



(12) **BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ**

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

(11) 
1-0019787

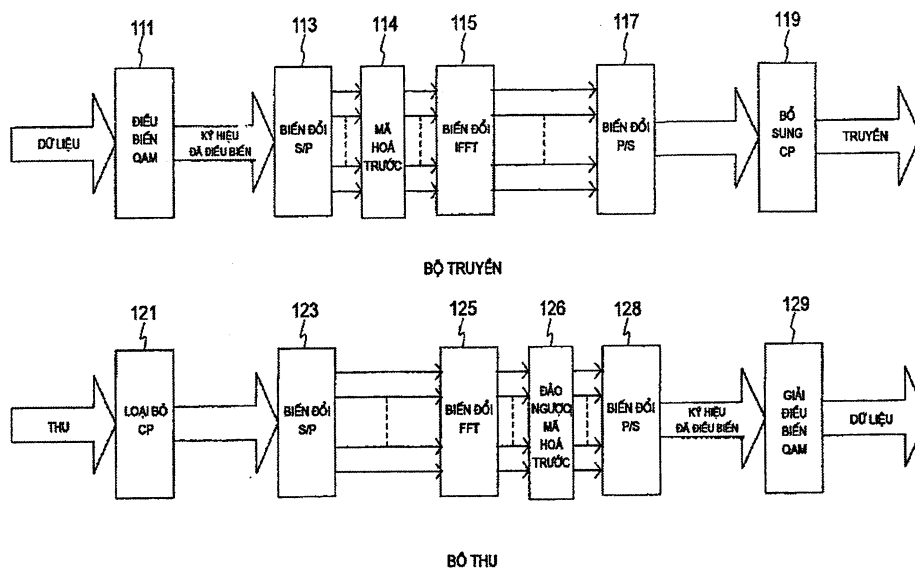
(51)⁷ **H04J 11/00, H04B 14/00**

(13) **B**

- (21) 1-2012-01444 (22) 09.06.2008
(62) 1-2010-00056
(86) PCT/KR2008/003212 09.06.2008 (87) WO2008/150148A2 11.12.2008
(30) US 60/929,027 08.06.2007 US
US 60/929,455 28.06.2007 US
US 12/155,097 29.05.2008 US
(45) 25.09.2018 366 (43) 25.10.2012 295
(73) Samsung Electronics Co., Ltd. (KR)
416, Maetan-dong, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 442-742, Republic of Korea
(72) Jianzhong ZHANG (CN), Cornelius Van RENSBURG (ZA)
(74) Công ty TNHH Sở hữu trí tuệ WINCO (WINCO CO., LTD.)

(54) **PHƯƠNG PHÁP VÀ THIẾT BỊ TRUYỀN VÀ THU DỮ LIỆU TRONG HỆ THỐNG TRUYỀN THÔNG**

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp truyền dữ liệu bao gồm các bước điều biến dữ liệu cần truyền qua bộ truyền tạo thành các ký hiệu đã điều biến, tạo ra sổ mã chứa nhiều từ mã, chọn một từ mã trong sổ mã này để làm ma trận mã hoá trước bằng cách chọn hoán vị vòng quanh định trước, mã hoá trước các ký hiệu đã điều biến bằng ma trận mã hoá trước đã chọn, và truyền các ký hiệu điều biến đã được mã hoá trước.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp và thiết bị truyền dữ liệu trong hệ thống truyền thông, và cụ thể hơn là, phương pháp và thiết bị tin cậy và hiệu quả hơn để chọn ma trận mã hoá trước cho các cấu trúc vòng lặp mở.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Đồn kênh phân tần trực giao (*OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) là kỹ thuật truyền thông không dây phổ biến dùng để dồn kênh dữ liệu theo tần số. Dải thông toàn phần trong hệ thống OFDM được phân chia thành các đơn vị tần số dải hẹp gọi là sóng mang thứ cấp. Ở chế độ lập lịch biểu chọn lọc tần số cho nhiều người dùng, tập hợp sóng mang thứ cấp liên tục có khả năng bị méo do fading được phân định để truyền tín hiệu đến người dùng. Tuy nhiên, ở chế độ truyền phân tập tần số, sẽ tốt hơn nếu các sóng mang thứ cấp đã phân định được phân bố đều trên toàn phổ.

Trong hệ thống di động không dây sử dụng kỹ thuật truy nhập OFDM, hiệu suất và hiệu quả toàn hệ thống có thể được nâng cao bằng cách sử dụng, ngoài chế độ lập lịch biểu trong miền thời gian, chế độ lập lịch biểu chọn lọc tần số cho nhiều người dùng. Trong kênh truyền thông di động không dây chọn lọc tần số thay đổi theo thời gian, cũng có thể nâng cao độ tin cậy của kênh bằng cách trải rộng và/hoặc mã hoá thông tin trên sóng mang thứ cấp.

Hệ thống truyền thông có nhiều anten, thường gọi là hệ thống có nhiều đầu vào nhiều đầu ra (*MIMO: Multiple Input Multiple Output*), được sử dụng rộng rãi kết hợp với kỹ thuật OFDM, trong hệ thống truyền thông không dây để nâng cao hiệu suất hệ thống. Các sơ đồ MIMO sử dụng nhiều anten truyền và nhiều anten thu để làm tăng dung lượng và độ tin cậy của kênh truyền thông không dây.

Sơ đồ MIMO phổ biến là sơ đồ mã hoá trước MIMO. Với sơ đồ mã hoá trước, các dòng dữ liệu cần truyền được mã hoá trước, tức là, được nhân trước với ma trận mã

hoá trước, trước khi được truyền đến các anten truyền trong bộ truyền. Trong hệ thống MIMO mã hoá trước, các thao tác đảo ngược được thực hiện ở bộ thu để khôi phục các ký hiệu truyền. Các ký hiệu thu được nhân với ma trận mã hoá trước nghịch đảo.

Giải pháp mã hoá trước hiện đang được cố gắng áp dụng cho cả kỹ thuật phân tập truyền lẫn kỹ thuật dồn kênh không gian MIMO. Bộ mã hoá trước phức hợp được cấu trúc dựa trên bộ mã hoá trước unita như bộ mã hoá trước ma trận Fourier được nhân với một bộ mã hoá trước unita khác biểu thị sơ đồ phân tập truyền như phân tập độ trễ tuần hoàn (*CDD: Cyclic Delay Diversity*). Cần lưu ý rằng, các nguyên lý của sáng chế cũng có thể áp dụng cho trường hợp bộ mã hoá trước không phải unita hoặc trường hợp bộ mã hoá trước unita khác với bộ mã hoá trước ma trận Fourier. Ma trận D được đưa vào dùng làm ký hiệu cho ma trận mã hoá trước CDD và ma trận P được đưa vào dùng làm ký hiệu cho ma trận biến đổi Fourier rời rạc (*DFT: Discrete Fourier Transform*), khi đó ma trận kết hợp $C = DP$ trở thành ma trận hoán vị cột trên các sóng mang thứ cấp khác nhau. Nhiều nỗ lực đã được thực hiện nhằm cải tiến phương pháp mã hoá trước trong cả cấu trúc vòng lặp mở lẫn cấu trúc vòng lặp đóng, như nêu trong các tài liệu dưới đây của tổ chức mang tên 3rd Generation Partnership Project (3GPP TM):

[1]. 3GPP RAN1 contribution R1-072461, “High Delay CDD in Rank Adapted Spatial Multiplexing Mode for LTE DL”, tháng 5 năm 2007, Kobe, Japan;

[2]. 3GPP RAN1 contribution R1-072019 “CDD precoding for 4 Tx antennas”, tháng 5 năm 2007, Kobe, Japan;

[3]. 3GPP RAN1 contribution R1-072633 “Updated TS36.211 v1.1.0”, tháng 5 năm 2007, Kobe, Japan;

[4]. 3GPP 36211-110: “3GPP TS 36.211 v1.1.0 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Physical Channels and Modulation Release 8”, tháng 3 năm 2007.

Trong cấu trúc CDD mã hoá trước khác, CDD có độ trễ lớn được áp dụng kết hợp với ma trận mã hoá trước, nếu có thông tin phản hồi chứa chỉ số ma trận mã hoá trước (*PMI: Precoding Matrix Indication*). Đối với cấu trúc CDD có độ trễ lớn có thông tin phản hồi PMI, số mã sẽ được chọn từ số mã có nhiều đầu vào nhiều đầu ra

cho một người dùng (*SU-MIMO: Single User MIMO*) hoặc tập hợp con của nó. Đối với cấu trúc CDD có độ trễ lớn, việc mã hoá trước để dồn kênh không gian sẽ được thực hiện theo biểu thức sau:

$$y(k) = W(k)QD(k)P_s(k) \quad (1)$$

trong đó ma trận mã hoá trước $W(k)$ là ma trận (con) mã hoá trước ngẫu nhiên phụ thuộc vào kênh, ma trận này được chọn từ sổ mã có kích thước $N_t \times p$. Lưu ý rằng, k là chỉ số sóng mang thứ cấp, N_t là số cổng anten trong bộ truyền và p là hạng truyền. Các ma trận P và $D(k)$ có kích thước $p \times p$, còn ma trận $W(k)$ có kích thước $N_t \times p$. Việc chọn ma trận Q có thể theo một số dạng khác nhau. $Q = I$, trong đó I là ma trận đơn vị $p \times p$ (trong trường hợp đó Q có thể được loại bỏ); hoặc $Q = P^{-1}$ là ma trận nghịch đảo của P .

Theo các phương pháp hiện nay để thu được ma trận $W(k)$, giả sử rằng ma trận $W(k)$ được chọn theo chỉ số PMI thu được từ thông tin phản hồi trên liên kết lên. Khi thu được chỉ số PMI cho một dải con, thì ma trận $W(k)$ này sẽ được áp dụng cho toàn bộ dải con đó. Có nghĩa là, ma trận $W(k)$ giữ nguyên không đổi trong dải con này. Tuy nhiên, trong trường hợp người dùng có tốc độ di chuyển cao, thông tin phản hồi PMI là không đáng tin cậy và chỉ số PMI trong thông tin phản hồi không sử dụng được. Hệ thống có tốc độ di chuyển cao có thể được gọi là hệ thống vòng lặp mở. Do vậy, sẽ không biết làm thế nào để chọn được ma trận mã hoá trước $W(k)$ trong hệ thống vòng lặp mở này. Ngoài ra, các phương pháp đã biết không có giải pháp cho trường hợp không có PMI với hạng truyền nhỏ hơn hạng đầy đủ.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vì vậy, mục đích của sáng chế là đề xuất phương pháp cải tiến và thiết bị cải tiến để mã hoá trước cho hệ thống vòng lặp mở có tốc độ di chuyển cao.

Mục đích nữa của sáng chế là đề xuất thiết bị tin cậy và phương pháp tin cậy để chọn ma trận mã hoá trước $W(k)$ cho cấu trúc CDD mã hoá trước vòng lặp mở có tốc độ di chuyển cao, cho các cấu hình tương quan anten khác nhau.

Theo một phương án của sáng chế, ma trận mã hoá trước $W(k)$ được chọn theo thông tin phản hồi không có chỉ số ma trận mã hoá trước (PMI) trên liên kết lên đối với mỗi thiết bị người dùng (*UE: User Equipment*) nhất định, và thông tin phản hồi

không có chỉ số ma trận mã hoá trước (PMI) này khác với chỉ số PMI động. Cùng một ma trận $W(k)$ được áp dụng cho thiết bị UE đó trên toàn bộ dải con được lập lịch biểu. Phương pháp này đặc biệt hữu ích trong cấu hình mà ở đó các anten của nút B có tính tương quan cao. Anten của “nút B” bao gồm các bộ truyền và các bộ thu dùng để truyền thông trực tiếp với các thiết bị di động ở tần số vô tuyến.

Phương pháp chọn ma trận mã hoá trước $W(k)$ dựa vào sổ mã SU-MIMO

Theo phương án khác của sáng chế, sổ mã SU-MIMO được ký hiệu là $C_U(p)$, với hạng truyền p cho trước có thể bằng 1, 2, 3 hoặc 4. Kích thước sổ mã với hạng p được ký hiệu là N_p . Các từ mã $c_i(p)$ được biểu thị trong sổ mã

$$C_U(p) = \{c_1(p), \dots, c_{N_p}(p)\} \quad i = 1, \dots, N_p$$

Lưu ý rằng, $c_i(p)$ là ma trận $N_t \times p$.

Ngoài ra, một cách để chọn ma trận mã hoá trước $W(k)$ với hạng p là hoán vị vòng quanh trong sổ mã $C_U(p)$ với k tăng dần. Có hai cách để làm cho ma trận mã hoá trước thay đổi nhanh. Theo cách thứ nhất, ma trận mã hoá trước $W(k)$ thay đổi với mỗi nhóm p sóng mang thứ cấp trong dải con. Theo cách thứ hai, ma trận mã hoá trước $W(k)$ thay đổi với mỗi sóng mang thứ cấp trong dải con.

Theo phương án khác của sáng chế, đối với mỗi sổ mã $C_U(p)$, các tập hợp con

$$C_{U,s}(p) \subseteq C_U(p)$$

được xác định sao cho

$$C_{U,s}(p) = \{c_{s,1}(p), \dots, c_{s,J_p}(p)\}$$

trong đó J_p là kích thước của tập hợp con (J_p nhỏ hơn hoặc bằng N_p).

Ngoài ra, một cách để chọn ma trận mã hoá trước $W(k)$ là chọn lấy một tập hợp con $C_{U,s}(p)$ với hạng p cho trước, và sau đó hoán vị vòng quanh trong tập hợp con này với k tăng dần. Có hai cách để làm cho ma trận mã hoá trước thay đổi nhanh. Theo cách thứ nhất, ma trận mã hoá trước $W(k)$ thay đổi với mỗi nhóm p sóng mang thứ cấp trong dải con. Theo cách thứ hai, ma trận mã hoá trước $W(k)$ thay đổi với mỗi sóng mang thứ cấp trong dải con.

Theo phương án khác của sáng chế, $W(k)$ được chọn là một trong số các ma

trận con trong tập hợp $C_U(p)$, với hạng p cho trước. Và $W(k)$ là cố định cho tất cả các sóng mang thứ cấp trong dải con được lập lịch biểu cho thiết bị UE.

