.5B.

Fig.5A và Fig.5B thể hiện thuật toán truyền thông báo giữa mọi nút kiểm tra và nút thay đổi để giải mã LDPC theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế.

Fig.5A thể hiện một nút kiểm tra m 500 và nhiều nút thay đổi 510, 520, 530 và 540 được nối với nút kiểm tra m 500. Ngoài ra, $T_{n',m}$ được thể hiện trên Fig.5A biểu thị đường truyền thông báo từ nút thay đổi n' 510 đến nút kiểm tra m 500, và $E_{n,m}$ biểu thị đường truyền thông báo từ nút kiểm tra m 500 đến nút thay đổi n 530. Ở đây, tập hợp gồm tất cả các nút thay đổi được nối với nút kiểm tra m 500 được ký hiệu là $N(m)$, và tập hợp đã loại trừ nút thay đổi n 530 ra khỏi tập hợp $N(m)$ được ký hiệu là $N(m) \setminus n$.

Trong trường hợp này, quy tắc cập nhật thông báo dựa vào thuật toán tổng-tích có thể được biểu diễn bằng các biểu thức toán học 15 dưới đây:

$$\begin{aligned} |E_{n,m}| &= \Phi \left[\sum_{n' \in N(m) \setminus n} \Phi(|T_{n',m}|) \right] \\ \text{Sign}(E_{n,m}) &= \prod_{n' \in N(m) \setminus n} \text{Sign}(T_{n',m}) \end{aligned} \quad (15)$$

Trong biểu thức toán học 15 nêu trên, $\text{Sign}(E_{n,m})$ là dấu của thông báo $E_{n,m}$, và $E_{n,m}$

là độ lớn của thông báo $E_{n,m}$. Khi đó, hàm $\Phi(x)$ có thể được biểu diễn bằng biểu thức toán học 16 dưới đây:

$$\Phi(x) = -\log\left(\tanh\left(\frac{x}{2}\right)\right) \quad (16)$$

Fig.5B thể hiện một nút thay đổi x 550 và nhiều nút kiểm tra 560, 570, 580 và 590 được nối với nút thay đổi x 550. Ngoài ra, $E_{y,x}$ được thể hiện trên Fig.5B biểu thị đường truyền thông báo từ nút kiểm tra y' 560 đến nút thay đổi x 550, và $T_{y,x}$ biểu thị đường truyền thông báo từ nút thay đổi x 550 đến nút kiểm tra y 580. Ở đây, tập hợp gồm tất cả các nút kiểm tra được nối với nút thay đổi x 550 được ký hiệu là $M(x)$, và tập hợp đã loại trừ nút kiểm tra y 580 ra khỏi tập hợp $M(x)$ được ký hiệu là $M(x) \setminus y$. Trong trường hợp này, quy tắc cập nhật thông báo dựa vào thuật toán tổng-tích có thể được biểu diễn bằng biểu thức toán học 17 dưới đây:

$$T_{y,x} = E_x + \sum_{y' \in M(x) \setminus y} E_{y',x} \quad (17)$$

Trong biểu thức toán học 17 nêu trên, E_x là giá trị thông báo ban đầu của nút thay đổi x .

Ngoài ra, khi giá trị bit của nút x được quyết định, thì giá trị này có thể được biểu diễn bằng biểu thức toán học 18 dưới đây:

$$P_x = E_x + \sum_{y' \in M(x)} E_{y',x} \quad (18)$$

Trong trường hợp này, bit mã hoá tương ứng với nút x có thể được quyết định dựa vào giá trị P_x .

Trên Fig.5, phương pháp nêu trên là phương pháp giải mã thông thường, và do đó sẽ không được mô tả chi tiết trong sáng chế. Tuy nhiên, ngoài phương pháp được mô tả dựa vào Fig.5, cũng có thể áp dụng các phương pháp khác để xác định các giá trị thông báo truyền ở nút thay đổi và nút kiểm tra (xem tài liệu: Frank R. Kschischang, Brendan J. Frey, và Hans-Andrea Loeliger, "Factor Graphs and the Sum-Product Algorithm", IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, VOL. 47, NO. 2, FEBRUARY 2001, trang 498-519).

Fig.6 là sơ đồ khối thể hiện cấu hình của thiết bị mã hoá theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Thiết bị mã hoá 600 có thể thực hiện bước mã hoá LDPC nêu trên.

Như được thể hiện trên Fig.6, thiết bị mã hoá 600 bao gồm bộ mã hoá LDPC 610. Bộ mã hoá LDPC 610 có thể thực hiện bước mã hoá LDPC trên các bit đầu vào dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ được tạo ra theo phương pháp nêu trên để tạo ra từ mã LDPC. Từ mã LDPC có thể có 64800 bit. Tức là độ dài của từ mã LDPC có thể bằng 64800.

Ở đây, ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể có cấu trúc giống như cấu trúc của ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 được thể hiện trên Fig.3.

Cụ thể, ma trận kiểm tra chẵn lẻ bao gồm ma trận con từ thông tin và ma trận con chẵn lẻ nêu trên.

Ở đây, ma trận con từ thông tin được tạo nên từ nhiều nhóm cột, mỗi nhóm cột có M cột và có thể được xác định bằng bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ M. Ở đây, M, là khoảng lặp lại của các mẫu cột trong ma trận con từ thông tin, có thể bằng 360. Ngoài ra, ma trận con chẵn lẻ có thể có cấu trúc hai đường chéo.

Trong trường hợp này, bộ mã hoá LDPC 610 có thể thực hiện bước mã hoá LDPC bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định với nhiều dạng khác nhau tùy thuộc vào tỷ lệ mã (tức là tỷ lệ mã của các mã LDPC).

Ví dụ, bộ mã hoá LDPC 610 có thể thực hiện bước mã hoá LDPC bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 9, bảng 13 và bảng 17 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng 6/15, và thực hiện bước mã hoá LDPC bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 10 và bảng 14 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng 8/15. Ngoài ra, bộ mã hoá LDPC 610 có thể thực hiện bước mã hoá LDPC bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 11, bảng 15 và bảng 18 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng 10/15, và thực hiện bước mã hoá LDPC bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 12 và bảng 16 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng 12/15.

Phương pháp thực hiện bước mã hoá LDPC đã được mô tả chi tiết ở trên, và do đó ở đây sẽ không mô tả lại nữa.

Thiết bị mã hoá 600 có thể còn bao gồm bộ nhớ (không được thể hiện trên hình vẽ)

trong đó thông tin về tỷ lệ mã, độ dài của từ mã và ma trận kiểm tra chẵn lẻ của mã LDPC được lưu trữ từ trước, và bộ mã hoá LDPC 610 có thể thực hiện bước mã hoá LDPC bằng cách sử dụng thông tin này. Ở đây, thông tin về ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể là thông tin về ma trận con từ thông tin được tạo nên từ nhiều nhóm cột, mỗi nhóm cột có M cột và bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ M .

Fig.7 là sơ đồ khối thể hiện cấu hình của thiết bị truyền tín hiệu theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Như được thể hiện trên Fig.7, thiết bị truyền tín hiệu 700 có thể bao gồm bộ mã hoá Bose, Chaudhuri, Hocquenghem (BCH) 710, bộ mã hoá LDPC 720, bộ đan xen 730 và bộ điều biến 740.

Bộ mã hoá BCH 710 thực hiện bước mã hoá BCH trên các bit đầu vào và cung cấp từ mã BCH được tạo ra sau khi mã hoá BCH cho bộ mã hoá LDPC 720.

Cụ thể, bộ mã hoá BCH 710 thực hiện bước mã hoá BCH trên các bit đầu vào $L=[l_0, l_1, \dots, l_{K_{bch}-1}]$, để tạo ra $N_{ldpc}-K_{bch}$ bit chẵn lẻ BCH và tạo ra từ mã BCH $I_{ldpc}=[i_0, i_1, \dots, i_{K_{ldpc}-1}]$. Từ mã BCH $I_{ldpc}=[i_0, i_1, \dots, i_{K_{ldpc}-1}]$ là từ thông tin để mã hoá LDPC cho bộ mã hoá LDPC 720.

Phương pháp mã hoá BCH là phương pháp đã biết và đã được mô tả trong các tài liệu: "Bose, R. C.; Ray-Chaudhuri, D. K. (March 1960), "On A Class of Error Correcting Binary Group Codes", Information and Control 3 (1): 68-79, ISSN 0890-5401", v.v., và do đó sẽ không được mô tả chi tiết trong sáng chế.

Khi đó, có thể lựa chọn có hoặc không sử dụng bộ mã hoá BCH 710. Nghĩa là, trong một số trường hợp, bộ mã hoá BCH 710 cũng có thể không được sử dụng.

Bộ mã hoá LDPC 720 thực hiện bước mã hoá LDPC trên từ mã BCH được xuất ra từ bộ mã hoá BCH 710 và cung cấp từ mã LDPC được tạo ra sau khi mã hoá LDPC cho bộ đan xen 730.

