



(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) 
1-0022049

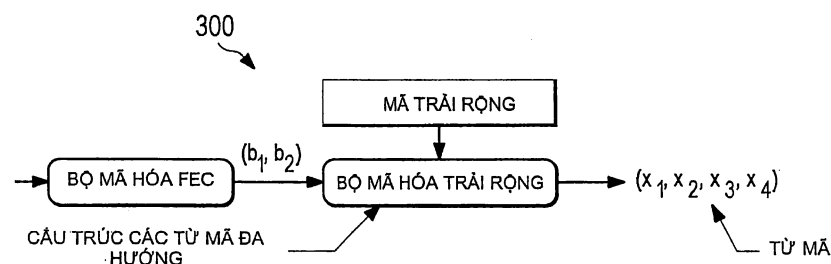
(51)⁷ **H04B 7/02**

(13) **B**

- (21) 1-2015-02141 (22) 18.11.2013
(86) PCT/CN2013/087311 18.11.2013 (87) WO2014/075637A1 22.05.2014
(30) 61/727,486 16.11.2012 US
13/730,355 28.12.2012 US
(45) 25.10.2019 379 (43) 25.08.2015 329
(73) HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (CN)
Huawei Administration Building, Bantian, Longgang, Shenzhen, Guangdong 518129, China
(72) NIKOPOUR, Hosein (IR), BALIGH, Mohammadhadi (IR)
(74) Công ty TNHH một thành viên Sở hữu trí tuệ VCCI (VCCI-IP CO.,LTD)

(54) **PHƯƠNG PHÁP ĐA HỢP DỮ LIỆU, BỘ TRUYỀN DỮ LIỆU, PHƯƠNG PHÁP THU DỮ LIỆU VÀ BỘ THU DỮ LIỆU**

(57) Sáng chế đề cập đến việc mã hóa có thể đạt được bởi mã hóa dữ liệu nhị phân trực tiếp tới các từ mã đa chiều, mà nó bao hàm ánh xạ ký hiệu QAM được ứng dụng bởi các kỹ thuật mã hóa CDMA thông thường. Hơn nữa, đa truy cập có thể đạt được nhờ gán các số mã khác nhau tới các lớp được đa hợp khác nhau. Hơn nữa, các từ mã mật độ thấp có thể được sử dụng để làm giảm độ phức tạp xử lý dải gốc ở phía bộ thu của mạng, như các từ mã mật độ thấp có thể được phát hiện nằm trong các từ mã được đa hợp phù hợp với các thuật toán chuyển tin nhắn (các MPA).



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến các sự truyền thông và theo các phương án cụ thể, là đến các hệ thống và các phương pháp dùng cho đa truy cập mã mật độ thấp.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Đa truy cập phân chia theo mã (CDMA) là kỹ thuật đa truy cập trong đó các ký hiệu dữ liệu được trải ra khắp các tần số mã trực giao hoặc gần trực giao. Mã hóa CDMA thông thường là quy trình xử lý hai bước trong đó mã nhị phân được ánh xạ tới ký hiệu điều biến biên độ pha vuông góc trước khi tần số trải rộng được ứng dụng. Trong khi mã hóa CDMA thông thường có thể tạo ra các tốc độ mã hóa tương đối cao, các cơ chế/các kỹ thuật mới để đạt được các tốc độ mã hóa cao như nhau được cần đến để đáp ứng các nhu cầu không ngừng gia tăng của các mạng không dây thế hệ tiếp theo.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Các ưu điểm kỹ thuật nói chung đạt được bởi các phương án của sáng chế này, trong đó mô tả các hệ thống và các phương pháp dùng cho đa truy cập mã mật độ thấp.

Phù hợp với một phương án, phương pháp đa hợp dữ liệu được đề xuất. Trong ví dụ này, phương pháp bao gồm bước thu dữ liệu nhị phân thứ nhất được kết hợp với lớp được đa hợp thứ nhất, mã hóa dữ liệu nhị phân thứ nhất bằng cách lựa chọn từ mã thứ nhất từ sổ mã thứ nhất, và đa hợp từ mã thứ nhất với ít nhất từ mã thứ hai từ sổ mã thứ hai để thu được các từ mã được đa hợp. Sổ mã thứ nhất được gán riêng tới lớp được đa hợp thứ nhất, và sổ mã thứ hai được gán riêng tới lớp được đa hợp thứ hai. Phương pháp còn bao gồm bước truyền các từ mã được đa hợp qua các tài nguyên được chia sẻ của mạng. Thiết bị thực hiện phương pháp này cũng được đề xuất.

Phù hợp với phương án khác, phương pháp thu dữ liệu được đề xuất. Trong ví dụ này, phương pháp bao gồm bước thu tín hiệu mang các từ mã được đa hợp. Các từ mã được đa hợp bao gồm các từ mã thuộc về nhiều sổ mã, với mỗi sổ mã được gán tới lớp được đa hợp khác nhau. Phương pháp còn bao gồm bước nhận dạng các từ mã thứ nhất nằm trong các từ mã được đa hợp bởi bộ thu được kết hợp với lớp được đa hợp thứ nhất. Từ mã thứ nhất thuộc về sổ mã được gán riêng tới lớp được đa hợp thứ nhất. Phương pháp còn bao gồm bước giải mã từ mã thứ nhất để thu được nhị phân thứ nhất. Thiết bị để thực hiện phương pháp này cũng được đề xuất.