Phương pháp chọn ma trận mã hoá trước $W(k)$ dựa vào ma trận con DFT

Theo phương án khác của sáng chế, ma trận mã hoá trước $W(k)$ được chọn dựa vào ma trận con DFT. Ma trận DFT 4Tx được xác định như sau:

$$F = \begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 & f_4 \end{bmatrix} = 0,5 * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & -1 & -j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & -1 & j \end{bmatrix} \quad (2)$$

trong đó f_i , với $i = 1, \dots, 4$, là cột thứ i của ma trận DFT trên đây. Tập hợp các ma trận con phụ thuộc vào hạng $C_F(p)$ phụ thuộc vào hạng truyền p :

$$\begin{aligned} C_F(2) &= \{c_1(2), c_2(2), \dots, c_6(2)\} \\ &= \{[f_1, f_2], [f_2, f_3], [f_3, f_4], [f_4, f_1], [f_1, f_4], [f_2, f_4]\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} C_F(3) &= \{c_1(3), c_2(3), \dots, c_4(3)\} \\ &= \{[f_1 \ f_2 \ f_3], [f_2 \ f_3 \ f_4], [f_3 \ f_4 \ f_1], [f_4 \ f_1 \ f_2]\} \end{aligned} \quad (4)$$

$$C_F(4) = \{c_1(4)\} = \{[f_1, f_2, f_3, f_4]\} \quad (5)$$

Với mỗi tập hợp $C_F(p)$, các tập hợp con

$$C_{F,S}(p) \subseteq C_F(p)$$

được xác định sao cho

$$C_{F,S}(p) = \{c_{s,1}(p), \dots, c_{s,J_p}(p)\}$$

và J_p là kích thước của tập hợp con (J_p nhỏ hơn hoặc bằng kích thước của $C_F(p)$).

Ngoài ra, một cách để chọn ma trận mã hoá trước $W(k)$ là chọn lấy một tập hợp con $C_{F,S}(p)$ với hạng p cho trước, và sau đó hoán vị vòng quanh trong tập hợp con này với k tăng dần. Có hai cách để làm cho ma trận mã hoá trước thay đổi nhanh. Theo cách thứ nhất, ma trận mã hoá trước $W(k)$ thay đổi với mỗi nhóm p sóng mang thứ cấp trong dải con. Theo cách thứ hai, ma trận mã hoá trước $W(k)$ thay đổi với mỗi sóng mang thứ cấp trong dải con.

Theo phương án khác của sáng chế, $W(k)$ được chọn là một trong số các ma trận con trong tập hợp $C_F(p)$, với hạng p cho trước. Và $W(k)$ là cố định cho tất cả các sóng mang thứ cấp trong dải con được lập lịch biểu cho thiết bị UE.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Sáng chế và nhiều ưu điểm nổi bật của nó sẽ trở nên dễ hiểu hơn khi xem xét phân mô tả chi tiết dưới đây kết hợp với các hình vẽ kèm theo, trong đó các số chỉ dẫn giống nhau biểu thị các phần tử giống hoặc tương tự nhau, trong đó:

Fig.1 thể hiện ví dụ giản lược về hệ thống truyền và thu dữ liệu sử dụng kỹ thuật dồn kênh phân tần trực giao (OFDM);

Fig.2 là hệ toạ độ hai chiều thể hiện cách phân định sóng mang thứ cấp liên tục hoặc định xứ để lập lịch biểu chọn lọc tần số cho nhiều người dùng và phân tập tần số trong hệ thống OFDM;

Fig.3 là hệ toạ độ hai chiều thể hiện cách phân định sóng mang thứ cấp phân tán để lập lịch biểu chọn lọc tần số cho nhiều người dùng và phân tập tần số trong hệ thống OFDM;

Fig.4 thể hiện ví dụ giản lược về hệ thống MIMO 4×4 ;

Fig.5 và Fig.6 thể hiện ví dụ về quy trình mã hoá trước như được sử dụng trong hệ thống MIMO;

Fig.7 và Fig.8 thể hiện ví dụ về quy trình mã hoá trước của bộ thu như được sử dụng trong hệ thống MIMO;

Fig.9 thể hiện ví dụ về sự dịch pha áp dụng cho các sóng mang thứ cấp;

Fig.10 thể hiện quy trình mã hoá trước phân tập độ trễ tuần hoàn (CDD);

Fig.11 thể hiện quy trình mã hoá trước bằng ma trận phức hợp C dùng để dồn kênh không gian cho bốn dòng dữ liệu trong hệ thống MIMO 4×4 ;

Fig.12 thể hiện phương pháp dồn kênh theo không gian thích ứng với hạng truyền sử dụng quy trình mã hoá trước phân tập độ trễ tuần hoàn (CDD);

Fig.13 thể hiện phương pháp để thay đổi bộ mã hoá trước cho mỗi sóng mang thứ cấp để thực hiện các nguyên lý của sáng chế; và

Fig.14 thể hiện phương pháp khác để thay đổi bộ mã hoá trước cho mỗi sóng mang thứ cấp để thực hiện các nguyên lý của sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Để cho dễ hiểu, các số chỉ dẫn giống nhau biểu thị các phần tử giống nhau trong toàn bộ bản mô tả sáng chế này.

Ví dụ giản lược về hệ thống truyền/thu dữ liệu sử dụng kỹ thuật dồn kênh phân tần trực giao (OFDM) được thể hiện trên Fig.1. Dữ liệu cần truyền được điều biến bằng bộ điều biến biên độ vuông góc (QAM: *Quadrature Amplitude Modulation*) 111. Các ký hiệu đã điều biến QAM được biến đổi nối tiếp — song song bằng bộ biến đổi nối tiếp — song song 113 và được đưa vào bộ biến đổi Fourier nhanh ngược (IFFT: *Inverse Fast Fourier Transform*) 115. Các ký hiệu điều biến đã được biến đổi nối tiếp — song song được mã hoá trước bằng bộ mã hoá trước 114. Ở đầu ra của bộ biến đổi IFFT 115 thu được N mẫu trong miền thời gian. Ở đây, N là số mẫu IFFT/FFT dùng cho hệ thống OFDM. Tín hiệu truyền từ bộ biến đổi IFFT 115 được biến đổi song song — nối tiếp bằng bộ biến đổi song song — nối tiếp 117 và tiền tố tuần hoàn (CP: *Cyclic Prefix*) 119 được bổ sung vào dãy tín hiệu. Dãy mẫu thu được được gọi là ký hiệu OFDM. Ở bộ thu, tiền tố tuần hoàn trước hết được loại bỏ bằng bộ khử tiền tố tuần hoàn 121 và tín hiệu được biến đổi nối tiếp — song song bằng bộ biến đổi song song — nối tiếp 123 trước khi cung cấp tín hiệu song song đã biến đổi cho bộ biến đổi Fourier nhanh (FFT: *Fast Fourier Transform*) 125. Các ký hiệu điều biến đã mã hoá trước được giải mã và khôi phục bằng bộ giải mã 126. Tín hiệu đầu ra của bộ giải mã 126 được biến đổi song song — nối tiếp bằng bộ biến đổi song song — nối tiếp 128 và các ký hiệu thu được được đưa vào bộ giải điều biến QAM 129.

Dải thông toàn phần trong hệ thống OFDM được phân chia thành các đơn vị tần số dải hẹp gọi là sóng mang thứ cấp. Số lượng sóng mang thứ cấp bằng kích thước N của FFT/IFFT dùng trong hệ thống. Thông thường, số lượng sóng mang thứ cấp dùng cho dữ liệu nhỏ hơn N vì một số sóng mang thứ cấp ở đầu phổ tần số được dùng làm sóng mang thứ cấp bảo vệ. Thông thường, thông tin không được truyền trên các sóng mang thứ cấp bảo vệ.

Trên liên kết truyền thông, kênh đa đường tạo ra fading chọn lọc tần số. Ngoài ra, trong môi trường truyền thông di động không dây, kênh cũng tạo ra fading thay đổi theo thời gian. Vì vậy, trong hệ thống di động không dây sử dụng kỹ thuật truy nhập OFDM, hiệu suất và hiệu quả toàn hệ thống có thể được nâng cao bằng cách sử dụng, ngoài chế độ lập lịch biểu trong miền thời gian, chế độ lập lịch biểu chọn lọc tần số cho nhiều người dùng. Trong kênh truyền thông di động không dây chọn lọc tần số thay đổi theo thời gian, cũng có thể nâng cao độ tin cậy của kênh bằng cách trải rộng và/hoặc mã hoá thông tin trên sóng mang thứ cấp.

Fig.2 thể hiện cách phân định sóng mang thứ cấp liên tục hoặc định xứ để lập lịch biểu chọn lọc tần số cho nhiều người dùng và phân tập tần số trong hệ thống OFDM, và Fig.3 thể hiện cách phân định sóng mang thứ cấp phân tán để lập lịch biểu chọn lọc tần số cho nhiều người dùng và phân tập tần số trong hệ thống OFDM.

Trong trường hợp lập lịch biểu chọn lọc tần số cho nhiều người dùng, tập hợp sóng mang thứ cấp liên tục có khả năng bị méo do fading tăng được phân định để truyền tín hiệu đến người dùng. Dải thông toàn phần được phân chia thành các dải con là một nhóm gồm nhiều sóng mang thứ cấp liên tục hoặc định xứ như thể hiện trên Fig.2, trong đó các sóng mang thứ cấp f_1 , f_2 , f_3 và f_4 được nhóm thành một dải con để truyền đến người dùng ở chế độ lập lịch biểu chọn lọc tần số cho nhiều người dùng. Fading tăng là thuật ngữ mô tả trạng thái trong đó tín hiệu tăng cường độ khi truyền từ anten truyền đến anten thu qua từ hai đường trở lên.

Ở chế độ truyền phân tập tần số, sẽ tốt hơn nếu các sóng mang thứ cấp đã phân định được phân bố đều trên toàn phổ như thể hiện trên Fig.3. Việc lập lịch biểu chọn lọc tần số cho nhiều người dùng thường có lợi cho người dùng có tốc độ di chuyển thấp mà chất lượng kênh có thể theo dõi được. Thông thường, chất lượng kênh không thể theo dõi được đối với những người dùng có tốc độ di chuyển cao (đặc biệt là trong hệ thống song công phân tần mà ở đó fading giữa liên kết xuống và liên kết lên là độc lập với nhau), tuy nhiên, do thông tin phản hồi về chất lượng kênh bị trễ và vì thế chế độ truyền phân tập tần số được ưu tiên.

Trên Fig.4, các sơ đồ nhiều đầu vào nhiều đầu ra (MIMO) sử dụng nhiều anten truyền và nhiều anten thu để làm tăng dung lượng và độ tin cậy của kênh truyền thông không dây. Dung lượng hệ thống MIMO tăng theo hàm số của K , trong đó K là giá trị

nhỏ nhất trong tập hợp gồm số lượng anten truyền (M) ở bộ truyền và số lượng anten thu (N) ở bộ thu, tức là $K = \min(M, N)$. Ví dụ giản lược về hệ thống MIMO 4×4 được thể hiện trên Fig.4. Trong ví dụ này, bốn dòng dữ liệu khác nhau từ dòng dữ liệu 1 đến dòng dữ liệu 4 được truyền riêng biệt từ bốn anten truyền từ Ant1_T đến Ant4_T. Các tín hiệu truyền được thu bằng bốn anten thu từ Ant1_R đến Ant4_R. Quy trình xử lý tín hiệu không gian được thực hiện trên các tín hiệu thu được để khôi phục bốn dòng dữ liệu này. Ví dụ về quy trình xử lý tín hiệu không gian là V-BLAST, quy trình này sử dụng nguyên lý triệt nhiễu liên tiếp để khôi phục các dòng dữ liệu truyền. Các dạng cải biến khác của sơ đồ MIMO là những sơ đồ thực hiện một kiểu quy trình mã hoá không gian-thời gian nào đó trên các anten truyền (ví dụ, D-BLAST) và cả những sơ đồ tạo chùm như đa truy nhập phân khoảng (*SDMA: Spatial Division Multiple Access*).

Quy trình đánh giá kênh MIMO dự tính đánh giá độ khuếch đại kênh và thông tin pha cho các liên kết từ mỗi anten truyền đến mỗi anten thu. Vì vậy, kênh trong hệ thống MIMO $M \times N$ sử dụng ma trận $N \times M$:

$$H = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1M} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2M} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & \cdots & a_{NM} \end{bmatrix} \quad (6)$$

trong đó H là ma trận kênh MIMO và a_{ij} biểu thị độ khuếch đại kênh từ anten truyền j đến anten thu i . Để có thể đánh giá các phần tử của ma trận kênh MIMO, các sóng chủ riêng biệt được truyền từ mỗi anten truyền.

Trên Fig.5 và Fig.6, sơ đồ mã hoá trước tùy chọn sử dụng ma trận mã hoá trước unita trước khi ánh xạ các dòng dữ liệu lên các anten vật lý như được thể hiện trên Fig.5 và Fig.6. Fig.5 thể hiện quy trình mã hoá trước thực hiện ở bộ mã hoá trước 114 trong bộ truyền như thể hiện trên Fig.6. Bộ truyền thể hiện trên Fig.6 có cấu trúc và các phần tử giống như bộ truyền thể hiện trên Fig.1. Tập hợp anten ảo (*VA: Virtual Antenna*) 411 gồm có VA1 và VA2 được tạo ra trước khi mã hoá trước. Trong trường hợp này, mỗi từ mã có thể được truyền từ tất cả các anten truyền vật lý 413 dùng để truyền thông tin chồng chập. Anten ảo là cổng ảo được tạo ra bởi ma trận mã hoá trước ở phía trước anten vật lý. Các ký hiệu hoặc tín hiệu được truyền trên các anten ảo được ánh xạ lên nhiều anten vật lý. Hai ví dụ về ma trận mã hoá trước unita, P_1 và P_2 cho

trường hợp có hai anten truyền là:

$$P_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, P_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix} \quad (7)$$

Giả sử các ký hiệu điều biến S_1 và S_2 lần lượt được truyền ở một thời điểm cho trước từ dòng dữ liệu 1 và dòng dữ liệu 2. Khi đó, các ký hiệu điều biến sau khi mã hoá trước bằng ma trận P_1 và P_2 có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$T_1 = P_1 \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_1 + S_2 \\ S_1 - S_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$T_2 = P_2 \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_1 + S_2 \\ jS_1 - jS_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Vì vậy, ký hiệu $T_{11} = \frac{(S_1 + S_2)}{\sqrt{2}}$ và $T_{12} = \frac{(S_1 - S_2)}{\sqrt{2}}$ sẽ lần lượt được truyền từ anten ANT1_T và anten ANT2_T khi quy trình mã hoá trước được thực hiện bằng cách sử dụng ma trận mã hoá trước P_1 . Tương tự, ký hiệu $T_{21} = \frac{(S_1 + S_2)}{\sqrt{2}}$ và $T_{22} = \frac{(jS_1 - jS_2)}{\sqrt{2}}$ sẽ lần lượt được truyền từ anten ANT1_T và anten ANT2_T khi quy trình mã hoá trước được thực hiện bằng cách sử dụng ma trận mã hoá trước P_2 như thể hiện trên Fig.5. Cần lưu ý rằng, quy trình mã hoá trước được thực hiện trên mức sóng mang thứ cấp OFDM trước khi phép biến đổi IFFT được thực hiện bằng bộ biến đổi IFFT 115, như thể hiện trên Fig.5 và Fig.6.