Cụ thể, bộ mã hoá LDPC 720 thực hiện bước mã hoá LDPC trên từ mã BCH $I_{ldpc}=[i_0, i_1, \dots, i_{K_{ldpc}-1}]$ được xuất ra từ bộ mã hoá BCH 710 dưới dạng từ thông tin để tạo ra $N_{ldpc}-K_{ldpc}$ bit chẵn lẻ LDPC và tạo ra từ mã LDPC $C_{ldpc}=[c_0, c_1, \dots, c_{N_{ldpc}-1}]$.

Tuy nhiên, khi bộ mã hoá BCH 710 không được sử dụng, thì bộ mã hoá LDPC 720 có thể thực hiện bước mã hoá LDPC trên các bit đầu vào.

Khi đó, bộ mã hoá LDPC 720 trên Fig.7 có thể được sử dụng giống như bộ mã hoá LDPC 610 được mô tả dựa vào Fig.6. Tức là bộ mã hoá LDPC 720 có thể thực hiện bước mã hoá LDPC bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ trong đó ma trận con từ thông tin được xác định trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên tùy thuộc vào tỷ lệ mã và ma trận con chẵn lẻ có cấu trúc hai đường chéo.

Để làm được điều này, thiết bị truyền tín hiệu 700 có thể có bộ nhớ (không được thể hiện trên hình vẽ) để lưu trữ thông tin về ma trận kiểm tra chẵn lẻ. Trong trường hợp này, ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể có nhiều dạng khác nhau tùy thuộc vào tỷ lệ mã và có thể được xác định trong một bảng trong số các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên để làm ví dụ minh họa. Ở đây, thông tin về ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể là thông tin về ma trận con từ thông tin được tạo nên từ các nhóm cột, mỗi nhóm cột có M cột và bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ M.

Bộ đan xen 730 thực hiện bước đan xen trên từ mã LDPC được xuất ra từ bộ mã hoá LDPC 720 và cung cấp các bit đan xen cho bộ điều biến 740.

Trong trường hợp này, bộ đan xen 730 thu chuỗi bit từ mã LDPC được xuất ra từ bộ mã hoá LDPC 720 để thực hiện bước đan xen bằng cách sử dụng một sơ đồ đan xen định trước. Sơ đồ đan xen có thể có nhiều dạng khác nhau và có thể lựa chọn có hoặc không sử dụng bộ đan xen 730.

Bộ điều biến 740 điều biến chuỗi bit được xuất ra từ bộ đan xen 730 và truyền chuỗi bit đã điều biến đến thiết bị thu (ví dụ, thiết bị thu 1000 trên Fig.10).

Cụ thể, bộ điều biến 740 có thể phân kênh các bit được xuất ra từ bộ đan xen 730 và ánh xạ các bit đã phân kênh vào chòm điểm.

Nghĩa là, bộ điều biến 740 có thể biến đổi các bit được xuất ra từ bộ đan xen 730 theo sơ đồ biến đổi nối tiếp thành song song để tạo ra các ô gồm một số lượng bit định trước. Ở đây, số lượng bit tạo nên mỗi ô có thể bằng số lượng bit tạo nên các ký hiệu điều biến được ánh xạ vào chòm điểm.

Tiếp theo, bộ điều biến 740 có thể ánh xạ các bit đã phân kênh vào chòm điểm.

Nghĩa là, bộ điều biến 740 điều biến các bit đã phân kênh bằng cách sử dụng các sơ đồ điều biến khác nhau như QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM và 4096-QAM để tạo ra các ký hiệu điều biến, và ánh xạ các ký hiệu điều biến đã tạo ra lên các điểm trong chòm điểm. Trong trường hợp này, các bit đã phân kênh tạo nên các ô tương ứng với các ký hiệu điều biến, và do đó, mỗi ô có thể được ánh xạ tuần tự lên các điểm trong chòm điểm.

Ngoài ra, bộ điều biến 740 có thể điều biến các tín hiệu được ánh xạ vào chòm điểm và truyền các tín hiệu đã điều biến đến thiết bị thu 1000. Ví dụ, bộ điều biến 740 có thể ánh xạ các tín hiệu, được ánh xạ vào chòm điểm, lên khung OFDM bằng cách sử dụng sơ đồ dồn kênh phân tần trực giao (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) và truyền các tín hiệu đã được ánh xạ đến thiết bị thu 1000 qua kênh được phân định.

Thiết bị truyền tín hiệu 700 có thể lưu trữ trước nhiều thông số khác nhau được dùng để mã hoá, đan xen và điều biến. Ở đây, các thông số dùng để mã hoá có thể là thông tin về tỷ lệ mã và độ dài từ mã của các mã BCH và thông tin về tỷ lệ mã, độ dài từ mã và ma trận kiểm tra chẵn lẻ của các mã LDPC. Ngoài ra, các thông số dùng để đan xen có thể là thông tin về quy tắc đan xen và các thông số dùng để điều biến có thể là thông tin về các sơ đồ điều biến. Ở đây, thông tin về ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể là thông tin về ma trận con từ thông tin được tạo nên từ các nhóm cột, mỗi nhóm cột có M cột và bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ M .

Trong trường hợp như vậy, mỗi bộ phận cấu thành thiết bị truyền tín hiệu 700 có thể hoạt động bằng cách sử dụng các thông số này.

Mặc dù không được thể hiện trên hình vẽ, nhưng thiết bị truyền tín hiệu 700 có thể còn bao gồm bộ điều khiển (không được thể hiện trên hình vẽ) để điều khiển hoạt động của thiết bị truyền tín hiệu 700.

Trong trường hợp này, bộ điều khiển (không được thể hiện trên hình vẽ) có thể cung cấp thông tin về tỷ lệ mã và độ dài từ mã của các mã BCH cho bộ mã hoá BCH 710 và cung cấp thông tin về tỷ lệ mã, độ dài từ mã, ma trận kiểm tra chẵn lẻ của các mã LDPC cho bộ mã hoá LDPC 720. Ngoài ra, bộ điều khiển (không được thể hiện trên hình vẽ) có thể cung cấp thông tin về các sơ đồ đan xen cho bộ đan xen 730 và thông tin về các sơ đồ điều biến cho bộ điều biến 740. Ở đây, thông tin về ma trận kiểm tra chẵn lẻ có

thể là thông tin về ma trận con từ thông tin được tạo nên từ các nhóm cột, mỗi nhóm cột có M cột và bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ M .

Fig.8 là sơ đồ khối thể hiện cấu hình của thiết bị giải mã theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Như được thể hiện trên Fig.8, thiết bị giải mã 800 bao gồm bộ giải mã LDPC 810.

Bộ giải mã LDPC 810 thực hiện bước giải mã LDPC trên từ mã LDPC dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ. Ở đây, từ mã LDPC có thể có 64800 bit. Tức là độ dài của từ mã LDPC có thể bằng 64800.

Ví dụ, bộ giải mã LDPC 810 tìm ra các giá trị tỷ số hợp lý dạng loga (Log Likelihood Ratio, LLR) tương ứng với các bit của từ mã LDPC bằng cách áp dụng phương pháp giải mã lặp để thực hiện bước giải mã LDPC, nhờ đó tạo ra các bit từ thông tin.

Ở đây, các giá trị LLR có thể được biểu diễn bằng các giá trị kênh tương ứng với các bit của từ mã LDPC bằng nhiều phương pháp khác nhau.

Ví dụ, các giá trị LLR có thể được biểu diễn bằng các giá trị thu được sau khi lấy logarit trên tỷ số giữa xác suất mà các bit truyền qua kênh ở phía thiết bị truyền bằng không (0) và xác suất mà các bit đó bằng một (1). Ngoài ra, các giá trị LLR có thể là các giá trị bit được xác định bằng phương pháp quyết định mềm và cũng có thể là giá trị tiêu biểu được xác định tùy thuộc vào phần có xác suất mà các bit truyền từ phía thiết bị truyền bằng không (0) hay bằng một (1).

Trong trường hợp này, phía thiết bị truyền có thể sử dụng bộ mã hoá LDPC 610 như được thể hiện trên Fig.6 để tạo ra từ mã LDPC.

Khi đó, ma trận kiểm tra chẵn lẻ dùng để giải mã LDPC có thể có cấu trúc giống với ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 được thể hiện trên Fig.3.

Cụ thể, ma trận kiểm tra chẵn lẻ bao gồm ma trận con từ thông tin và ma trận con chẵn lẻ.

Ở đây, ma trận con từ thông tin được tạo nên từ nhiều nhóm cột, mỗi nhóm cột có M cột và được xác định bằng bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ M . Ở đây, M , là khoảng lặp lại của các mẫu cột trong ma trận con từ thông tin, có thể

bảng 360. Ngoài ra, ma trận con chẵn lẻ có thể có cấu trúc hai đường chéo.

Trong trường hợp này, bộ giải mã LDPC 810 có thể thực hiện bước giải mã LDPC bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định với nhiều dạng khác nhau tùy thuộc vào tỷ lệ mã (tức là tỷ lệ mã của các mã LDPC).