Trên Fig.7 và Fig.8, trong hệ thống MIMO mã hoá trước, các thao tác đảo ngược được thực hiện ở bộ thu như thể hiện trên Fig.8 để khôi phục các ký hiệu truyền. Bộ thu thể hiện trên Fig.8 có cấu trúc và các phần tử giống như bộ thu thể hiện trên Fig.1. Quy trình đảo ngược quy trình mã hoá trước như thể hiện trên Fig.7 diễn ra ở bộ đảo ngược mã hoá trước 126. Ký hiệu thu được được nhân với ma trận mã hoá trước nghịch đảo như sau.

$$\text{inv}(P_1) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad \text{inv}(P_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -j \\ 1 & j \end{bmatrix} \quad (10)$$

Cần lưu ý rằng, việc nghịch đảo ma trận mã hoá trước unita có thể được thực hiện dễ dàng bằng cách chuyển vị liên hợp phức ma trận mã hoá trước. Fig.7 thể hiện

quy trình đảo ngược mã hoá trước được thực hiện ở bộ đảo ngược mã hoá trước 126 như thể hiện trên Fig.8. Ký hiệu được truyền bởi các anten truyền vật lý 413 được giải mã bằng cách nhân vectơ ký hiệu thu được với các ma trận mã hoá trước nghịch đảo như sau.

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_1 + S_2 \\ S_1 - S_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & j \\ 1 & -j \end{bmatrix} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_1 + S_2 \\ jS_1 - jS_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Theo giải pháp đã biết, giải pháp mã hoá trước được áp dụng cho cả kỹ thuật phân tập truyền lẫn kỹ thuật dồn kênh không gian MIMO. Bộ mã hoá trước phức hợp được cấu trúc dựa trên bộ mã hoá trước unita như bộ mã hoá trước ma trận Fourier được nhân với một bộ mã hoá trước unita khác biểu thị sơ đồ phân tập truyền như phân tập độ trễ tuần hoàn. Cần lưu ý rằng, các nguyên lý của sáng chế cũng có thể áp dụng cho trường hợp bộ mã hoá trước không phải unita hoặc trường hợp bộ mã hoá trước unita khác với bộ mã hoá trước ma trận Fourier.

Ma trận Fourier là ma trận vuông $N \times N$ có các mục nhập được biểu diễn bằng:

$$P_{mn} = e^{j2\pi mn / N} \quad m, n = 0, 1, \dots, (N-1) \quad (13)$$

Ma trận Fourier 2×2 có thể được biểu diễn như sau:

$$P_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & e^{j\pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Tương tự, ma trận Fourier 4×4 có thể được biểu diễn như sau:

$$P_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j\pi/2} & e^{j\pi} & e^{j3\pi/2} \\ 1 & e^{j\pi} & e^{j2\pi} & e^{j3\pi} \\ 1 & e^{j3\pi/2} & e^{j2\pi} & e^{j9\pi/2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & -1 & -j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & -1 & j \end{bmatrix} \quad (15)$$

Nhiều ma trận mã hoá trước có thể được xác định bằng cách đưa tham số dịch chuyển (g/G) vào trong ma trận Fourier như sau:

$$P_{mn} = e^{j2\pi m(n+\frac{g}{G})} \quad m, n = 0, 1, \dots, (N-1) \quad (16)$$

Ở đây, G biểu thị giá trị dịch chuyển.

Tập hợp gồm bốn ma trận Fourier 2×2 có thể được xác định bằng cách đặt $G = 4$. Bốn ma trận 2×2 với $g = 0, 1, 2$ và 3 được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} P_2^0 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} & P_2^1 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ e^{j\pi/4} & -e^{j\pi/4} \end{bmatrix} \\ P_2^2 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ e^{j\pi/2} & e^{j3\pi/4} \end{bmatrix} & P_2^3 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ e^{j3\pi/4} & -e^{j3\pi/4} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (17)$$

Sơ đồ phân tập độ trễ tuần hoàn có thể được thực hiện trong miền tần số có độ dịch pha $e^{j\varphi_i k}$ áp dụng cho sóng mang thứ cấp k được truyền từ anten truyền thứ i . Góc

$$\varphi_i = \frac{2\pi}{N} D_i \quad (18)$$

trong đó D_i là giá trị độ trễ tuần hoàn trong các mẫu được cung cấp từ anten thứ i .

Cần lưu ý rằng, các hàm số khác có thể được sử dụng để tạo ra sự dịch pha trong miền tần số. Như thể hiện trên Fig.9, cũng có thể giữ độ dịch pha không đổi trong một nhóm sóng mang thứ cấp và cho phép độ dịch pha thay đổi giữa các nhóm sóng mang thứ cấp khác nhau. Trên Fig.9, từ SB1 đến SB8 là tám dải con. Độ dịch pha từ ϕ_1 đến ϕ_8 là giá trị dịch pha không đổi cho các dải con từ SB1 đến SB8 tương ứng. Ví dụ, độ dịch pha tổng là 2π cho một dải con và độ dịch pha cho mỗi sóng mang thứ cấp là $2\pi/8$. Số lượng dải con trên Fig.9 có thể là một số khác tám.

Sơ đồ phân tập độ trễ tuần hoàn có thể được xem là quy trình mã hoá trước bằng ma trận mã hoá trước D_4 như thể hiện bằng biểu thức (19) với trường hợp có bốn anten truyền:

$$D_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\phi_1 k} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\phi_2 k} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{j\phi_3 k} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Fig.10 thể hiện quy trình mã hoá trước phân tập độ trễ tuần hoàn (CDD). Như thể hiện trên Fig.10, ký hiệu S_1 có độ dịch pha phụ thuộc vào Anten và tần số (sóng mang thứ cấp) được truyền từ các Anten từ VA1 đến VA4. Độ dịch pha không được áp dụng cho ký hiệu truyền từ Anten thứ nhất $ANT1_T$. Trên Fig.10, ký hiệu S_1 được chọn làm ký hiệu mẫu trong số nhiều ký hiệu để biểu thị độ dịch pha ở các Anten khác nhau. S_1 có độ dịch pha bằng không ở Anten $ANT1_T$, còn các độ dịch pha S_1 khác ở các Anten từ Anten thứ hai $ANT2_T$ đến Anten thứ tư $ANT4_T$ thu được bằng cách lần lượt nhân với $e^{j\phi_1 k}$, $e^{j\phi_2 k}$ và $e^{j\phi_3 k}$.

Quy trình mã hoá trước bằng ma trận Fourier có thể được kết hợp với quy trình mã hoá trước CDD để tạo ra ma trận mã hoá trước phức hợp C cho trường hợp có bốn Anten truyền như sau:

$$C = D \times P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\phi_1 k} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\phi_2 k} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{j\phi_3 k} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j\pi/2} & e^{j\pi} & e^{j3\pi/2} \\ 1 & e^{j\pi} & e^{j2\pi} & e^{j3\pi} \\ 1 & e^{j3\pi/2} & e^{j3\pi} & e^{j9\pi/2} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ e^{j\phi_1 k} & e^{j(\pi/2+\phi_1 k)} & e^{j(\pi+\phi_1 k)} & e^{j(3\pi/2+\phi_1 k)} \\ e^{j\phi_2 k} & e^{j(\pi+\phi_2 k)} & e^{j(2\pi+\phi_2 k)} & e^{j(3\pi+\phi_2 k)} \\ e^{j\phi_3 k} & e^{j(3\pi/2+\phi_3 k)} & e^{j(3\pi+\phi_3 k)} & e^{j(9\pi/2+\phi_3 k)} \end{bmatrix}$$

trong đó ma trận mã hoá trước phân tập độ trễ tuần hoàn D là ma trận D_4 và ma trận Fourier P là ma trận P_4 cho bộ truyền có bốn Anten truyền này.

Thứ tự của ma trận D và ma trận P trong phép nhân có thể được hoán đổi và do đó tạo ra ma trận chuyển vị của ma trận C (tức là ma trận C^T) như được biểu diễn bằng biểu thức (21). Vì ma trận mã hoá trước độ trễ thời gian tuần hoàn (hoặc độ dịch tần số tương đương) là phần tử của ma trận kết hợp C , nên các Anten vật lý bị trễ khi ma trận C được sử dụng làm ma trận mã hoá trước, và các Anten ảo bị trễ khi ma trận C^T được sử dụng. Khi ký hiệu S_1 được nhập vào bộ mã hoá trước, các Anten ảo cần được làm trễ tương đối so với nhau để tạo ra sự chọn lọc tần số. Khi một ký hiệu được nhập vào bộ mã hoá trước, ký hiệu đó được nhân với vectơ trọng số w , và vectơ trọng số w không được trực giao với bất kỳ hàng nào của ma trận mã hoá trước C . Ví dụ, khi vectơ w được chọn là $[1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$ bằng hàng thứ nhất của ma trận mã hoá trước C , thì vectơ này

trực giao với các hàng còn lại. Vì vậy, $[1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$ không được chọn làm vectơ w . Khi nhiều ký hiệu được nhập vào bộ mã hoá trước qua nhiều anten tương ứng, mỗi anten vật lý cần được làm trễ theo ký hiệu tương ứng vì mỗi ký hiệu được truyền bởi một anten ảo.

$$C^T = P \times D = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j\pi/2} & e^{j\pi} & e^{j3\pi/2} \\ 1 & e^{j\pi} & e^{j2\pi} & e^{j3\pi} \\ 1 & e^{j3\pi/2} & e^{j3\pi} & e^{j9\pi/2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\phi_1 k} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\phi_2 k} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{j\phi_3 k} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & e^{j\phi_1 k} & e^{j\phi_2 k} & e^{j\phi_3 k} \\ 1 & e^{j(\pi/2+\phi_1 k)} & e^{j(\pi+\phi_2 k)} & e^{j(3\pi/2+\phi_3 k)} \\ 1 & e^{j(\pi+\phi_1 k)} & e^{j(2\pi+\phi_2 k)} & e^{j(3\pi+\phi_3 k)} \\ 1 & e^{j(3\pi/2+\phi_1 k)} & e^{j(3\pi+\phi_2 k)} & e^{j(9\pi/2+\phi_3 k)} \end{bmatrix}$$

Trên Fig.11, ở chế độ dồn kênh theo không gian cho bốn dòng dữ liệu trong hệ thống MIMO 4x4, ma trận cột ký hiệu S được nhân với ma trận phức hợp mã hoá trước C để thu được vectơ cột ký hiệu T (tức là $[T_1, T_2, T_3, T_4]^T$) được truyền từ các anten vật lý. Fig.11 thể hiện quy trình mã hoá trước bằng ma trận phức hợp C để dồn kênh không gian cho bốn dòng dữ liệu S_1, S_2, S_3 và S_4 trong hệ thống MIMO 4x4 (tức là, 4 anten truyền và 4 anten thu).

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} = C \times S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ e^{j\phi_1 k} & e^{j(\pi/2+\phi_1 k)} & e^{j(\pi+\phi_1 k)} & e^{j(3\pi/2+\phi_1 k)} \\ e^{j\phi_2 k} & e^{j(\pi+\phi_2 k)} & e^{j(2\pi+\phi_2 k)} & e^{j(3\pi+\phi_2 k)} \\ e^{j\phi_3 k} & e^{j(3\pi/2+\phi_3 k)} & e^{j(3\pi+\phi_3 k)} & e^{j(9\pi/2+\phi_3 k)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \\ S_1 \cdot e^{j\phi_1 k} + S_2 \cdot e^{j(\pi/2+\phi_1 k)} + S_3 \cdot e^{j(\pi+\phi_1 k)} + S_4 \cdot e^{j(3\pi/2+\phi_1 k)} \\ S_1 \cdot e^{j\phi_2 k} + S_2 \cdot e^{j(\pi+\phi_2 k)} + S_3 \cdot e^{j(2\pi+\phi_2 k)} + S_4 \cdot e^{j(3\pi+\phi_2 k)} \\ S_1 \cdot e^{j\phi_3 k} + S_2 \cdot e^{j(3\pi/2+\phi_3 k)} + S_3 \cdot e^{j(3\pi+\phi_3 k)} + S_4 \cdot e^{j(9\pi/2+\phi_3 k)} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Đối với các anten 2Tx và $\phi_1 = \pi$, và P là ma trận DFT, ma trận kết hợp C sẽ trở thành ma trận hoán vị cột trên các sóng mang thứ cấp khác nhau như sau:

$$C = DP_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{j\phi_1 k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ e^{j\phi_1 k} & e^{j\phi_1 k} \end{bmatrix} \quad (24)$$

Ở đây, 2Tx biểu thị bộ truyền với cấu trúc có hai anten truyền.

Đối với các anten 4Tx và có thêm điều kiện hạn chế $\varphi_1 = \pi/2$, $\varphi_2 = 2\varphi_1$, $\varphi_3 = 3\varphi_1$, ma trận mã hoá trước C sẽ là ma trận hoán vị cột như sau:

$$C = D \times P = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ e^{j\frac{\pi}{2}k} & e^{j\frac{\pi}{2}(1+k)} & e^{j\frac{\pi}{2}(2+k)} & e^{j\frac{\pi}{2}(3+k)} \\ e^{j\pi k} & e^{j\pi(1+k)} & e^{j\pi(2+k)} & e^{j\pi(3+k)} \\ e^{j\frac{3\pi}{2}k} & e^{j\frac{3\pi}{2}(1+k)} & e^{j\frac{3\pi}{2}(2+k)} & e^{j\frac{3\pi}{2}(3+k)} \end{bmatrix} \quad (25)$$

Ở đây, 4Tx biểu thị bộ truyền với cấu trúc có bốn anten truyền.