Ví dụ, bộ giải mã LDPC 810 có thể thực hiện bước giải mã LDPC bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 9, bảng 13 và bảng 17 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng $6/15$, và thực hiện bước giải mã LDPC bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 10 và bảng 14 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng $8/15$. Ngoài ra, bộ giải mã LDPC 810 có thể thực hiện bước giải mã LDPC bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 11, bảng 15 và bảng 18 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng $10/15$ và thực hiện bước giải mã LDPC bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 12 và bảng 16 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng $12/15$.

Như đã nêu trên, bộ giải mã LDPC 810 có thể thực hiện bước giải mã LDPC bằng cách áp dụng phương pháp giải mã lặp. Trong trường hợp này, bộ giải mã LDPC 810 có thể có cấu hình như được thể hiện trên Fig.9. Tuy nhiên, thuật toán giải mã lặp là đã biết, và do đó, cấu trúc được thể hiện chi tiết trên Fig.9 chỉ là một ví dụ.

Như được thể hiện trên Fig.9, thiết bị giải mã 900 bao gồm bộ xử lý đầu vào 911, bộ nhớ 912, bộ điều hành nút thay đổi 913, bộ điều khiển 914, bộ điều hành nút kiểm tra 915 và bộ xử lý đầu ra 916.

Bộ xử lý đầu vào 911 lưu trữ giá trị đầu vào. Cụ thể, bộ xử lý đầu vào 911 có thể lưu trữ các giá trị LLR của các tín hiệu thu được qua kênh không dây.

Bộ điều khiển 914 xác định số lượng giá trị được nhập vào bộ điều hành nút thay đổi 913, giá trị địa chỉ trong bộ nhớ 912, số lượng giá trị được nhập vào bộ điều hành nút kiểm tra 915, giá trị địa chỉ trong bộ nhớ 912, và các thông tin tương tự khác, dựa vào kích thước (tức là độ dài của từ mã) của một khối tín hiệu thu được qua kênh không dây và ma trận kiểm tra chẵn lẻ tương ứng với tỷ lệ mã.

Theo phương án làm ví dụ, chỉ số của các hàng có chứa giá trị một (1) trong cột thứ không (0) của nhóm cột thứ i có thể thực hiện bước giải mã dựa vào các ma trận kiểm tra

chẵn lẻ được xác định trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên.

Bộ nhớ 912 lưu trữ dữ liệu đầu vào và dữ liệu đầu ra của bộ điều hành nút thay đổi 913 và bộ điều hành nút kiểm tra 915.

Bộ điều hành nút thay đổi 913 thu dữ liệu từ bộ nhớ 912 dựa vào thông tin về địa chỉ của dữ liệu đầu vào và thông tin về số lượng dữ liệu đầu vào thu được từ bộ điều khiển 914 để thực hiện hoạt động của nút thay đổi. Tiếp theo, bộ điều hành nút thay đổi 913 lưu trữ các kết quả hoạt động của nút thay đổi vào bộ nhớ 912 dựa vào thông tin về địa chỉ của dữ liệu đầu ra và thông tin về số lượng dữ liệu đầu ra thu được từ bộ điều khiển 914. Ngoài ra, bộ điều hành nút thay đổi 913 nhập các kết quả hoạt động của nút thay đổi vào bộ xử lý đầu ra 916 dựa vào dữ liệu thu được từ bộ xử lý đầu vào 911 và bộ nhớ 912. Ở đây, hoạt động của nút thay đổi đã được mô tả dựa vào Fig.5.

Bộ điều hành nút kiểm tra 915 thu dữ liệu từ bộ nhớ 912 dựa vào thông tin về địa chỉ của dữ liệu đầu vào và thông tin về số lượng dữ liệu đầu vào thu được từ bộ điều khiển 914 để thực hiện hoạt động của nút thay đổi. Tiếp theo, bộ điều hành nút kiểm tra 915 lưu trữ các kết quả hoạt động của nút thay đổi vào bộ nhớ 912 dựa vào thông tin về địa chỉ của dữ liệu đầu ra và thông tin về số lượng dữ liệu đầu ra thu được từ bộ điều khiển 914. Ở đây, hoạt động của nút kiểm tra đã được mô tả dựa vào Fig.5.

Bộ xử lý đầu ra 916 thực hiện quyết định mềm đối với việc các bit từ thông tin của từ mã ở phía thiết bị truyền có giá trị bằng không (0) hay bằng một (1) dựa vào dữ liệu thu được từ bộ điều hành nút thay đổi 913 và sau đó xuất ra các kết quả quyết định mềm, sao cho giá trị đầu ra của bộ xử lý đầu ra 916 có thể là giá trị được giải mã cuối cùng. Trong trường hợp này, trên Fig.5, quyết định mềm có thể được thực hiện dựa vào giá trị thu được sau khi cộng tất cả các giá trị thông báo (giá trị thông báo ban đầu và các giá trị thông báo khác được nhập vào từ nút kiểm tra) được nhập vào một nút thay đổi.

Thiết bị giải mã 800 có thể còn bao gồm bộ nhớ (không được thể hiện trên hình vẽ) trong đó thông tin về tỷ lệ mã, độ dài từ mã và ma trận kiểm tra chẵn lẻ của mã LDPC được lưu trữ từ trước, và bộ giải mã LDPC 810 có thể thực hiện bước mã hoá LDPC bằng cách sử dụng thông tin này. Tuy nhiên, đây chỉ là một ví dụ minh họa, và do đó, thông tin tương ứng có thể được cung cấp từ phía thiết bị truyền. Ở đây, thông tin về ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể là thông tin về ma trận con từ thông tin được tạo nên từ nhiều

nhóm cột, mỗi nhóm cột có M cột và được xác định bằng bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ M .

Fig.10 là sơ đồ khối thể hiện cấu hình của thiết bị thu theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Như được thể hiện trên Fig.10, thiết bị thu 1000 bao gồm bộ giải điều biến 1010, bộ giải đan xen 1020, bộ giải mã LDPC 1030 và bộ giải mã BCH 1040.

Bộ giải điều biến 1010 thu và giải điều biến tín hiệu được truyền từ thiết bị truyền tín hiệu (ví dụ, thiết bị truyền tín hiệu 700 trên Fig.7). Cụ thể, bộ giải điều biến 1010 có thể giải điều biến tín hiệu thu được để tạo ra giá trị tương ứng với từ mã LDPC và cung cấp giá trị đã tạo ra cho bộ giải đan xen 1020.

Trong trường hợp này, giá trị tương ứng với từ mã LDPC có thể được biểu diễn bằng giá trị kênh đối với tín hiệu thu được. Ở đây, phương pháp xác định giá trị kênh có thể có nhiều dạng khác nhau và phương pháp xác định giá trị LLR có thể là một ví dụ.

Bộ giải đan xen 1020 có thể thực hiện bước giải đan xen trên các giá trị đầu ra của bộ giải điều biến 1010 và cung cấp các giá trị đầu ra đã giải đan xen cho bộ giải mã LDPC 1030.

Cụ thể, bộ giải đan xen 1020 là bộ phận tương ứng với bộ đan xen 730 của thiết bị truyền tín hiệu 700 và có thể thực hiện hoạt động tương ứng với bộ đan xen 730. Tức là bộ giải đan xen 1020 có thể áp dụng đảo ngược sơ đồ đan xen đã được áp dụng ở bộ đan xen 730 để giải đan xen cho các giá trị LLR được xuất ra từ bộ giải điều biến 1010.

Tuy nhiên, trong một số trường hợp, khi bộ đan xen 730 không được sử dụng trong thiết bị truyền tín hiệu 700, thì bộ giải đan xen 1020 cũng có thể không được sử dụng.

Bộ giải mã LDPC 1030 có thể sử dụng các giá trị đầu ra của bộ giải đan xen 1020 để thực hiện bước giải mã LDPC và cung cấp các bit giải mã LDPC cho bộ giải mã BCH 1040. Ở đây, các bit giải mã LDPC có thể là từ mã BCH.

Cụ thể, bộ giải mã LDPC 1030 là bộ phận tương ứng với bộ mã hoá LDPC 720 của thiết bị truyền tín hiệu 700, và có thể thực hiện bước giải mã LDPC dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ. Bộ giải mã LDPC 1030 trên Fig.10 có thể được dùng làm bộ giải mã LDPC 810 được mô tả dựa vào Fig.8. Tức là bộ giải mã LDPC 1030 có thể thực hiện bước giải mã LDPC bằng cách sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ trong đó ma trận con từ

thông tin được xác định trong các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên tùy thuộc vào tỷ lệ mã và ma trận con chẵn lẻ có cấu trúc hai đường chéo.

Bộ giải mã BCH 1040 có thể thực hiện bước giải mã BCH trên các giá trị được xuất ra từ bộ giải mã LDPC 1030.

Cụ thể, bộ giải mã BCH 1040 là bộ phận tương ứng với bộ mã hoá BCH 710 của thiết bị truyền tín hiệu 700 và có thể thực hiện bước giải mã BCH trên từ mã BCH được xuất ra từ bộ giải mã LDPC 1030 để tạo ra các bit được truyền từ thiết bị truyền tín hiệu 700. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, khi bộ mã hoá BCH 710 không được sử dụng trong thiết bị truyền tín hiệu 700, thì bộ giải mã BCH 1040 cũng có thể không được sử dụng.