Đối với cấu trúc CDD có độ trễ lớn, việc mã hoá trước để dồn kênh không gian có thể được thực hiện theo biểu thức sau:

$$y(k) = D(k)Ps(k) \quad (26)$$

trong đó $D(k)$ là ma trận $N_t \times N_t$ (N_t là số anten truyền), P là ma trận $4 \times p$, $s(k)$ là các ký hiệu cần mã hoá trước và $y(k)$ là các ký hiệu đã được mã hoá trước.

Cấu trúc CDD mã hoá trước cho các anten 2Tx và 4Tx

Fig.12 thể hiện một cấu trúc CDD mã hoá trước khác được đề xuất trong các tài liệu R1-072461 và R1-072019 của “3GPP TSG-RAN WG1 #49”. Trong cấu trúc này, CDD có độ trễ lớn được áp dụng kết hợp với ma trận mã hoá trước, nếu có thông tin phản hồi chứa chỉ số ma trận mã hoá trước (*PMI: Precoding Matrix Indication*). Với cấu trúc CDD có độ trễ lớn có thông tin phản hồi PMI, số mã sẽ được chọn trong số số mã MIMO cho một người dùng (SU-MIMO) hoặc tập hợp con của nó. Vì vậy, với cấu trúc CDD có độ trễ lớn, việc mã hoá trước để dồn kênh không gian sẽ được thực hiện theo biểu thức (27) như sau:

$$y(k) = W(k)QD(k)Ps(k) \quad (27)$$

trong đó ma trận mã hoá trước $W(k)$ được chọn từ số mã có kích thước $N_t \times p$. Lưu ý rằng, k là chỉ số sóng mang thứ cấp, N_t là số cổng anten và p là hạng truyền. Ma trận Fourier P và $D(k)$ có kích thước $p \times p$, và ma trận mã hoá trước $W(k)$ là ma trận $N_t \times p$. Ma trận mã hoá trước Q có thể có một số dạng khác nhau, và $s(k)$ là các ký hiệu cần mã hoá trước và $y(k)$ là các ký hiệu đã được mã hoá trước. Hai ví dụ về ma trận Q là

$Q = I$, trong đó I là ma trận đơn vị $p \times p$ (trong trường hợp đó Q có thể được loại bỏ), hoặc $Q = P^{-1}$ là ma trận nghịch đảo của P .

Lưu ý rằng, số lớp bằng với hạng truyền p trong trường hợp dồn kênh theo không gian. Ma trận Fourier P có thể được xác định như sau:

$$P_{mn} = \exp(-j2\pi mn/p) \quad \text{với } m = 0, 1, \dots, p-1 \text{ và } n = 0, 1, \dots, p-1 \quad (28)$$

Ma trận mã hoá trước phân tập độ trễ tuần hoàn $D(k)$ sẽ được chọn từ Bảng 1.

Bảng 1: Phân tập độ trễ tuần hoàn có độ trễ lớn có thông tin phản hồi PMI

Số cổng Anten N_t	Hạng truyền p	$D(k)$	Độ trễ lớn δ
1	1	-	-
2	1	[1]	0
	2	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi k \cdot \delta} \end{bmatrix}$	1/2
4	1	[1]	0
	2	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi k \cdot \delta} \end{bmatrix}$	1/2
	3	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi k \cdot \delta} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-j2\pi k \cdot 2\delta} \end{bmatrix}$	1/3
	4	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi k \cdot \delta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-j2\pi k \cdot 2\delta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{-j2\pi k \cdot 3\delta} \end{bmatrix}$	1/4

Fig.12 thể hiện phương pháp dồn kênh theo không gian thích ứng với hạng truyền. Ký hiệu $s(k)$ có các vectơ ký hiệu từ $s_1(k)$ đến $s_p(k)$ được mang bởi các lớp hệ thống từ 1 đến $N \cdot p$ được mã hoá trước bằng ma trận mã hoá trước $W(k)$, Q và P . Ma trận mã hoá trước $W(k)$ là bộ mã hoá trước phụ thuộc vào kênh, nó phụ thuộc vào

thông tin phản hồi PMI (chỉ số ma trận mã hoá trước). Ma trận Fourier P có thể được xác định như sau:

$$P_{mn} = \exp(-j2\pi mn/p) \quad \text{với } m = 0, 1, \dots, p-1 \text{ và } n = 0, 1, \dots, p-1 \quad (29)$$

Ma trận mã hoá trước Q có thể có một số dạng khác nhau. Hai ví dụ về ma trận Q là $Q = I$, trong đó I là ma trận đơn vị $p \times p$ (trong trường hợp đó Q có thể được loại bỏ), hoặc $Q = P^{-1}$ là ma trận nghịch đảo của P. Ma trận mã hoá trước phân tập độ trễ tuần hoàn D(k) được biểu diễn như sau:

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\phi_{p-2}k} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{j\phi_{p-1}k} \end{bmatrix} \quad (30)$$

Các ký hiệu mã hoá trước $y(k)$ được biến đổi bằng bộ biến đổi Fourier nhanh ngược (IFFT) 115 và được truyền bằng các bộ truyền từ ANT1_T đến ANT4_T.

Trong phương pháp mã hoá trước CDD, giả sử rằng ma trận $W(k)$ được chọn theo chỉ số PMI thu được từ thông tin phản hồi trên liên kết lên. Thông tin phản hồi trên liên kết lên là tín hiệu phản hồi được truyền từ bộ thu di động. PMI được gọi là “chỉ số ma trận mã hoá trước”, và được sử dụng trong tài liệu 3GPP LTE RAN1 để chỉ báo việc chọn từ mã trong sổ mã, và việc chọn từ mã này được phản hồi từ thiết bị di động đến trạm cơ sở. Khi thu được chỉ số PMI cho một dải con, thì ma trận mã hoá trước $W(k)$ đã chọn này sẽ được áp dụng cho toàn bộ dải con đó. Có nghĩa là, ma trận $W(k)$ giữ nguyên không đổi trong dải con này. Tuy nhiên, trong trường hợp người dùng có tốc độ di chuyển cao, thông tin phản hồi PMI là không đáng tin cậy và chỉ số PMI trong thông tin phản hồi không sử dụng được. Hệ thống này được gọi là hệ thống vòng lặp mở. Do vậy, sẽ không biết làm thế nào để chọn được ma trận mã hoá trước $W(k)$ trong hệ thống vòng lặp mở này. Nếu giả thiết rằng có sổ mã hệ thống:

$$C_U(p) = \{c_1(p), \dots, C_{N_p}(p)\}$$

thì thông tin phản hồi PMI của thiết bị người dùng (UE) trên sóng mang thứ cấp k sẽ được sử dụng để chọn lấy một từ mã trong số N_p từ mã đó, và từ mã được chọn trên sóng mang thứ cấp k được gọi là ma trận mã hoá trước $W(k)$.

Theo sáng chế này, một số phương pháp cải tiến để chọn ma trận mã hoá trước $W(k)$ cho cấu trúc CDD mã hoá trước vòng lặp mở có tốc độ di chuyển cao được đề xuất cho các cấu hình tương quan anten khác nhau.

Theo một phương án của sáng chế, ma trận $W(k)$ được chọn theo thông tin phản hồi không có chỉ số ma trận mã hoá trước (PMI) trên liên kết lên đối với mỗi thiết bị UE nhất định, và thông tin phản hồi này khác với chỉ số PMI động. Cùng một ma trận $W(k)$ được áp dụng cho thiết bị UE đó trên toàn bộ dải con được lập lịch biểu. Phương pháp này đặc biệt hữu ích trong cấu hình mà ở đó các anten của nút B có tính tương quan cao.

Phương pháp chọn ma trận mã hoá trước dựa vào sổ mã SU-MIMO

Theo phương án khác của sáng chế, sổ mã SU-MIMO được ký hiệu là $C_U(p)$, với hạng truyền p cho trước có thể bằng 1, 2, 3 hoặc 4. Kích thước sổ mã với hạng p được ký hiệu là N_p . Các từ mã $c_i(p)$ được biểu thị trong sổ mã theo biểu thức (31)

$$C_U(p) = \{c_1(p), \dots, c_{N_p}(p)\} \quad i = 1, \dots, N_p \quad (31)$$

Lưu ý rằng, $c_i(p)$ là ma trận $G \times p$. Sổ mã được xác định trước theo tiêu chuẩn ở dạng ma trận.

Ngoài ra, một cách để chọn ma trận mã hoá trước $W(k)$ với hạng p là hoán vị vòng quanh trong sổ mã $C_U(p)$ với k tăng dần. Có hai cách để làm cho ma trận mã hoá trước thay đổi nhanh. “Sổ mã” là một tập hợp dữ liệu chuẩn định trước mà ma trận mã hoá trước sẽ được chọn từ tập hợp đó khi điều kiện định trước được đáp ứng. “Từ mã” được dùng để chỉ mỗi dữ liệu trong sổ mã.

Fig.13 thể hiện cách thứ nhất để làm cho ma trận mã hoá trước thay đổi nhanh. Ký hiệu $s(k)$ cần mã hoá trước có các vectơ ký hiệu $s_1(1), s_1(2), \dots, s_1(p)$ (đó là tín hiệu cần truyền trên nhóm sóng mang thứ cấp thứ nhất), $s_2(1), \dots, s_2(p)$, (đó là tín hiệu cần truyền trên nhóm sóng mang thứ cấp thứ hai), $\dots, s_N(1), \dots, s_N(p)$ (đó là tín hiệu cần truyền trên nhóm sóng mang thứ cấp thứ N). Lưu ý mỗi nhóm gồm p sóng mang thứ cấp, và có tổng số N nhóm, vì vậy tổng số sóng mang thứ cấp là $N_{sub} = N \cdot p$. Ma trận mã hoá trước $W(k)$ có thể thay đổi với mỗi nhóm p sóng mang thứ cấp trong dải con. Ví dụ, các vectơ ký hiệu thích ứng với hạng truyền từ $s_1(1)$ đến $s_1(p)$ được mã hoá

trước bằng cùng một ma trận mã hoá trước $W(k)$ gọi là C_1 , các vector ký hiệu thích ứng với hạng truyền từ $s_2(1)$ đến $s_2(p)$ được mã hoá trước bằng cùng một ma trận mã hoá trước $W(k)$ gọi là C_2 (không được thể hiện trên Fig.13), và các vector ký hiệu thích ứng với hạng truyền từ $s_N(1)$ đến $s_N(p)$ được mã hoá trước bằng cùng một ma trận mã hoá trước C_N . Sau đó, các vector ký hiệu thích ứng với hạng truyền đã mã hoá trước được xử lý bằng bộ biến đổi IFFT và bộ biến đổi song song — nối tiếp (*P/S: Parallel-to-Serial convertor*) theo các hạng truyền tương ứng của chúng, được cộng và truyền đến các anten truyền tương ứng của chúng. Ở đây, $ANTG_T$ biểu thị anten truyền thứ G . Về mặt toán học, với sóng mang thứ cấp k bất kỳ thoả mãn hệ thức:

$$1 \leq k \leq N_{sub}$$

trong đó N_{sub} là tổng số sóng mang thứ cấp trong dải con được lập lịch biểu cho thiết bị UE, thì ma trận mã hoá trước thoả mãn biểu thức (32):

$$W(k) = \begin{cases} c_1(p), & \text{nếu } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, N_p\right) = 1 \\ c_2(p), & \text{nếu } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, N_p\right) = 2 \\ \vdots \\ c_3(p), & \text{nếu } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, N_p\right) = 0 \end{cases} \quad (32)$$

trong đó N_p là kích thước số mã.

Lưu ý rằng, “ a ” là độ dịch pha không đổi, và giá trị thông thường của “ a ” là bằng 0. Cần lưu ý thêm rằng, toán tử $\text{mod}()$ là phép toán môđun và toán tử $\lceil \rceil$ là phép toán lấy trần.

Cách thứ hai được thể hiện trên Fig.14. Ký hiệu $s(k)$ cần mã hoá trước có các vector ký hiệu $s_1(1), s_1(2), \dots, s_1(p), s_2(1), \dots, s_2(p), \dots, s_N(1), \dots, s_N(p)$. Ma trận mã hoá trước $W(k)$ thay đổi với mỗi sóng mang thứ cấp trong dải con. Ví dụ, các vector ký hiệu thích ứng với hạng truyền $s_1(1)$ được mã hoá trước bằng ma trận mã hoá trước $W(k)$ gọi là C_1 , các vector ký hiệu thích ứng với hạng truyền $s_1(2)$ được mã hoá trước bằng ma trận mã hoá trước $W(k)$ gọi là C_2 (không được thể hiện trên Fig.14), các vector

ký hiệu thích ứng với hạng truyền $s_1(p)$ được mã hoá trước bằng ma trận mã hoá trước C_p , và các vectơ ký hiệu thích ứng với hạng truyền $s_N(p)$ được mã hoá trước bằng ma trận mã hoá trước C_{Np} . Sau đó, các vectơ ký hiệu thích ứng với hạng truyền đã được mã hoá trước được xử lý bằng bộ biến đổi IFFT và bộ biến đổi P/S theo các hạng truyền tương ứng của chúng, được cộng và truyền đến các anten truyền tương ứng của chúng. Ở đây, ANTG_T biểu thị anten truyền thứ G . Về mặt toán học, với sóng mang thứ cấp k bất kỳ:

$$W(k) = \begin{cases} c_1(p), & \text{nếu } \text{mod}(k+a, N_p) = 1 \\ c_2(p), & \text{nếu } \text{mod}(k+a, N_p) = 2 \\ \vdots & \\ c_{N_p}(p), & \text{nếu } \text{mod}(k+a, N_p) = 0 \end{cases} \quad (33)$$

Trên Fig.13 và Fig.14, có tổng số $N*p$ sóng mang thứ cấp. Trên Fig.13, từ mã thay đổi với mỗi nhóm p sóng mang thứ cấp, nên sẽ tạo ra tổng số $N*p/p = N$ từ mã; và trên Fig.14, từ mã thay đổi với mỗi sóng mang thứ cấp, nên sẽ tạo ra tổng số $N*p/1 = N*p$ từ mã.

Theo phương án khác của sáng chế, đối với mỗi số mã $C_U(p)$, các tập hợp con

$$C_{U,S}(p) \subseteq C_U(p)$$

được xác định sao cho

$$C_{U,S}(p) = \{c_{s,1}(p), \dots, c_{s,J_p}(p)\}$$

và J_p là kích thước của tập hợp con (J_p nhỏ hơn hoặc bằng N_p).