Thiết bị thu 1000 có thể lưu trữ trước nhiều thông số khác nhau được dùng để giải mã và giải đan xen. Ở đây, các thông số dùng để giải mã có thể là thông tin về tỷ lệ mã và độ dài từ mã của mã BCH và thông tin về tỷ lệ mã, độ dài từ mã và ma trận kiểm tra chẵn lẻ của mã LDPC. Ngoài ra, các thông số dùng để giải đan xen có thể là thông tin về quy tắc giải đan xen. Ở đây, thông tin về ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể là thông tin về ma trận con từ thông tin được tạo nên từ nhiều nhóm cột, mỗi nhóm cột có M cột và được xác định bằng bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ M.

Trong trường hợp như vậy, mỗi bộ phận cấu thành thiết bị thu 1000 có thể hoạt động bằng cách sử dụng các thông số này.

Mặc dù không được thể hiện trên hình vẽ, nhưng trong một số trường hợp, thiết bị thu 1000 có thể còn bao gồm bộ điều khiển (không được thể hiện trên hình vẽ) để điều khiển hoạt động của thiết bị thu 1000.

Trong trường hợp này, bộ điều khiển (không được thể hiện trên hình vẽ) có thể cung cấp thông tin về tỷ lệ mã và độ dài từ mã của các mã BCH cho bộ giải mã BCH 1040 và cung cấp thông tin về tỷ lệ mã, độ dài từ mã, ma trận kiểm tra chẵn lẻ của các mã LDPC cho bộ giải mã LDPC 1030. Ngoài ra, bộ điều khiển (không được thể hiện trên hình vẽ) cũng có thể cung cấp thông tin về sơ đồ đan xen cho bộ giải đan xen 1020. Ở đây, thông tin về ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể là thông tin về ma trận con từ thông tin được tạo nên từ các nhóm cột, mỗi nhóm cột có M cột và được xác định bằng bảng biểu

diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ M.

Fig.11 và Fig.12 là các sơ đồ thể hiện hiệu suất của các mã LDPC theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế.

Fig.11 là sơ đồ thể hiện hiệu suất BER của các mã LDPC theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Cụ thể, mỗi đường cong biểu diễn một hiệu suất BER theo Es/No khi bước mã hoá LDPC được thực hiện dựa vào các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên.

Fig.12 là sơ đồ thể hiện hiệu suất FER của các mã LDPC theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Cụ thể, mỗi đường cong biểu diễn một hiệu suất FER theo Es/No khi bước mã hoá LDPC được thực hiện dựa vào các bảng từ bảng 9 đến bảng 18 nêu trên.

Như đã nêu trên, khi bước mã hoá LDPC được thực hiện dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định theo các phương án làm ví dụ nêu trên, thì có thể nhận thấy rằng hiệu suất BER/FER được nâng cao.

Fig.13 là lưu đồ thể hiện phương pháp mã hoá theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Cụ thể, Fig.13 là sơ đồ mô tả phương pháp mã hoá của thiết bị mã hoá để thực hiện bước mã hoá kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (LDPC).

Trước tiên, bước mã hoá LDPC được thực hiện trên các bit đầu vào dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ để tạo ra từ mã LDPC (S1310). Trong trường hợp này, từ mã LDPC có thể có 64800 bit. Tức là độ dài của từ mã LDPC có thể bằng 64800.

Khi đó, ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể có cấu trúc giống với ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 được thể hiện trên Fig.3.

Cụ thể, ma trận kiểm tra chẵn lẻ bao gồm ma trận con từ thông tin và ma trận con chẵn lẻ nêu trên.

Ở đây, ma trận con từ thông tin được tạo nên từ nhiều nhóm cột, mỗi nhóm cột có M cột và có thể được xác định bằng bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ M. Ở đây, M, là khoảng lặp lại của các mẫu cột trong ma trận con từ thông tin, có thể bằng 360. Ngoài ra, ma trận con chẵn lẻ có thể có cấu trúc hai đường chéo.

Trong trường hợp này, ở bước S1310, bước mã hoá LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định với nhiều dạng khác nhau

tuỳ thuộc vào tỷ lệ mã.

Ví dụ, bước mã hoá LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 9, bảng 13 và bảng 17 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng 6/15 và bước mã hoá LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 10 và bảng 14 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng 8/15. Ngoài ra, bước mã hoá LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 11, bảng 15 và bảng 18 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng 10/15 và bước mã hoá LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 12 và bảng 16 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng 12/15.

Phương pháp thực hiện bước mã hoá LDPC đã được mô tả chi tiết ở trên, và do đó ở đây sẽ không mô tả lại nữa.

Fig.14 là lưu đồ thể hiện phương pháp giải mã theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Cụ thể, Fig.14 là sơ đồ mô tả phương pháp giải mã của thiết bị giải mã để thực hiện bước giải mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (LDPC).

Trước tiên, bước giải mã LDPC được thực hiện trên từ mã LDPC dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ (S1410). Ở đây, từ mã LDPC có thể có 64800 bit. Tức là độ dài của từ mã LDPC có thể bằng 64800.

Ví dụ, bước giải mã LDPC có thể được thực hiện bằng cách tìm ra các giá trị LLR tương ứng với các bit của từ mã LDPC dựa vào phương pháp giải mã lặp để tạo ra các bit từ thông tin.

Ở đây, các giá trị LLR có thể được biểu diễn bằng các giá trị kênh tương ứng với các bit của từ mã LDPC bằng nhiều phương pháp khác nhau.

Ví dụ, các giá trị LLR có thể được biểu diễn bằng các giá trị thu được sau khi lấy logarit trên tỷ số giữa xác suất mà các bit truyền qua kênh ở phía thiết bị truyền bằng không (0) và xác suất mà các bit đó bằng một (1). Ngoài ra, các giá trị LLR có thể là các giá trị bit được xác định bằng phương pháp quyết định mềm và cũng có thể là giá trị tiêu biểu được xác định tuỳ thuộc vào phân bố xác suất mà các bit truyền từ phía thiết bị truyền bằng không (0) hay bằng một (1).

Trong trường hợp này, phía thiết bị truyền có thể sử dụng bộ mã hoá LDPC 610 như được thể hiện trên Fig.6 để tạo ra và truyền từ mã LDPC.

Khi đó, ma trận kiểm tra chẵn lẻ có thể có cấu trúc giống với ma trận kiểm tra chẵn lẻ 300 được thể hiện trên Fig.3.

Cụ thể, ma trận kiểm tra chẵn lẻ bao gồm ma trận con từ thông tin và ma trận con chẵn lẻ như đã nêu trên.

Ở đây, ma trận con từ thông tin được tạo nên từ nhiều nhóm cột, mỗi nhóm cột có M cột và có thể được xác định bằng bảng biểu diễn vị trí của các giá trị một (1) trong mỗi cột thứ M. Ở đây, M, là khoảng lặp lại của các mẫu cột trong ma trận con từ thông tin, có thể bằng 360. Ngoài ra, ma trận con chẵn lẻ có thể có cấu trúc hai đường chéo.

Trong trường hợp này, ở bước S1410, bước giải mã LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định với nhiều dạng khác nhau tùy thuộc vào tỷ lệ mã R.

Ví dụ, bước giải mã LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 9, bảng 13 và bảng 17 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng 6/15 và bước giải mã LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong một bảng như bảng 10 và bảng 14 nêu trên khi tỷ lệ mã bằng 8/15. Ngoài ra, bước giải mã LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong bảng như bảng 11, bảng 15 và bảng 18 khi tỷ lệ mã bằng 10/15 và bước giải mã LDPC có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các ma trận kiểm tra chẵn lẻ được xác định trong bảng như bảng 12 và bảng 16 khi tỷ lệ mã bằng 12/15.

Phương pháp thực hiện bước giải mã LDPC đã được mô tả chi tiết ở trên, và do đó ở đây sẽ không mô tả lại nữa.

Sáng chế có thể đề cập đến vật ghi bất khả biến đọc được bằng máy tính trong đó lưu trữ các chương trình lần lượt thực hiện phương pháp mã hoá và phương pháp giải mã theo các phương án làm ví dụ nêu trên.

Vật ghi bất khả biến đọc được bằng máy tính không phải là phương tiện như thanh ghi, bộ nhớ tác động nhanh, và bộ nhớ có thể lưu trữ dữ liệu trong thời gian ngắn, mà là

phương tiện có thể lưu trữ dữ liệu ở dạng bán cố định và có thể đọc được bằng máy tính. Cụ thể, nhiều ứng dụng hoặc chương trình như đã nêu trên có thể được lưu trữ và cung cấp trên vật ghi bất khả biến đọc được bằng máy tính như đĩa compac (Compact Disc, CD), đĩa đa năng kỹ thuật số (Digital Versatile Disc, DVD), đĩa cứng, đĩa Blu-ray, bộ nhớ theo giao thức bus nối tiếp đa năng (Universal Serial Bus, USB), thẻ nhớ và bộ nhớ chỉ đọc (Read-Only Memory, ROM).