Ngoài ra, một cách để chọn ma trận mã hoá trước $W(k)$ là chọn lấy một tập hợp con $C_{U,S}(p)$ với hạng p cho trước, và sau đó hoán vị vòng quanh trong tập hợp con này với k tăng dần. Có hai cách để làm cho ma trận mã hoá trước thay đổi nhanh. Theo cách thứ nhất, ma trận mã hoá trước $W(k)$ thay đổi với mỗi nhóm p sóng mang thứ cấp trong dải con, hoặc, về mặt toán học, với sóng mang thứ cấp k bất kỳ thoả mãn hệ thức:

$$1 \leq k \leq N_{sub}$$

trong đó N_{sub} là tổng số sóng mang thứ cấp trong dải con được lập lịch biểu cho thiết

bị UE. Lưu ý rằng, “ a ” là độ dịch pha không đổi, và giá trị thông thường của “ a ” là bằng 0. Cần lưu ý thêm rằng, toán tử $\text{mod}()$ là phép toán môđun và toán tử $\lceil \rceil$ là phép toán lấy trần.

$$W(k) = \begin{cases} c_{s,1}(p), & \text{nếu } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 1 \\ c_{s,2}(p), & \text{nếu } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 2 \\ \vdots \\ c_{s,J_p}(p), & \text{nếu } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 0 \end{cases} \quad (34)$$

Theo cách thứ hai, ma trận mã hoá trước $W(k)$ thay đổi với mỗi sóng mang thứ cấp trong dải con, hoặc, về mặt toán học, với sóng mang thứ cấp k bất kỳ:

$$W(k) = \begin{cases} c_{s,1}(p), & \text{nếu } \text{mod}(k+a, J_p) = 1 \\ c_{s,2}(p), & \text{nếu } \text{mod}(k+a, J_p) = 2 \\ \vdots \\ c_{s,J_p}(p), & \text{nếu } \text{mod}(k+a, J_p) = 0 \end{cases} \quad (35)$$

Theo phương án khác của sáng chế, $W(k)$ được chọn là một trong số các ma trận con trong tập hợp $C_U(p)$, với hạng p cho trước. Và $W(k)$ là cố định cho tất cả các sóng mang thứ cấp trong dải con được lập lịch biểu cho thiết bị UE.

Phương pháp chọn ma trận mã hoá trước dựa vào ma trận con DFT

Theo phương án khác của sáng chế, hệ thống có cấu trúc 4Tx sẽ được trình bày để làm ví dụ. Tuy nhiên, phương án này không chỉ giới hạn ở hệ thống có cấu trúc 4Tx, mà có thể được áp dụng cho hệ thống có cấu trúc NTx (hệ thống có số lượng bộ truyền không phải bằng 4). Ma trận DFT 4Tx được xác định như sau:

$$F = [f_1 \quad f_2 \quad f_3 \quad f_4] = 0,5 * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & -1 & -j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & -1 & j \end{bmatrix} \quad (36)$$

trong đó f_i , với $i = 1, \dots, 4$, là cột thứ i của ma trận DFT trên đây. Tập hợp các ma trận

con phụ thuộc vào hạng $C_F(p)$ phụ thuộc vào hạng truyền p :

$$\begin{aligned} C_F(2) &= \{c_1(2), c_2(2), \dots, c_6(2)\} \\ &= \{[f_1, f_2], [f_2, f_3], [f_3, f_4], [f_4, f_1], [f_1, f_4], [f_2, f_4]\} \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} C_F(3) &= \{c_1(3), c_2(3), \dots, c_4(3)\} \\ &= \{[f_1 \ f_2 \ f_3], [f_2 \ f_3 \ f_4], [f_3 \ f_4 \ f_1], [f_4 \ f_1 \ f_2]\} \end{aligned} \quad (38)$$

$$C_F(4) = \{c_1(4)\} = \{[f_1, f_2, f_3, f_4]\} \quad (39)$$

Với mỗi tập hợp $C_F(p)$, các tập hợp con

$$C_{F,S}(p) \subseteq C_F(p)$$

được xác định sao cho

$$C_{F,S}(p) = \{c_{s,1}(p), \dots, c_{s,J_p}(p)\}$$

và J_p là kích thước của tập hợp con (J_p nhỏ hơn hoặc bằng kích thước của $C_F(p)$). Ví dụ, một tập hợp con của tập hợp hạng truyền 2 là:

$$\begin{aligned} C_{F,S}(2) &= \{c_{s,1}(2), c_{s,2}(2), \dots, c_{s,4}(2)\} \\ &= \{[f_1, f_2], [f_2, f_3], [f_3, f_4], [f_4, f_1]\} \end{aligned} \quad (40)$$

Ngoài ra, một cách để chọn ma trận mã hoá trước $W(k)$ là chọn lấy một tập hợp con $C_{F,S}(p)$ với hạng p cho trước, và sau đó hoán vị vòng quanh trong tập hợp con này với k tăng dần. Có hai cách để làm cho ma trận mã hoá trước thay đổi nhanh.

Theo cách thứ nhất, ma trận mã hoá trước $W(k)$ thay đổi với mỗi nhóm p sóng mang thứ cấp trong dải con, hoặc, về mặt toán học, với sóng mang thứ cấp k bất kỳ thoả mãn hệ thức:

$$1 \leq k \leq N_{sub}$$

trong đó N_{sub} là tổng số sóng mang thứ cấp trong dải con được lập lịch biểu cho thiết bị UE. Lưu ý rằng, “ a ” là độ dịch pha không đổi, và giá trị thông thường của “ a ” là bằng 0. Cần lưu ý thêm rằng, toán tử mod() là phép toán môđun và toán tử $\lceil \rceil$ là phép toán lấy trần. Ở đây, “ s ” biểu thị ma trận mã hoá trước được chọn trong tập hợp con của sổ mã. Ví dụ, $c_{s,2}(p)$ là từ mã thứ hai trong tập hợp con của sổ mã, từ mã này khác

biệt với từ mã $c_2(p)$ biểu thị từ mã thứ hai trong sổ mã gốc.

$$W(k) = \begin{cases} c_{s,1}(p), & \text{nếu } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 1 \\ c_{s,2}(p), & \text{nếu } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 2 \\ \vdots \\ c_{s,p}(p), & \text{nếu } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k+a}{p} \right\rceil, J_p\right) = 0 \end{cases} \quad (41)$$

Theo cách thứ hai, ma trận mã hoá trước $W(k)$ thay đổi với mỗi sóng mang thứ cấp trong dải con, hoặc, về mặt toán học, với sóng mang thứ cấp k bất kỳ:

$$W(k) = \begin{cases} c_{s,1}(p), & \text{nếu } \text{mod}(k+a, J_p) = 1 \\ c_{s,2}(p), & \text{nếu } \text{mod}(k+a, J_p) = 2 \\ \vdots \\ c_{s,p}(p), & \text{nếu } \text{mod}(k+a, J_p) = 0 \end{cases} \quad (42)$$

Ví dụ, với $p = 2$, $a = 0$, tập hợp con được chọn dưới dạng:

$$\begin{aligned} C_{F,S}(2) &= \{c_{s,1}(2), c_{s,2}(2), \dots, c_{s,4}(2)\} \\ &= \{[f_1, f_2], [f_2, f_3], [f_3, f_4], [f_4, f_1]\} \end{aligned} \quad (43)$$

Nếu cách thứ nhất được chọn, trong đó ma trận mã hoá trước thay đổi với mỗi nhóm $p = 2$ sóng mang thứ cấp, ma trận mã hoá trước $W(k)$ được chọn sẽ là:

$$W(k) = \begin{cases} [f_1, f_2], & \text{nếu } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k}{2} \right\rceil, 4\right) = 1 \\ [f_2, f_3], & \text{nếu } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k}{2} \right\rceil, 4\right) = 2 \\ \vdots \\ [f_4, f_1], & \text{nếu } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{k}{2} \right\rceil, 4\right) = 0 \end{cases} \quad (44)$$

Theo phương án khác của sáng chế, $W(k)$ được chọn là một trong số các ma trận con trong tập hợp $C_F(p)$, với hạng p cho trước. Và $W(k)$ là cố định cho tất cả các sóng mang thứ cấp trong dải con được lập lịch biểu cho thiết bị UE.

Theo phương án khác của sáng chế, các phương án nêu trên có thể đảo ngược lại được (tức là, có thể hiểu theo nghĩa là có thể giải mã được) trước khi thu các ký hiệu mã hoá trước bằng bộ thu. Nói cách khác, các ký hiệu mã hoá trước có thể được giải mã theo các phương pháp tương tự ở bộ thu. Ký hiệu đã mã hoá trước có thể được giải mã bằng ma trận giải mã đã chọn, ma trận giải mã này được chọn bằng cách hoán vị vòng quanh trong sổ mã giải mã trong dải con, và ma trận giải mã này có thể thay đổi với mỗi nhóm p sóng mang thứ cấp hoặc thay đổi với mỗi sóng mang thứ cấp trong dải con. Ngoài ra, ký hiệu đã mã hoá trước có thể được giải mã bằng ma trận giải mã đã chọn, ma trận giải mã này được chọn bằng cách hoán vị vòng quanh trong tập hợp con của sổ mã giải mã, và ma trận giải mã này có thể thay đổi với mỗi nhóm p sóng mang thứ cấp hoặc thay đổi với mỗi sóng mang thứ cấp trong dải con.

Bộ mã hoá trước là một bộ phận của bộ vi xử lý dải gốc trong nút B cải tiến (*eNB: evolved Node B*).

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp truyền dữ liệu trong hệ thống truyền thông bao gồm các bước:

điều biến dữ liệu được truyền thành nhiều ký hiệu được điều biến; và

tạo ra các ký hiệu đã được mã hoá trước $y(i)$ theo biểu thức

$$y(i) = W(i) \cdot D(i) \cdot U \cdot s(i),$$

trong đó ma trận $W(i)$ có kích thước $P \times v$ và ma trận mã hóa trước,

$D(i)$ có kích thước $v \times v$ và là ma trận đường chéo để hỗ trợ sơ đồ phân tập độ trễ tuần hoàn có độ trễ lớn,

ma trận U có kích thước $v \times v$ và ma trận đơn vị,

$s(i)$ là các ký hiệu được điều biến,

trong đó i là chỉ số ký hiệu, P là số cổng anten, v là số lớp,

trong đó ma trận $W(i)$ được chọn theo chu kỳ trong tập hợp con của số mã dựa vào số lớp v và chỉ số ký hiệu i .

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó các phần tử của ma trận U được định nghĩa là dưới dạng $U_{mn} = e^{j2\pi mn/v}$, với $m = 0, 1, \dots, v-1$ và $n = 0, 1, \dots, v-1$.

3. Phương pháp theo điểm 1, trong đó ma trận $W(i)$ được chọn theo chu kỳ bởi phép toán môđun N đối với giá trị thu được từ biểu thức i/q ,

trong đó q là v , và N là kích thước của tập hợp con của số mã.

4. Phương pháp theo điểm 1, trong đó:

$$W(i) = C_k,$$

trong đó C_k là chỉ số mã hóa trước trong tập hợp con của số mã, chỉ số k được thiết lập bởi biểu thức:

$$k = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{mod} \left(\left\lceil \frac{i}{q} \right\rceil, N \right) = 1 \\ 2 & \text{if } \text{mod} \left(\left\lceil \frac{i}{q} \right\rceil, N \right) = 2 \\ \vdots \\ N, & \text{if } \text{mod} \left(\left\lceil \frac{i}{q} \right\rceil, N \right) = 0 \end{cases}$$

trong đó q là v , và N là kích cỡ của tập hợp con của sổ mã.

5. Thiết bị để truyền dữ liệu trong hệ thống truyền thông bao gồm:

phương tiện điều biến dữ liệu được truyền thành nhiều ký hiệu được điều biến;

phương tiện tạo ra các ký hiệu đã được mã hoá trước $y(i)$ theo biểu thức

$$y(i) = W(i) \cdot D(i) \cdot U \cdot s(i),$$

trong đó ma trận $W(i)$ có kích thước $P \times v$ và ma trận mã hóa trước,

$D(i)$ có kích thước $v \times v$ và là ma trận đường chéo để hỗ trợ sơ đồ phân tập độ trễ tuần hoàn có độ trễ lớn,

ma trận U có kích thước $v \times v$ và ma trận đơn vị,

$s(i)$ là các ký hiệu được điều biến,

trong đó i là chỉ số ký hiệu, P là số cổng anten, v là số lớp,

trong đó ma trận $W(i)$ được chọn theo chu kỳ trong tập hợp con của sổ mã dựa vào số lớp v và chỉ số ký hiệu i .

6. Thiết bị theo điểm 5, trong đó các phần tử của ma trận U được định nghĩa là dưới dạng $U_{mn} = e^{j2\pi mn/v}$, với $m = 0, 1, \dots, v-1$ và $n = 0, 1, \dots, v-1$.

7. Thiết bị theo điểm 5, trong đó ma trận $W(i)$ được chọn theo chu kỳ bởi phép toán môđun N đối với giá trị thu được từ biểu thức i/q ,

trong đó q là v , và N là kích thước của tập hợp con của sổ mã.

8. Thiết bị theo điểm 5, trong đó:

$$W(i) = C_k,$$

trong đó C_k là chỉ số mã hóa trước trong tập hợp con của sổ mã, chỉ số k được thiết lập bởi biểu thức:

$$k = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{mod} \left(\left\lceil \frac{i}{q} \right\rceil, N \right) = 1 \\ 2 & \text{if } \text{mod} \left(\left\lceil \frac{i}{q} \right\rceil, N \right) = 2 \\ \vdots & \\ N, & \text{if } \text{mod} \left(\left\lceil \frac{i}{q} \right\rceil, N \right) = 0 \end{cases}$$

trong đó q là v , và N là kích cỡ của tập hợp con của sổ mã.