Ngoài ra, mặc dù trong các sơ đồ khối nêu trên thể hiện thiết bị mã hoá, thiết bị giải mã, thiết bị truyền tín hiệu và thiết bị thu không thể hiện bus, nhưng sự liên kết giữa các bộ phận trong thiết bị mã hoá, thiết bị giải mã, thiết bị truyền tín hiệu và thiết bị thu có thể được thực hiện thông qua bus.

Các bộ phận, phần tử hoặc đơn vị được biểu thị ở dạng khối như được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.6 đến Fig.10 có thể được thực hiện dưới dạng các cấu trúc phần cứng, phần mềm và/hoặc phần sụn để thực hiện các chức năng tương ứng nêu trên theo các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Ví dụ, các bộ phận, phần tử hoặc đơn vị có thể sử dụng cấu trúc mạch trực tiếp, như bộ nhớ, khối xử lý, mạch logic, bảng tra cứu, v.v., để có thể thực hiện các chức năng tương ứng theo sự điều khiển của một hoặc nhiều bộ vi xử lý hoặc các thiết bị điều khiển khác. Các bộ phận, phần tử hoặc đơn vị có thể được thể hiện ở dạng cụ thể bằng môđun, chương trình hoặc đoạn mã, chứa một hoặc nhiều lệnh thi hành được để thực hiện các chức năng logic cụ thể. Ngoài ra, ít nhất một trong số các bộ phận, phần tử hoặc đơn vị nêu trên có thể còn có bộ xử lý như bộ xử lý trung tâm (Central Processing Unit, CPU) để thực hiện các chức năng tương ứng, bộ vi xử lý, hoặc các thiết bị tương tự khác.

Như đã nêu trên, theo các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, có thể nâng cao hiệu suất mã hoá và giải mã LDPC.

Mặc dù các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế đã được thể hiện trên các hình vẽ và được mô tả trên đây, nhưng phạm vi của sáng chế không bị giới hạn ở các phương án làm ví dụ nêu trên và cần phải hiểu rõ là có nhiều phương án cải biến có thể được người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật này tìm ra dựa trên các phương án đã được mô tả trong sáng chế mà vẫn không bị coi là nằm ngoài phạm vi của sáng chế, như được xác định bằng các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo, và các phương án cải biến đó

không bị coi là nằm ngoài phạm vi yêu cầu bảo hộ của sáng chế.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp truyền tín hiệu phát rộng truyền hình (Television, TV) của thiết bị truyền tín hiệu phát rộng TV để truyền dữ liệu phát rộng TV, bao gồm các bước:

mã hoá các bit đầu vào để tạo ra các bit chẵn lẻ bằng cách sử dụng ma trận;

đan xen từ mã bằng cách sử dụng thứ tự đan xen, từ mã này có các bit đầu vào và các bit chẵn lẻ;

ánh xạ các bit của từ mã đã được đan xen lên các điểm trong chòm điểm;

tạo ra tín hiệu phát rộng TV dựa vào các điểm trong chòm điểm đã được ánh xạ bằng cách sử dụng quy trình xử lý dồn kênh phân tần trực giao (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM); và

truyền tín hiệu phát rộng TV đã tạo ra,

trong đó các bit đầu vào là dựa trên dữ liệu phát rộng TV,

trong đó ma trận được thu nhận dựa vào các chỉ số của các bit chẵn lẻ của mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (Low Density Parity Check, LDPC) có tỷ lệ mã bằng 6/15 và độ dài mã bằng 64800 bit,

trong đó thứ tự đan xen được thu nhận dựa vào tỷ lệ mã bằng 6/15 và độ dài mã bằng 64800 bit,

trong đó các điểm trong chòm điểm được xác định dựa vào ít nhất một giá trị trong số tỷ lệ mã bằng 6/15 hoặc thứ tự điều biến để ánh xạ, và

trong đó các chỉ số của các bit chẵn lẻ được thể hiện trong bảng dưới đây:

1606	3402	4961	6751	7132	11516	12300	12482	12592	13342	13764	14123	21576	23946	24533	25376	25667
26836	31799	34173	35462	36153	36740	37085	37152	37468	37658							
4621	5007	6910	8732	9757	11508	13099	15513	16335	18052	19512	21319	23663	25628	27208	31333	32219
33003	33239	33447	36200	36473	36938	37201	37283	37495	38642							
16	1094	2020	3080	4194	5098	5631	6877	7889	8237	9804	10067	11017	11366	13136	13354	15379
18934	20199	24522	26172	28666	30386	32714	36390	37015	37162							
700	897	1708	6017	6490	7372	7825	9546	10398	16605	18561	18745	21625	22137	23693	24340	24966
25015	26995	28586	28895	29687	33938	34520	34858	37056	38297							
159	2010	2573	3617	4452	4958	5556	5832	6481	8227	9924	10836	14954	15594	16623	18065	19249
22394	22677	23408	23731	24076	24776	27007	28222	30343	38371							

3118 3545 4768 4992 5227 6732 8170 9397 10522 11508 15536 20218 21921 28599 29445 29758 29968 31014
 32027 33685 34378 35867 36323 36728 36870 38335 38623
 1264 4254 6936 9165 9486 9950 10861 11653 13697 13961 15164 15665 18444 19470 20313 21189 24371
 26431 26999 28086 28251 29261 31981 34015 35850 36129 37186
 111 1307 1628 2041 2524 5358 7988 8191 10322 11905 12919 14127 15515 15711 17061 19024 21195 22902
 23727 24401 24608 25111 25228 27338 35398 37794 38196
 961 3035 7174 7948 13355 13607 14971 18189 18339 18665 18875 19142 20615 21136 21309 21758 23366
 24745 25849 25982 27583 30006 31118 32106 36469 36583 37920
 2990 3549 4273 4808 5707 6021 6509 7456 8240 10044 12262 12660 13085 14750 15680 16049 21587 23997
 25803 28343 28693 34393 34860 35490 36021 37737 38296
 955 4323 5145 6885 8123 9730 11840 12216 19194 20313 23056 24248 24830 25268 26617 26801 28557
 29753 30745 31450 31973 32839 33025 33296 35710 37366 37509
 264 605 4181 4483 5156 7238 8863 10939 11251 12964 16254 17511 20017 22395 22818 23261 23422 24064
 26329 27723 28186 30434 31956 33971 34372 36764 38123
 520 2562 2794 3528 3860 4402 5676 6963 8655 9018 9783 11933 16336 17193 17320 19035 20606 23579
 23769 24123 24966 27866 32457 34011 34499 36620 37526
 10106 10637 10906 34242
 1856 15100 19378 21848
 943 11191 27806 29411
 4575 6359 13629 19383
 4476 4953 18782 24313
 5441 6381 21840 35943
 9638 9763 12546 30120
 9587 10626 11047 25700
 4088 15298 28768 35047
 2332 6363 8782 28863
 4625 4933 28298 30289
 3541 4918 18257 31746
 1221 25233 26757 34892
 8150 16677 27934 30021
 8500 25016 33043 38070
 7374 10207 16189 35811
 611 18480 20064 38261
 25416 27352 36089 38469
 1667 17614 25839 32776
 4118 12481 21912 37945
 5573 13222 23619 31271
 18271 26251 27182 30587
 14690 26430 26799 34355
 13688 16040 20716 34558
 2740 14957 23436 32540
 3491 14365 14681 36858
 4796 6238 25203 27854
 1731 12816 17344 26025
 19182 21662 23742 27872
 6502 13641 17509 34713

12246 12372 16746 27452
 1589 21528 30621 34003
 12328 20515 30651 31432
 3415 22656 23427 36395
 632 5209 25958 31085
 619 3690 19648 37778
 9528 13581 26965 36447
 2147 26249 26968 28776
 15698 18209 30683
 1132 19888 34111
 4608 25513 38874
 475 1729 34100
 7348 32277 38587
 182 16473 33082
 3865 9678 21265
 4447 20151 27618
 6335 14371 38711
 704 9695 28858
 4856 9757 30546
 1993 19361 30732
 756 28000 29138
 3821 24076 31813
 4611 12326 32291
 7628 21515 34995
 1246 13294 30068
 6466 33233 35865
 14484 23274 38150
 21269 36411 37450
 23129 26195 37653

2. Phương pháp truyền tín hiệu phát rộng TV theo điểm 1, trong đó ma trận có cấu trúc tuần hoàn.

3. Phương pháp truyền tín hiệu phát rộng TV theo điểm 1, trong đó số lượng định trước được thiết lập khác nhau theo tỷ lệ mã và độ dài mã là 108 khi tỷ lệ mã là 6/15 và độ dài mã là 64800 bit.

4. Phương pháp truyền tín hiệu phát rộng TV theo điểm 1, trong đó các bit chắn lẻ được tạo ra bằng cách thiết lập giá trị ban đầu cho các bit chắn lẻ, cộng các bit đầu vào với các bit chắn lẻ đã được thiết lập giá trị ban đầu dựa trên ma trận, và thực hiện phép toán nhị phân dựa trên bit chắn lẻ đã cộng có chỉ số của bit chắn lẻ x và bit chắn lẻ đã cộng có chỉ số của bit chắn lẻ $x-1$ để xuất ra bit chắn lẻ có chỉ số của bit chắn lẻ x ,

trong đó x là một giá trị trong số các giá trị lớn hơn 0 và nhỏ hơn số lượng bit chẵn lẻ.

5. Phương pháp truyền tín hiệu phát rộng TV theo điểm 4, trong đó ma trận được biểu diễn bằng $q(i,j,l)$ được tạo ra dựa vào quan hệ dưới đây:

$$q(i,j,l) = q(i,j,0) + Q_{ldpc} \times l \pmod{M_{inner}} \quad \text{với } 0 < l < 360$$

trong đó Q_{ldpc} là thông số mã hoá được xác định dựa vào tỷ lệ mã của mã LDPC và độ dài mã của mã LDPC, M_{inner} là số lượng bit chẵn lẻ, $q(i,j,0)$ là chỉ số của bit chẵn lẻ được biểu diễn bằng mục nằm ở vị trí thứ j của hàng thứ i trong bảng, i là chỉ số của hàng trong bảng, và j là chỉ số của mục trong hàng.

6. Phương pháp truyền tín hiệu phát rộng TV theo điểm 5, trong đó các bit đầu vào được cộng với các bit chẵn lẻ đã được thiết lập giá trị ban đầu dựa vào quan hệ dưới đây,

$$P_{q(i,w(i),l)} = P_{q(i,w(i),l)} + s_k,$$

trong đó s_k là bit đầu vào thứ k trong số các bit đầu vào, $P_{q(i,w(i),l)}$ là bit chẵn lẻ thứ $q(i,w(i),l)$ trong số các bit chẵn lẻ đã được thiết lập giá trị ban đầu, k là một giá trị trong số các giá trị lớn hơn hoặc bằng 0 và nhỏ hơn số lượng bit đầu vào, $i = \lfloor k/360 \rfloor$, $l = k \pmod{360}$, và $w(i) = j$.

7. Phương pháp thu tín hiệu phát rộng truyền hình bao gồm các bước:

thu tín hiệu từ thiết bị truyền;

giải điều biến tín hiệu để tạo ra các giá trị;

giải đan xen cho các giá trị; và

giải mã các giá trị đã được giải đan xen dựa vào mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (LDPC) có tỷ lệ mã bằng 6/15 và độ dài mã bằng 64800 bit,

trong đó tín hiệu này được tạo ra dựa vào các bit đầu vào và các bit chẵn lẻ được tạo ra dựa vào quy trình mã hoá các bit đầu vào,

trong đó quy trình mã hoá được thực hiện dựa trên ma trận được thu nhận dựa vào các chỉ số của các bit chẵn lẻ của mã LDPC, và

trong đó các chỉ số của các bit chặn lẻ được thể hiện trong bảng dưới đây:

1606	3402	4961	6751	7132	11516	12300	12482	12592	13342	13764	14123	21576	23946	24533	25376	25667
26836	31799	34173	35462	36153	36740	37085	37152	37468	37658							
4621	5007	6910	8732	9757	11508	13099	15513	16335	18052	19512	21319	23663	25628	27208	31333	32219
33003	33239	33447	36200	36473	36938	37201	37283	37495	38642							
16	1094	2020	3080	4194	5098	5631	6877	7889	8237	9804	10067	11017	11366	13136	13354	15379
18934	20199	24522	26172	28666	30386	32714	36390	37015	37162							
700	897	1708	6017	6490	7372	7825	9546	10398	16605	18561	18745	21625	22137	23693	24340	24966
25015	26995	28586	28895	29687	33938	34520	34858	37056	38297							
159	2010	2573	3617	4452	4958	5556	5832	6481	8227	9924	10836	14954	15594	16623	18065	19249
22394	22677	23408	23731	24076	24776	27007	28222	30343	38371							
3118	3545	4768	4992	5227	6732	8170	9397	10522	11508	15536	20218	21921	28599	29445	29758	29968
31014	32027	33685	34378	35867	36323	36728	36870	38335	38623							
1264	4254	6936	9165	9486	9950	10861	11653	13697	13961	15164	15665	18444	19470	20313	21189	24371
26431	26999	28086	28251	29261	31981	34015	35850	36129	37186							
111	1307	1628	2041	2524	5358	7988	8191	10322	11905	12919	14127	15515	15711	17061	19024	21195
22902	23727	24401	24608	25111	25228	27338	35398	37794	38196							
961	3035	7174	7948	13355	13607	14971	18189	18339	18665	18875	19142	20615	21136	21309	21758	23366
24745	25849	25982	27583	30006	31118	32106	36469	36583	37920							
2990	3549	4273	4808	5707	6021	6509	7456	8240	10044	12262	12660	13085	14750	15680	16049	21587
23997	25803	28343	28693	34393	34860	35490	36021	37737	38296							
955	4323	5145	6885	8123	9730	11840	12216	19194	20313	23056	24248	24830	25268	26617	26801	28557
29753	30745	31450	31973	32839	33025	33296	35710	37366	37509							
264	605	4181	4483	5156	7238	8863	10939	11251	12964	16254	17511	20017	22395	22818	23261	23422
24064	26329	27723	28186	30434	31956	33971	34372	36764	38123							
520	2562	2794	3528	3860	4402	5676	6963	8655	9018	9783	11933	16336	17193	17320	19035	20606
23579	23769	24123	24966	27866	32457	34011	34499	36620	37526							
10106	10637	10906	34242													
1856	15100	19378	21848													
943	11191	27806	29411													
4575	6359	13629	19383													
4476	4953	18782	24313													
5441	6381	21840	35943													
9638	9763	12546	30120													
9587	10626	11047	25700													
4088	15298	28768	35047													
2332	6363	8782	28863													
4625	4933	28298	30289													
3541	4918	18257	31746													
1221	25233	26757	34892													
8150	16677	27934	30021													
8500	25016	33043	38070													
7374	10207	16189	35811													
611	18480	20064	38261													
25416	27352	36089	38469													

1667 17614 25839 32776
 4118 12481 21912 37945
 5573 13222 23619 31271
 18271 26251 27182 30587
 14690 26430 26799 34355
 13688 16040 20716 34558
 2740 14957 23436 32540
 3491 14365 14681 36858
 4796 6238 25203 27854
 1731 12816 17344 26025
 19182 21662 23742 27872
 6502 13641 17509 34713
 12246 12372 16746 27452
 1589 21528 30621 34003
 12328 20515 30651 31432
 3415 22656 23427 36395
 632 5209 25958 31085
 619 3690 19648 37778
 9528 13581 26965 36447
 2147 26249 26968 28776
 15698 18209 30683
 1132 19888 34111
 4608 25513 38874
 475 1729 34100
 7348 32277 38587
 182 16473 33082
 3865 9678 21265
 4447 20151 27618
 6335 14371 38711
 704 9695 28858
 4856 9757 30546
 1993 19361 30732
 756 28000 29138
 3821 24076 31813
 4611 12326 32291
 7628 21515 34995
 1246 13294 30068
 6466 33233 35865
 14484 23274 38150
 21269 36411 37450
 23129 26195 37653