9. Phương pháp thu dữ liệu trong hệ thống truyền thông bao gồm các bước:

khôi phục các ký hiệu đã được mã hoá trước $y(i)$ có trong một khung con thu được, các ký hiệu đã được mã hoá trước $y(i)$ này được tạo ra theo biểu thức $y(i) = W(i) \cdot D(i) \cdot U \cdot s(i)$;

giải điều biến các ký hiệu đã được mã hoá trước để tạo ra nhiều ký hiệu đã được điều biến;

trong đó $W(i)$ có kích thước $P \times v$ và ma trận mã hóa trước,

$D(i)$ có kích thước $v \times v$ và là ma trận đường chéo để hỗ trợ sơ đồ phân tập độ trễ tuần hoàn có độ trễ lớn,

ma trận U có kích thước $v \times v$ và ma trận đơn vị,

$s(i)$ là các ký hiệu được điều biến,

trong đó i là chỉ số ký hiệu, P là số cổng anten, v là số lớp,

trong đó $W(i)$ được chọn theo chu kỳ trong tập hợp con của sổ mã dựa vào số lớp v và chỉ số ký hiệu i .

10. Phương pháp theo điểm 9, trong đó các phần tử của ma trận U được định nghĩa là dưới dạng $U_{mn} = e^{-j2\pi mn/v}$, với $m = 0, 1, \dots, v-1$ và $n = 0, 1, \dots, v-1$.

11. Phương pháp theo điểm 9, trong đó ma trận $W(i)$ được chọn theo chu kỳ bởi phép toán môđun N đối với giá trị thu được từ biểu thức i/q ,

trong đó q là v , và N là kích thước của tập hợp con của số mã.

12. Phương pháp theo điểm 9, trong đó:

$$W(i) = C_k,$$

trong đó C_k là chỉ số mã hóa trước trong tập hợp con của số mã, chỉ số k được thiết lập bởi biểu thức:

$$k = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{mod} \left(\left\lceil \frac{i}{q} \right\rceil, N \right) = 1 \\ 2 & \text{if } \text{mod} \left(\left\lceil \frac{i}{q} \right\rceil, N \right) = 2 \\ \vdots & \\ N, & \text{if } \text{mod} \left(\left\lceil \frac{i}{q} \right\rceil, N \right) = 0 \end{cases}$$

trong đó q là v , và N là kích cỡ của tập hợp con của số mã.

13. Thiết bị thu dữ liệu trong hệ thống truyền thông bao gồm:

phương tiện khôi phục các ký hiệu đã được mã hoá trước $y(i)$ có trong một khung con thu được, các ký hiệu đã được mã hoá trước $y(i)$ này được tạo ra theo biểu thức $y(i) = W(i) \cdot D(i) \cdot U \cdot s(i)$; và

phương tiện giải điều biến các ký hiệu đã được mã hoá trước thành nhiều ký hiệu được giải điều biến;

trong đó $W(i)$ có kích thước $P \times v$ và ma trận mã hóa trước,

$D(i)$ có kích thước $v \times v$ và là ma trận đường chéo để hỗ trợ sơ đồ phân tập độ

trễ tuần hoàn có độ trễ lớn,

ma trận $\mathbf{U}$ có kích thước $v \times v$ và ma trận đơn vị,

$s(i)$ là các ký hiệu được điều biến,

trong đó i là chỉ số ký hiệu, P là số cổng anten, v là số lớp,

trong đó $\mathbf{W}(i)$ được chọn theo chu kỳ trong tập hợp con của số mã dựa vào số lớp v và chỉ số ký hiệu i .

14. Thiết bị theo điểm 13, trong đó các phần tử của ma trận $\mathbf{U}$ được định nghĩa là dưới dạng $U_{mn} = e^{-j2\pi mn/v}$, với $m = 0, 1, \dots, v-1$ và $n = 0, 1, \dots, v-1$.

15. Thiết bị theo điểm 13, trong đó ma trận $\mathbf{W}(i)$ được chọn theo chu kỳ bởi phép toán môđun N đối với giá trị thu được từ biểu thức i/q ,

trong đó q là v , và N là kích thước của tập hợp con của số mã.

16. Thiết bị theo điểm 13, trong đó:

$$\mathbf{W}(i) = \mathbf{C}_k,$$

trong đó $\mathbf{C}_k$ là chỉ số mã hóa trước trong tập hợp con của số mã, chỉ số k được thiết lập bởi biểu thức:

$$k = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{i}{q} \right\rceil, N\right) = 1 \\ 2 & \text{if } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{i}{q} \right\rceil, N\right) = 2 \\ \vdots & \\ N, & \text{if } \text{mod}\left(\left\lceil \frac{i}{q} \right\rceil, N\right) = 0 \end{cases}$$

trong đó q là v , và N là kích cỡ của tập hợp con của số mã.

Fig.1

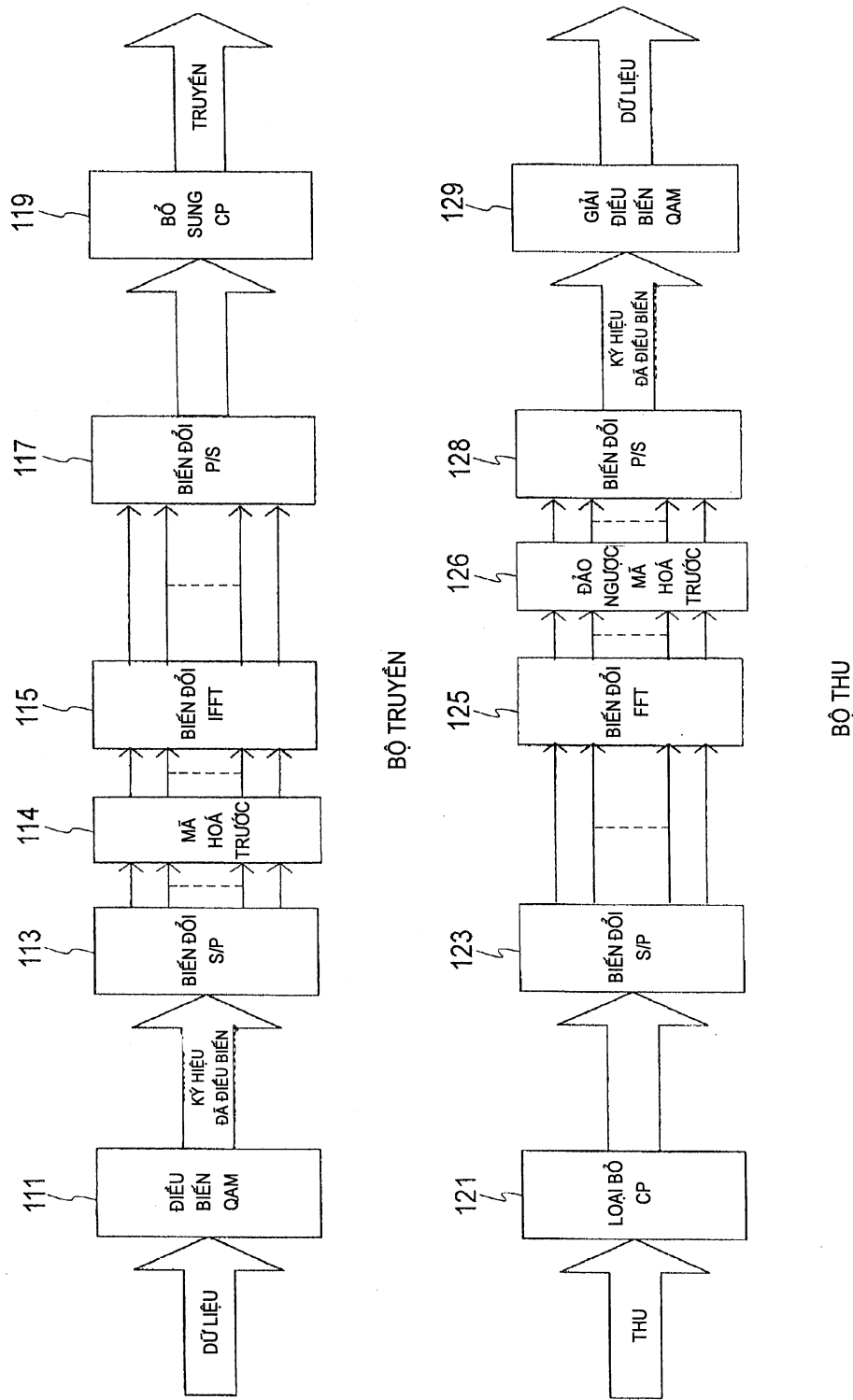


Fig.2

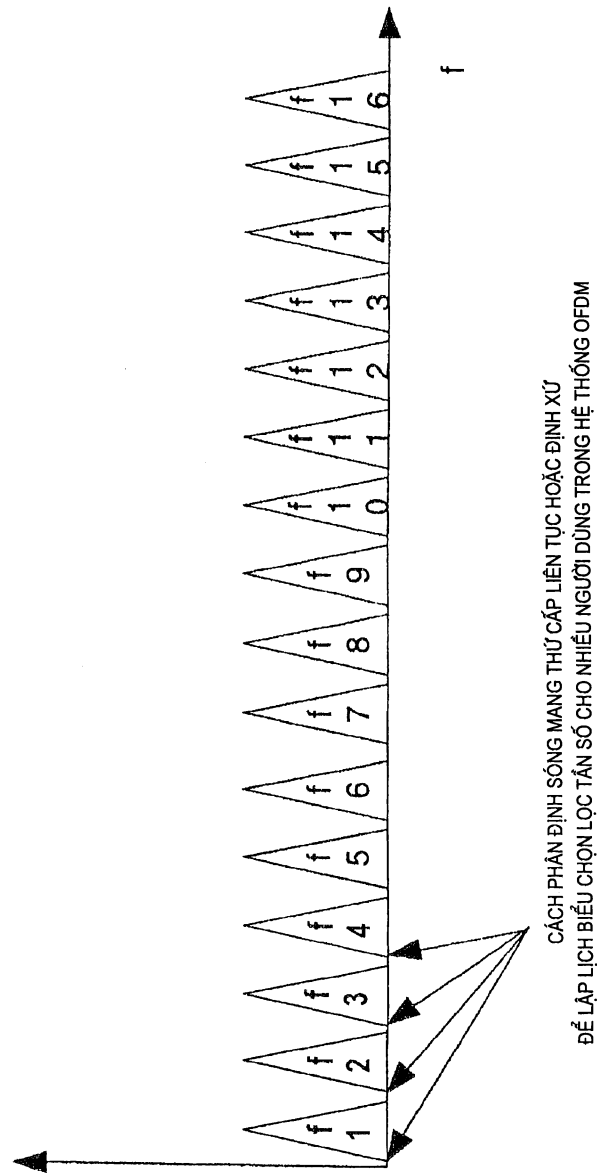
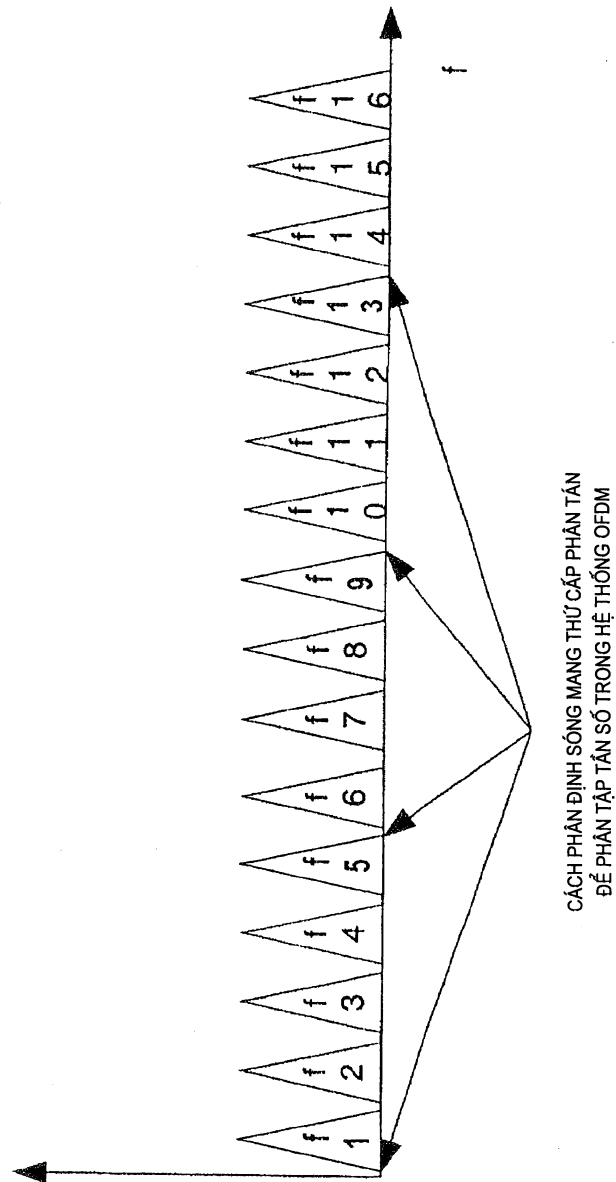