8. Phương pháp thu tín hiệu phát rộng truyền hình theo điểm 7, trong đó ma trận có cấu trúc tuần hoàn.

1/7

Fig. 1

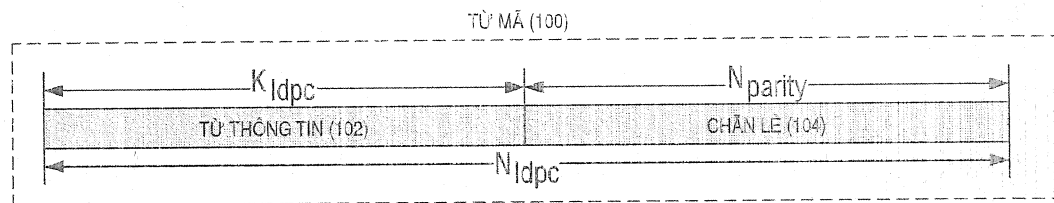


Fig. 2

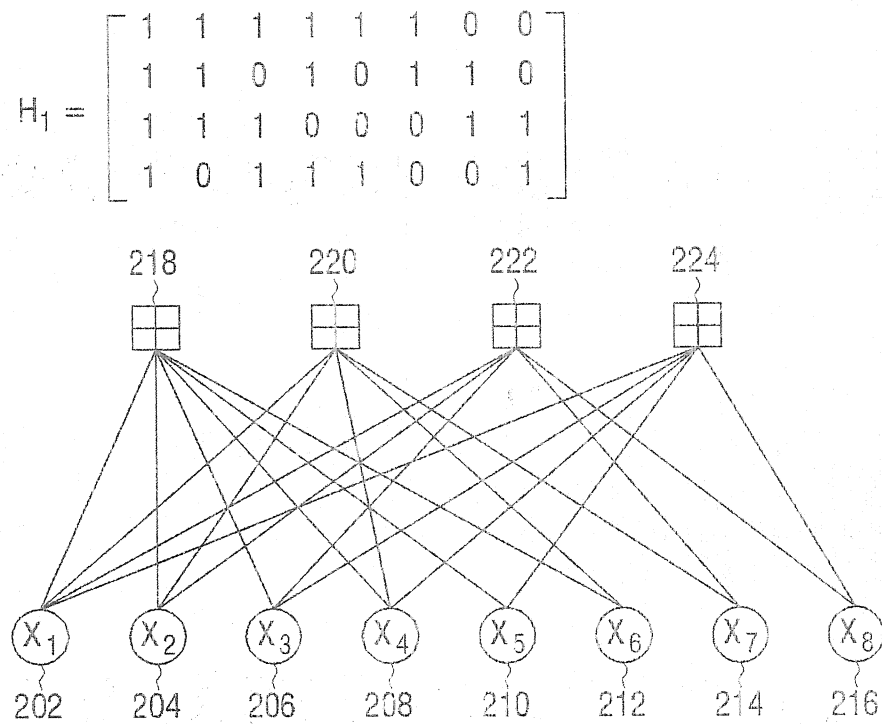


Fig. 3

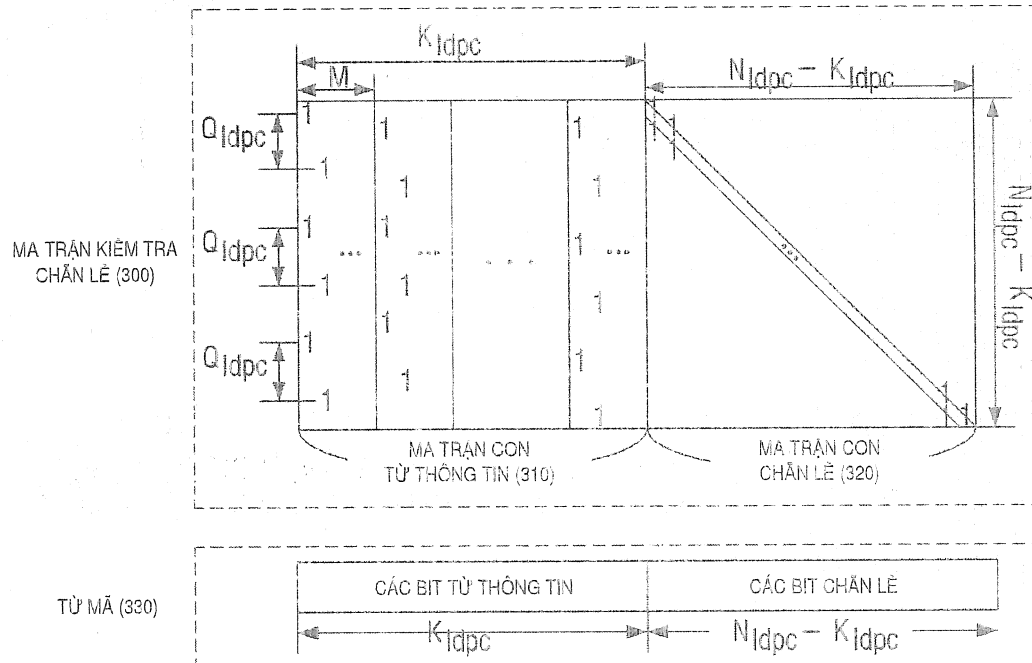
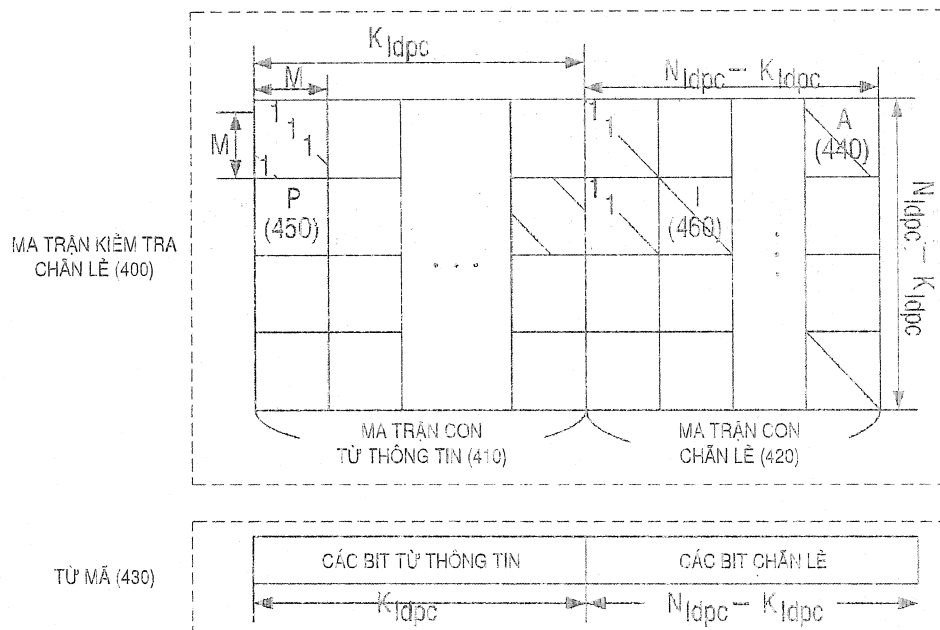


Fig. 4



3/7

Fig. 5A

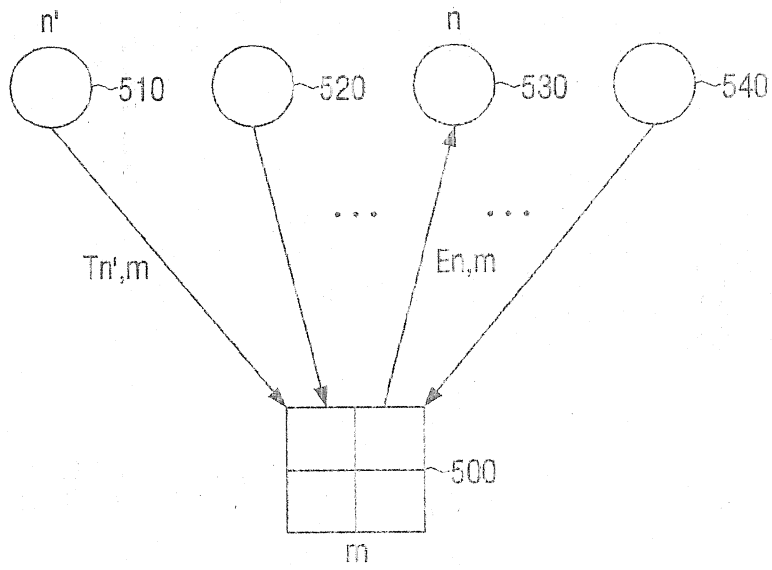


Fig. 5B

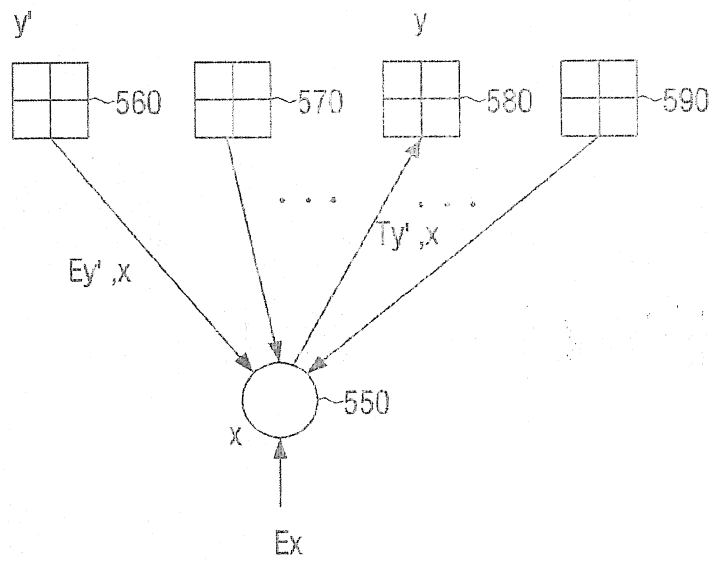


Fig. 6

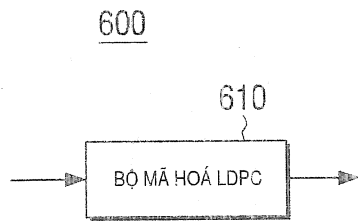


Fig. 7

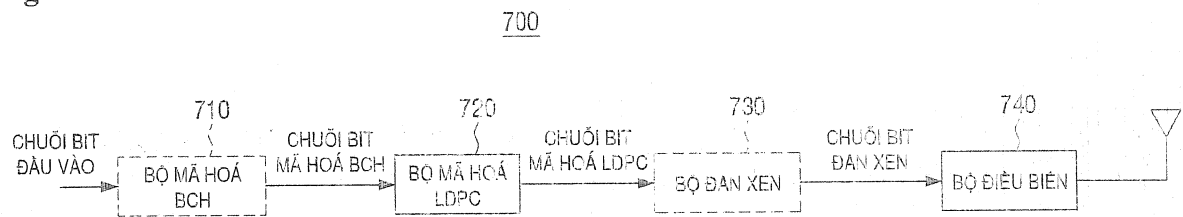
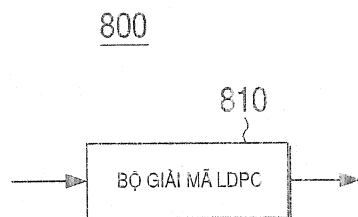


Fig. 8



5/7

Fig. 9

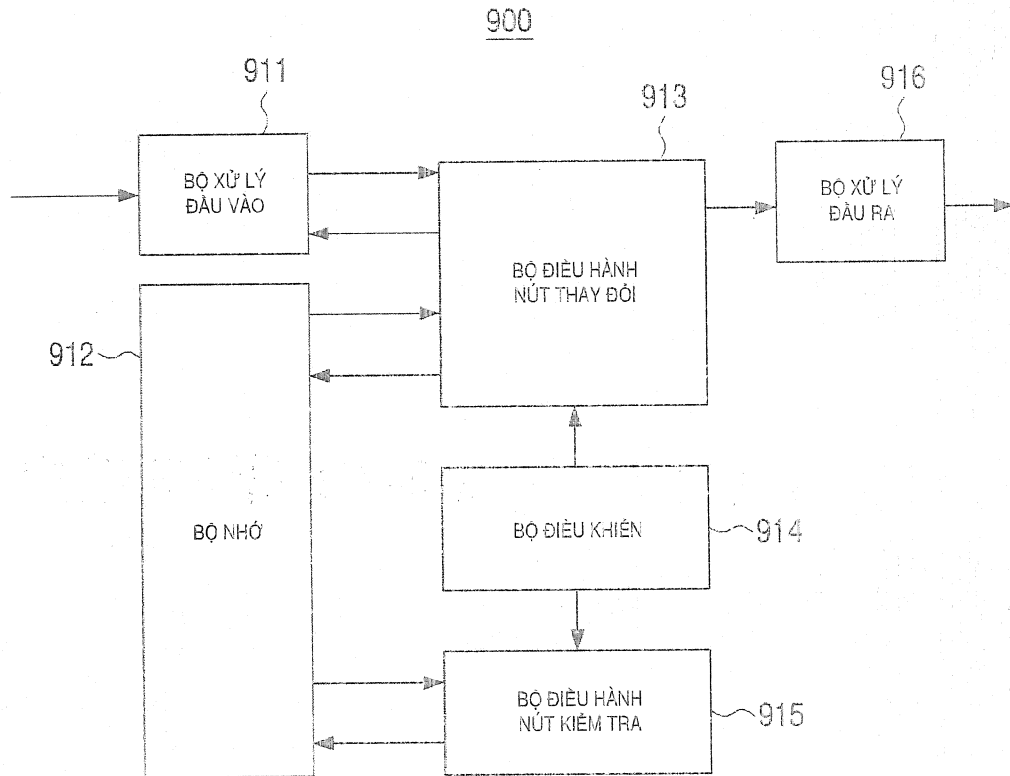
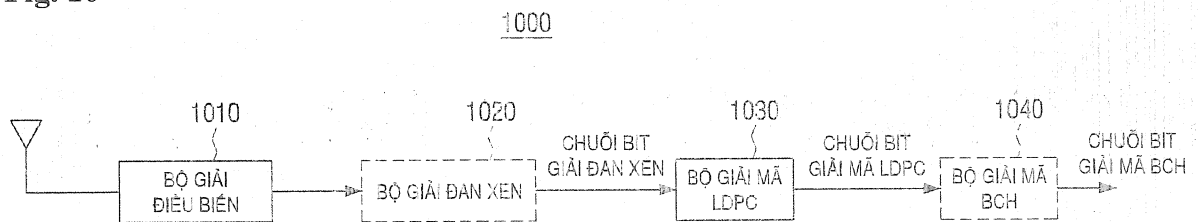


Fig. 10



6/7

Fig. 11

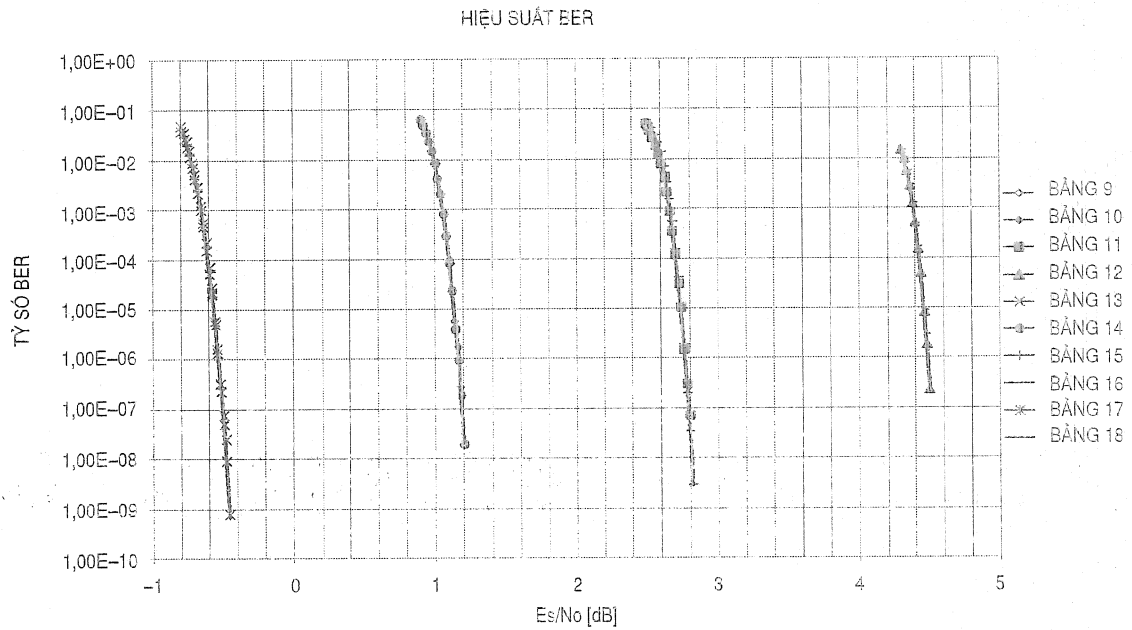


Fig. 12

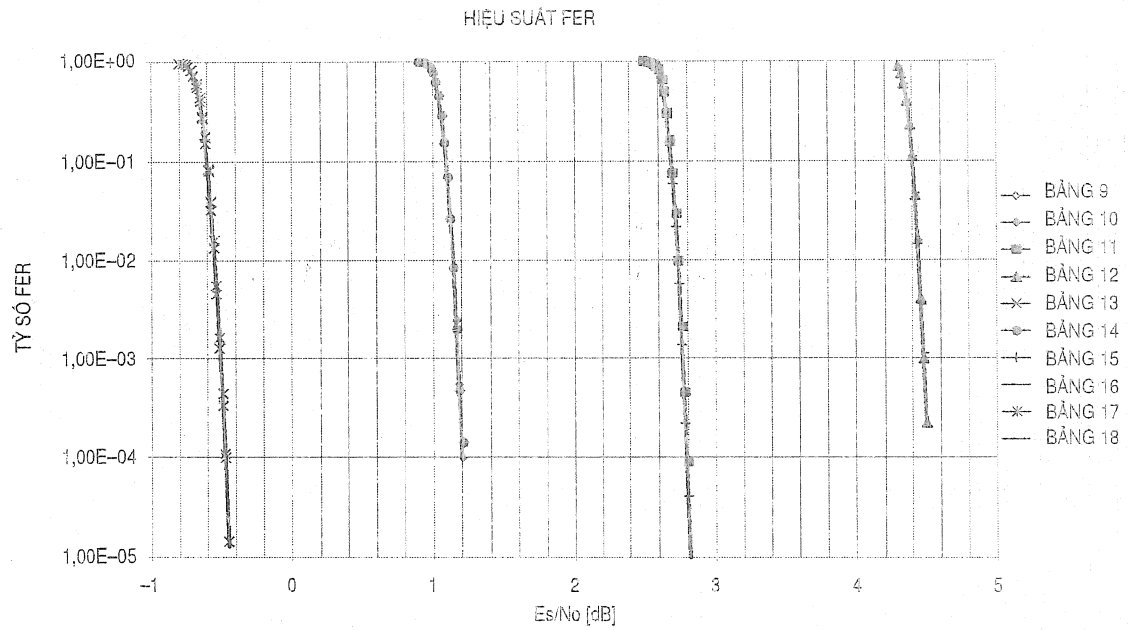


Fig. 13

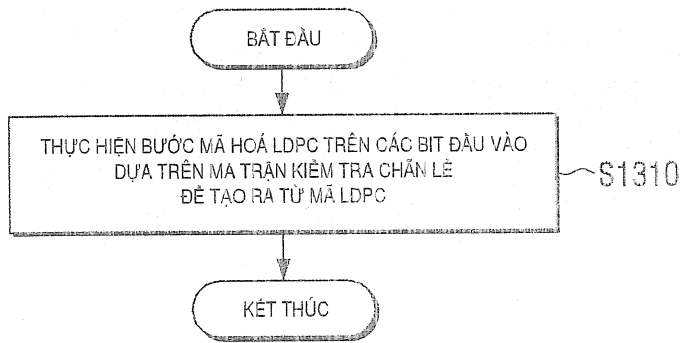


Fig. 14