Fig.3



CÁCH PHÂN ĐỊNH SÓNG MẠNG THỨ CẤP PHÂN TÁN
 ĐỂ PHÂN TẬP TẦN SỐ TRONG HỆ THỐNG OFDM

Fig.4

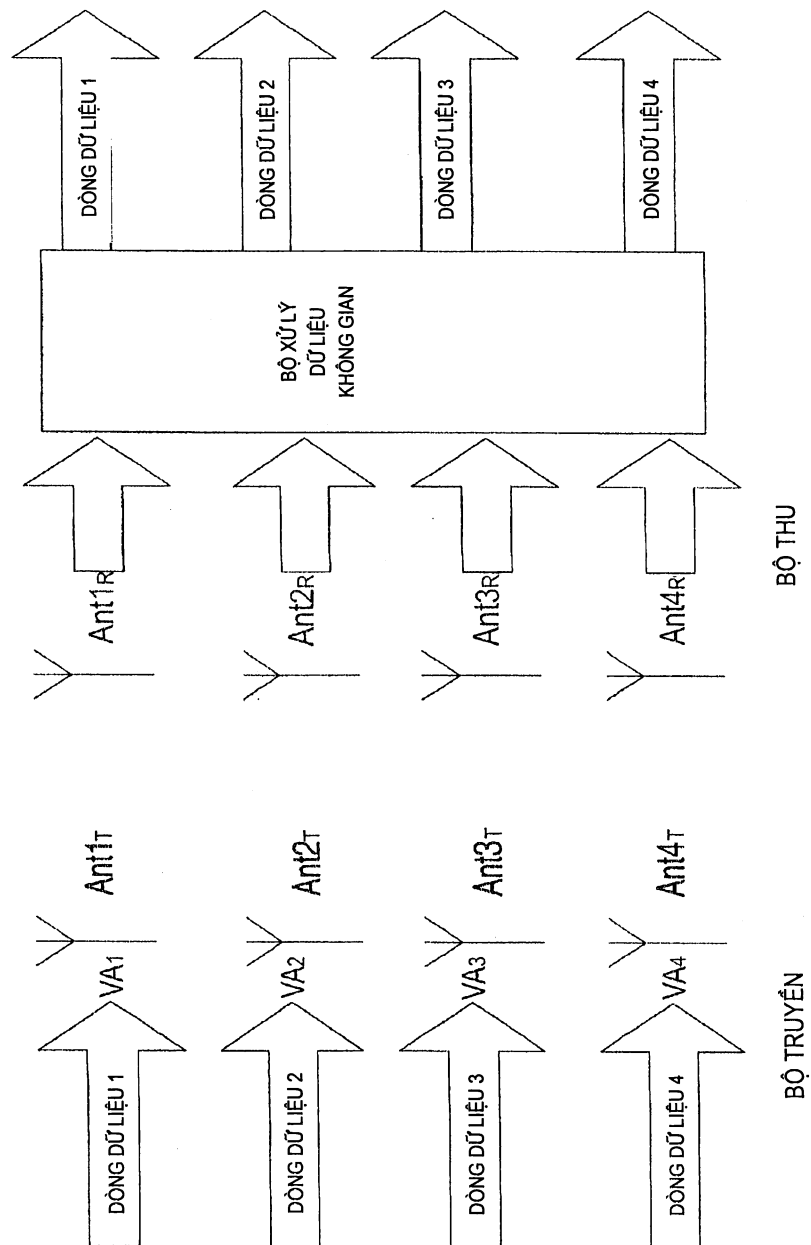


Fig.5

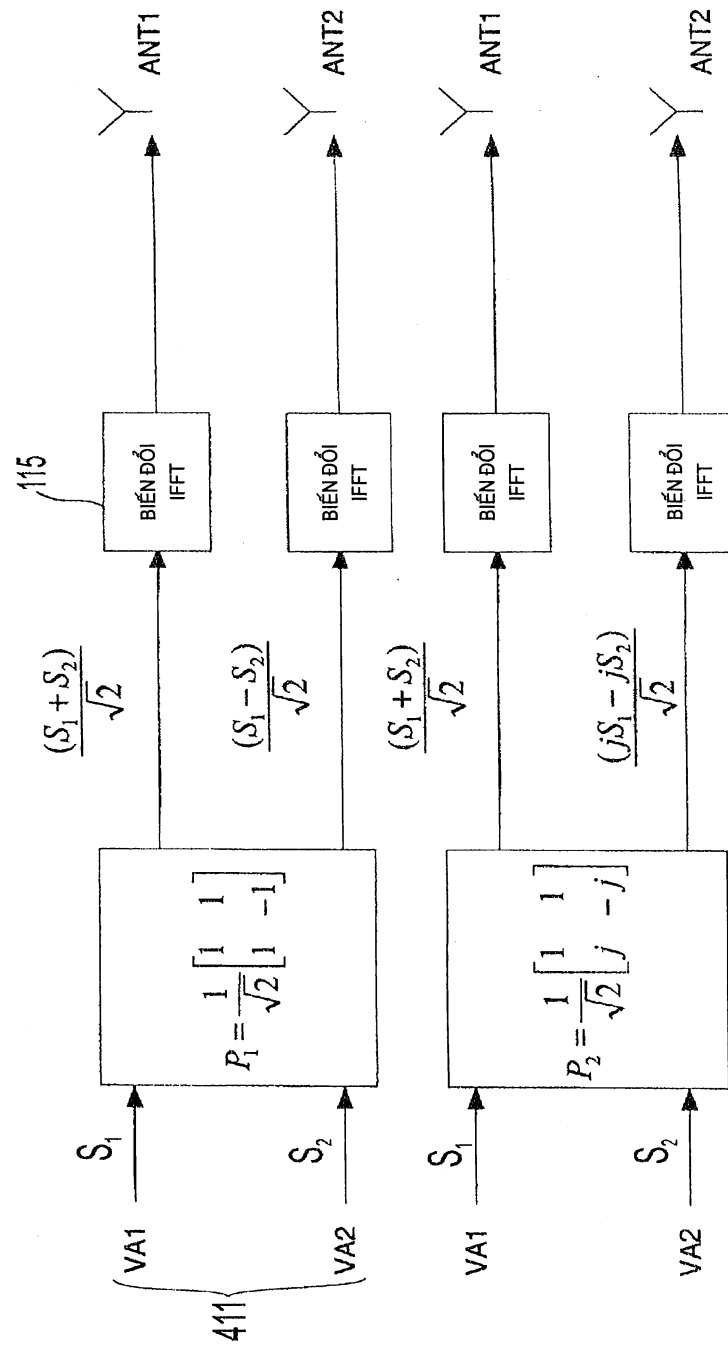


Fig.6

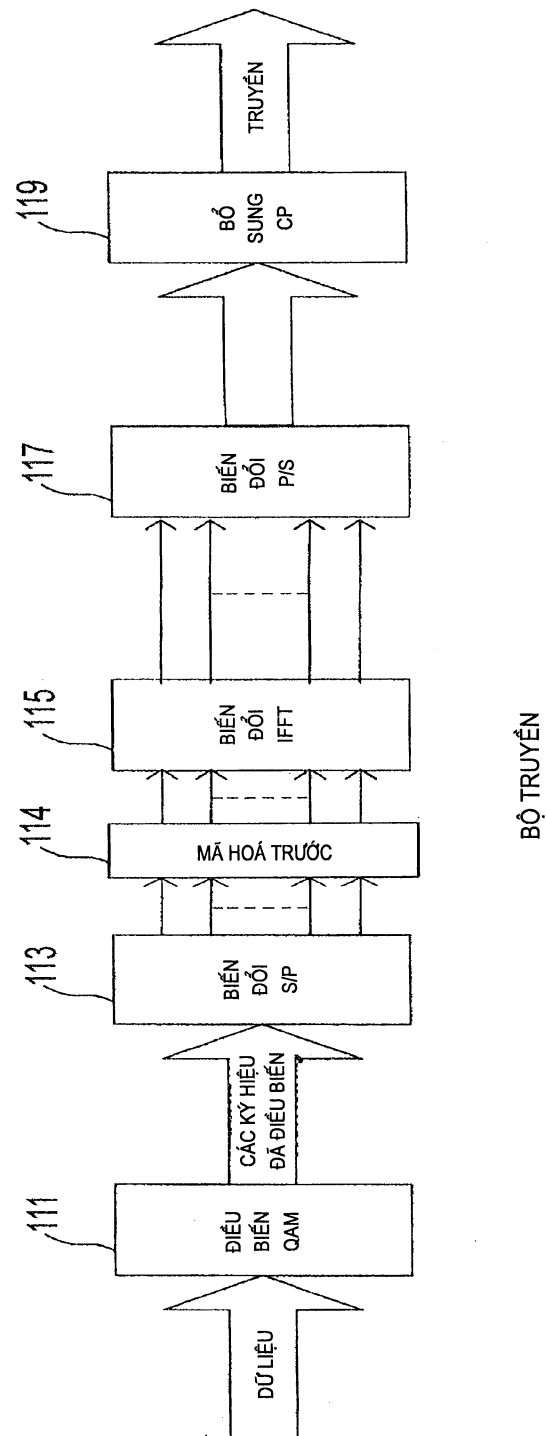


Fig.7

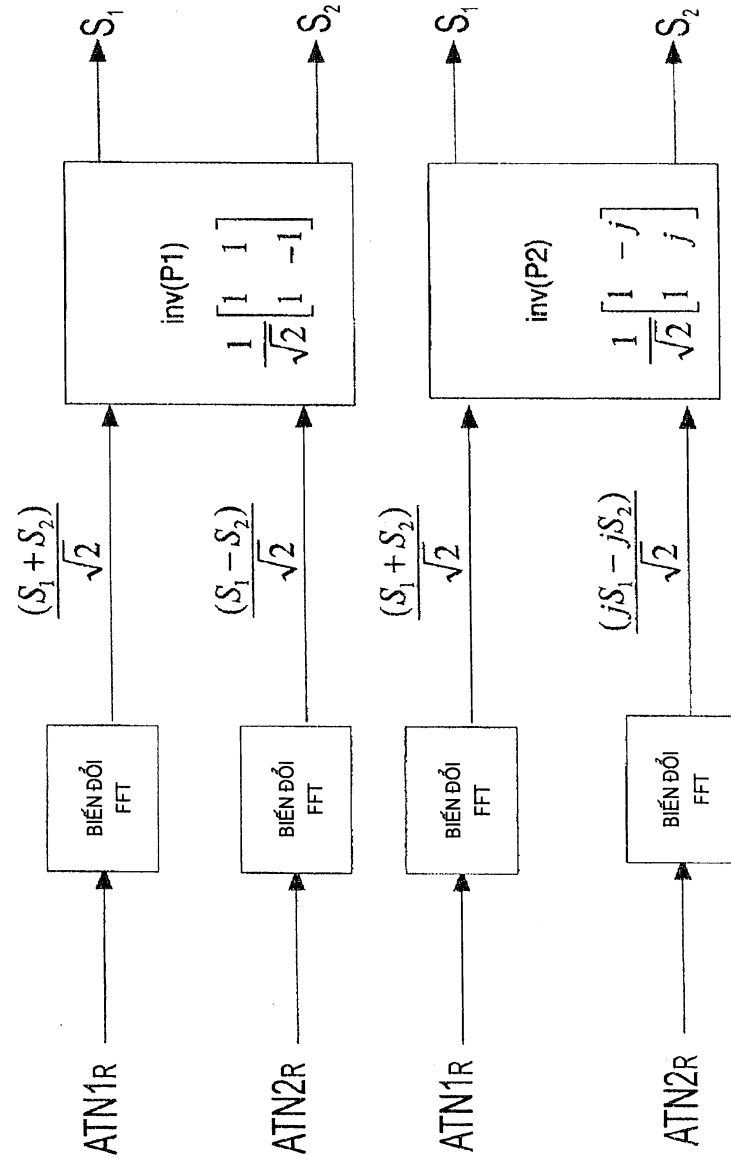


Fig.8

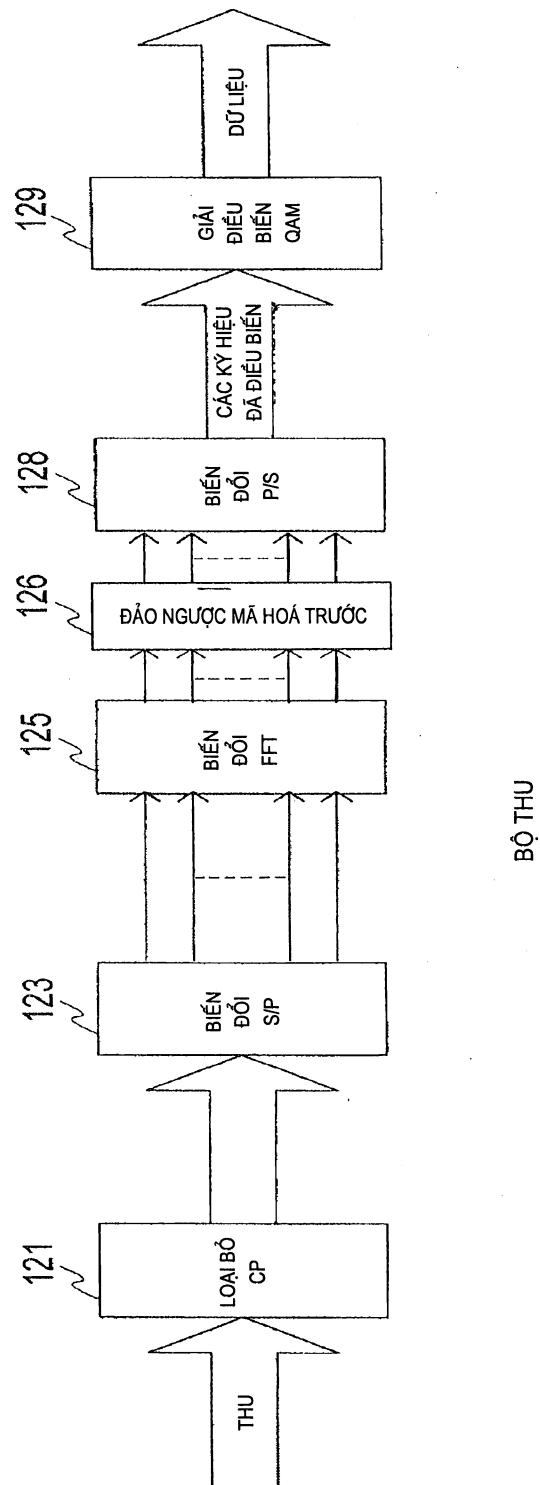


Fig.9

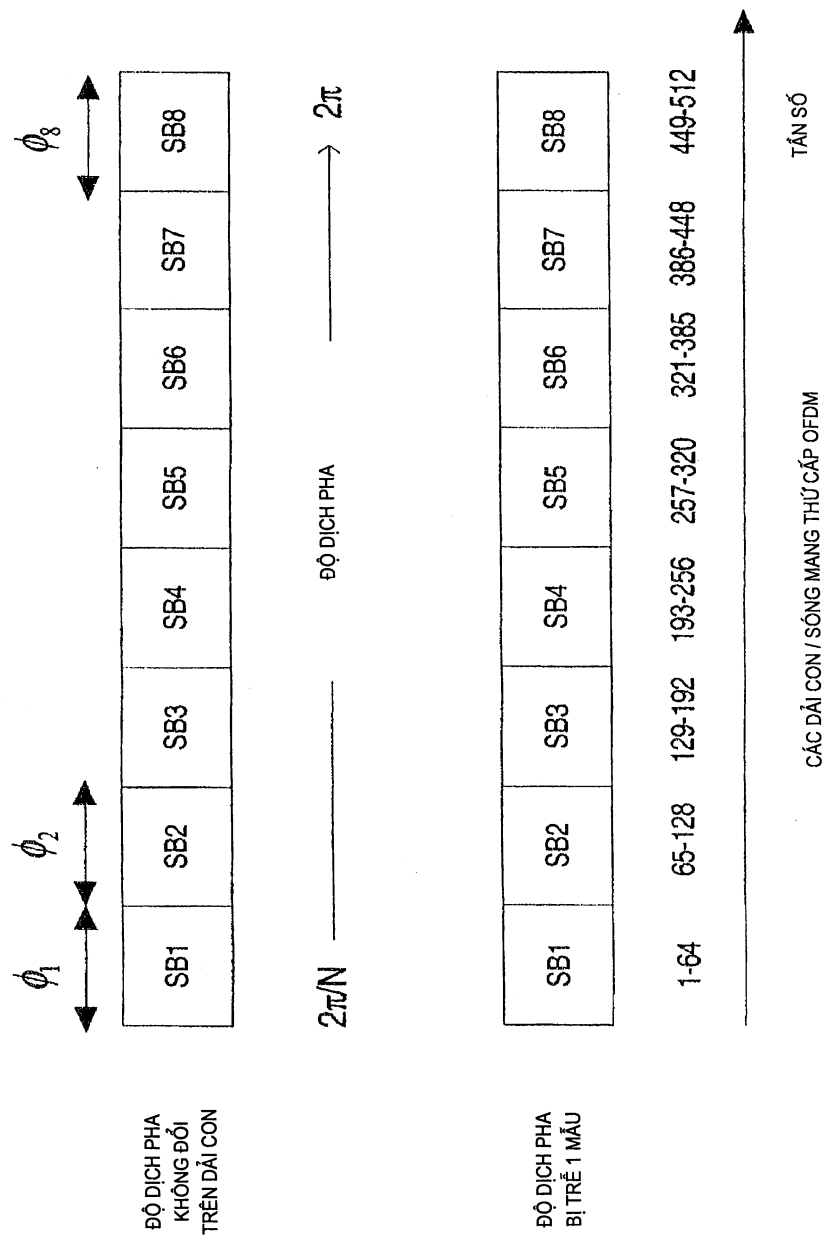


Fig.10

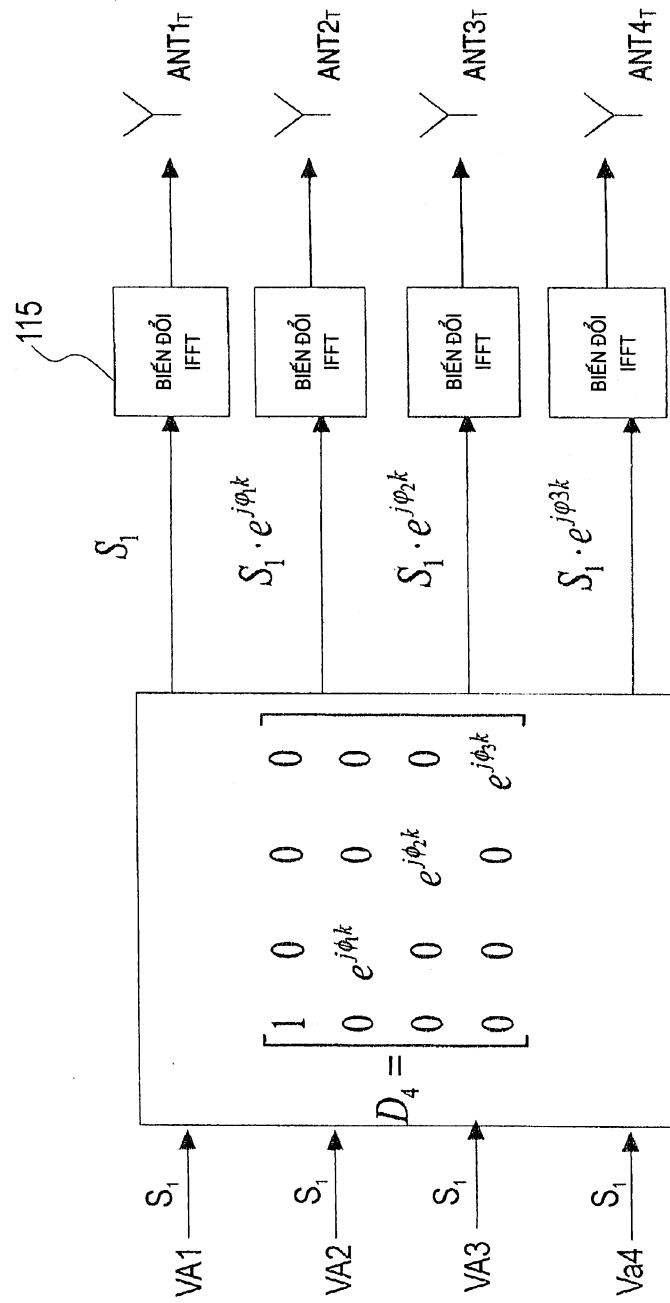


Fig.11

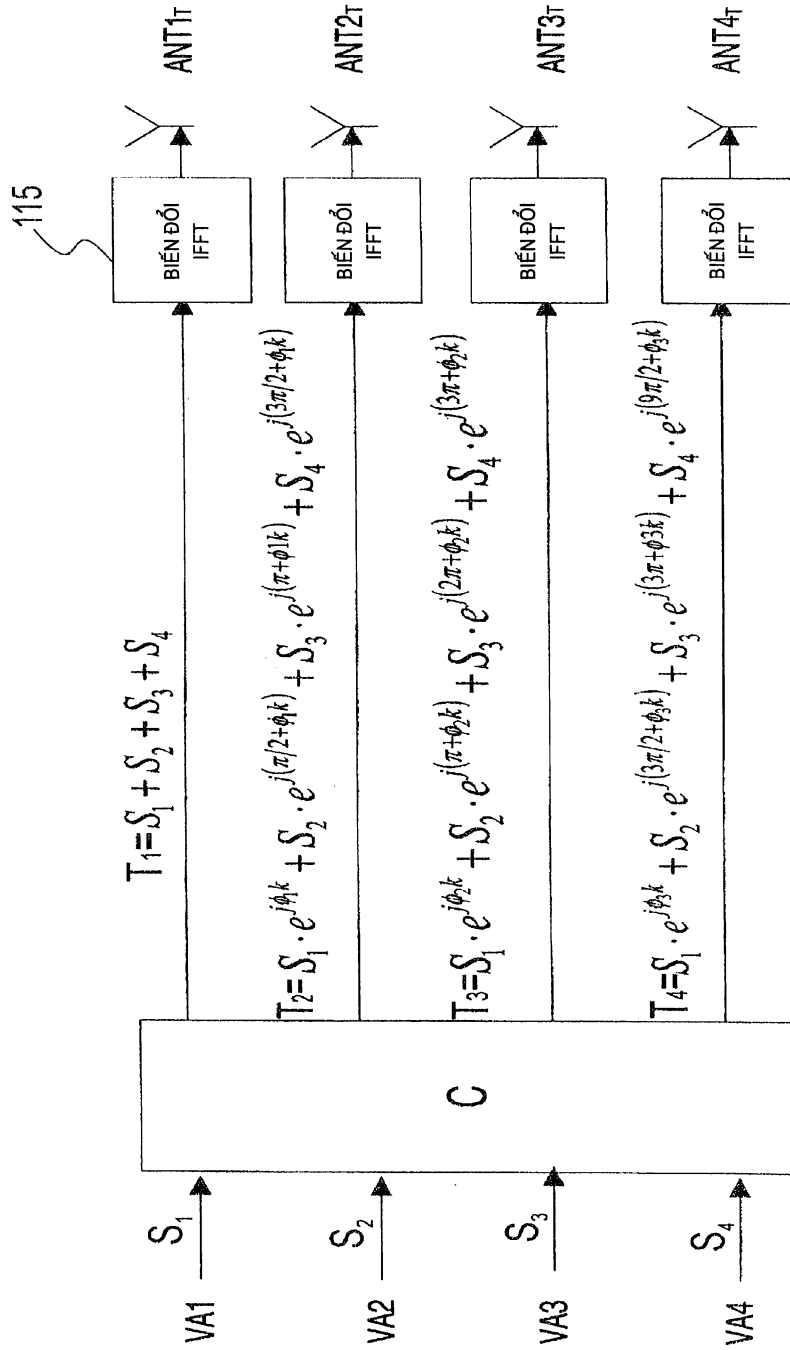


Fig.12

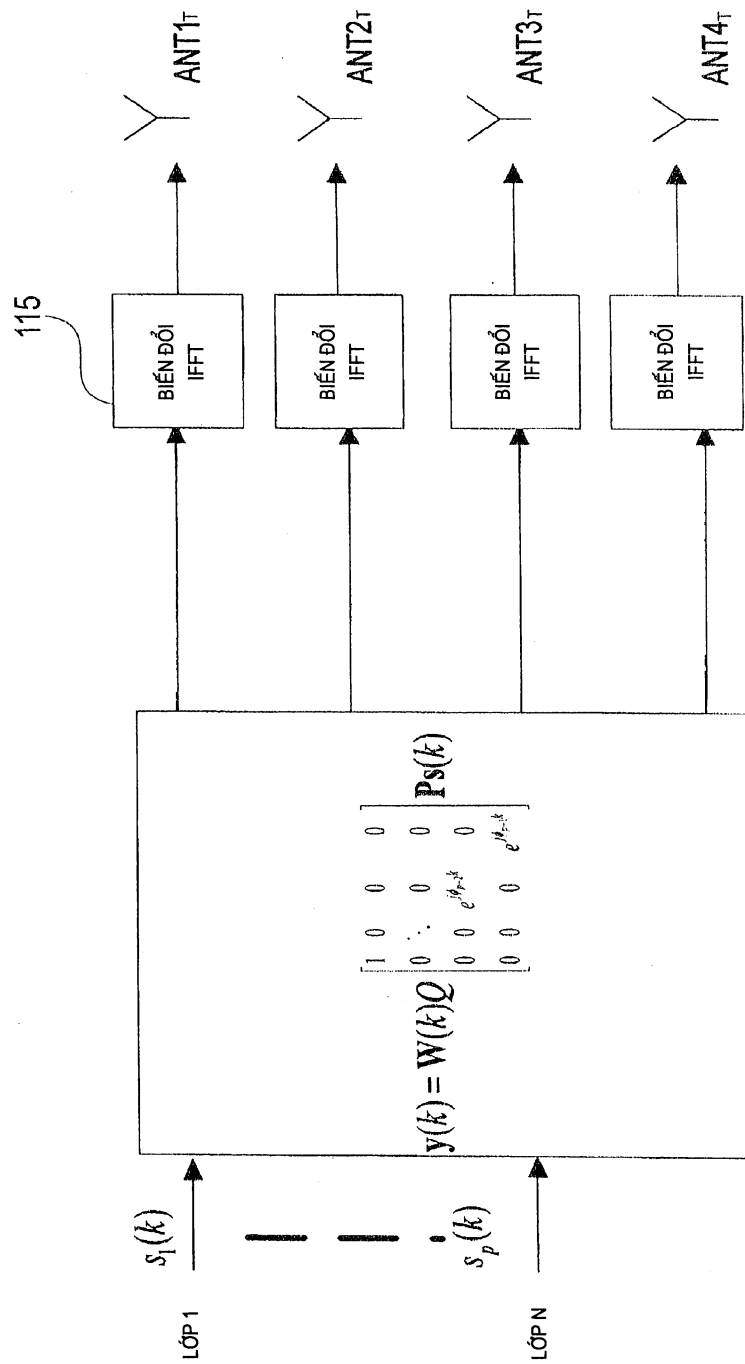


Fig.13

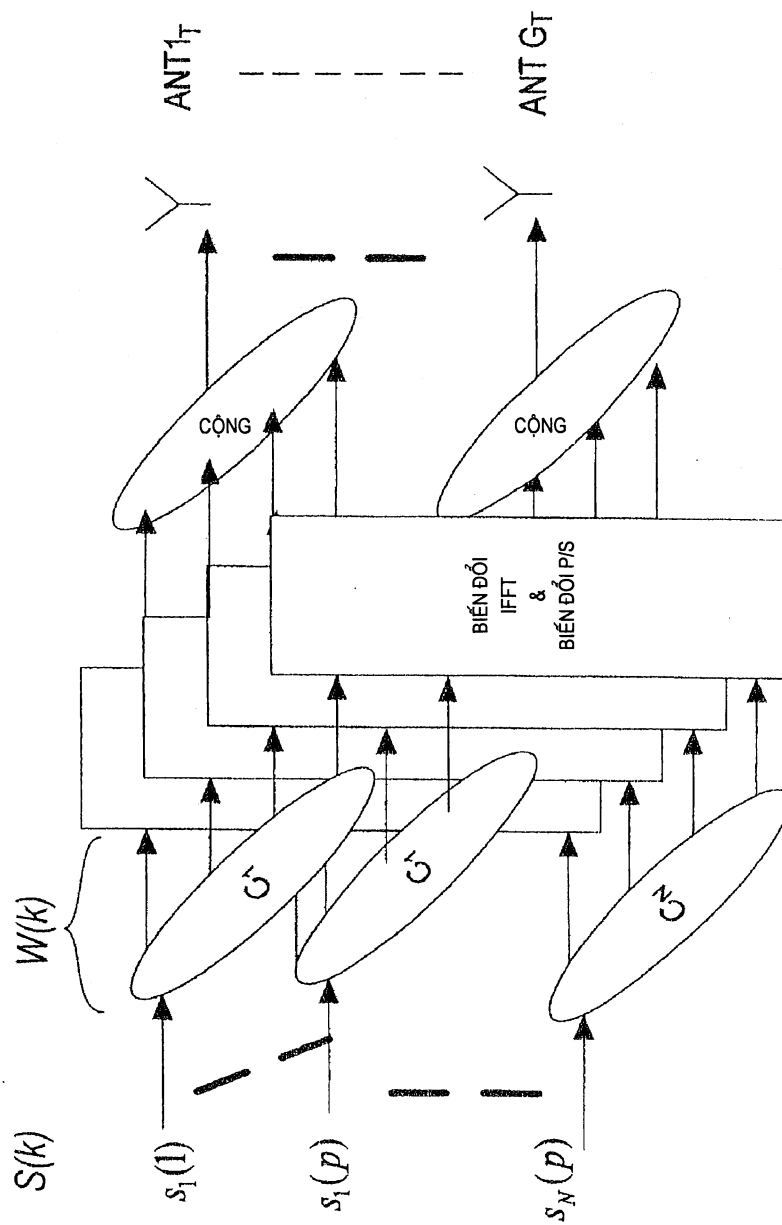


Fig.14