Phù hợp với phương án khác, phương pháp ấn định mã truy cập đa phân mã mật độ thấp (SCMA) được đề xuất. Trong ví dụ này, phương pháp bao gồm bước tạo ra các các sổ mã điều biến đa chiều, và bước tạo ra các các sổ mã mật độ thấp từ các các sổ mã điều biến đa chiều. Phương pháp để phân bố các ký hiệu mật độ thấp (LDS) cũng được đề xuất.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Để hiểu rõ hơn về sáng chế này, và các ưu điểm của sáng chế, phần mô tả dưới đây được thực hiện có dựa vào hình vẽ kèm theo, trong đó:

Fig.1 minh họa sơ đồ của bộ mã hóa CDMA thông thường;

Fig.2 minh họa sơ đồ của kiến trúc mã hóa CDMA thông thường;

Fig.3 minh họa sơ đồ của bộ mã hóa SCMA theo một phương án;

Fig.4 minh họa sơ đồ của kiến trúc mã hóa SCMA theo một phương án;

Fig.5 minh họa lưu đồ của phương pháp mã hóa dữ liệu theo một phương án;

Fig.6 minh họa lưu đồ của phương pháp giải mã dữ liệu theo một phương án;

Fig.7 minh họa sơ đồ của hệ phương pháp theo một phương án để ấn định sổ mã SCMA tối ưu phụ;

Fig.8 minh họa sơ đồ của hệ phương pháp theo một phương án để phân bố các ký hiệu LDS;

Fig.9 minh họa biểu đồ mô tả đặc tính BLER;

Fig.10 minh họa sơ đồ biểu diễn biểu đồ hệ số của mã SCMA;

Fig.11 minh họa sơ đồ biểu diễn biểu đồ hệ số khác của mã SCMA;

Fig.12 minh họa sơ đồ của biểu đồ của các sự quay pha;

Fig.13 minh họa đồ thị mô tả chức năng truyền thông tin ngoại lai dùng cho các nút tài nguyên và nút lớp trong LDS;

Fig.14 minh họa đồ thị mô tả thông tin lớp đầu ra với thông tin ngoại lai đầu vào tới các nút tài nguyên của LDS;

Fig.15 minh họa đồ thị mô tả các chức năng truyền thông tin ngoại lai dùng cho LDS với ký hiệu S_2 ;

Fig.16 minh họa đồ thị mô tả thông tin đầu ra dùng cho ký hiệu LDS S_2 ;

Fig.17 minh họa đồ thị mô tả chức năng truyền thông tin ngoại lai dùng cho bốn nút tài nguyên của mã SCMA mà không có sự tối ưu hóa pha/liên hợp;

Fig.18 minh họa đồ thị mô tả chức năng truyền thông tin ngoại lai dùng cho bốn nút tài nguyên của mã SCMA với sự tối ưu hóa pha/liên hợp;

Fig.19(a) minh họa đồ thị mô tả sự tác động của sự biến đổi hướng công suất của chùm đa hướng về hiệu suất của mã SCMA;

Fig.19(b) minh họa đồ thị mô tả sự tác động của sự biến đổi hướng công suất của chùm đa hướng về hiệu suất của mã SCMA khác;

Fig.20(a) minh họa đồ thị mô tả sự tác động của toán tử hoán vị về hiệu suất của mã SCMA;

Fig.20(b) minh họa đồ thị mô tả sự tác động của toán tử hoán vị về hiệu suất của mã SCMA khác;

Fig.21(a) minh họa đồ thị mô tả sự tác động của các toán tử pha/liên hợp về hiệu suất của mã SCMA;

Fig.21(b) minh họa đồ thị mô tả sự tác động của các toán tử pha/liên hợp về hiệu suất của mã SCMA khác;

Fig.22(a) minh họa đồ thị mô tả sự so sánh của hai tiêu chuẩn tối ưu hóa khác nhau đối với các toán tử pha/liên hợp của mã SCMA;

Fig.22(b) minh họa đồ thị mô tả sự so sánh của hai tiêu chuẩn tối ưu hóa khác nhau đối với các toán tử pha/liên hợp của mã SCMA khác;

Fig.23 minh họa đồ thị mô tả sự tác động của sự phân bố toán tử về hiệu suất của mã SCMA;

Fig.24(a) minh họa đồ thị mô tả sự tác động của toán tử đơn nhất miền thực về hiệu suất của mã SCMA;

Fig.24(b) minh họa đồ thị mô tả sự tác động của toán tử đơn nhất miền thực về hiệu suất của mã SCMA khác;

Fig.25 minh họa đồ thị mô tả tổng số goodput (lượng dữ liệu hữu ích được truyền đi trên một đơn vị thời gian) của các mã SCMA và sự tác động của các thông số thiết kế;

Fig.26 minh họa đồ thị mô tả hiệu quả LDS với các ma trận ký hiệu khác nhau;

Fig.27(a) minh họa đồ thị mô tả hiệu suất của tập hợp của các ký hiệu LDS;

Fig.27(b) minh họa đồ thị mô tả hiệu suất của tập hợp khác của các ký hiệu LDS;

Fig.28(a) minh họa đồ thị mô tả hiệu suất của tập hợp của các ký hiệu LDS với sự tối ưu hóa từng bước của các toán tử pha;

Fig.28(b) minh họa đồ thị mô tả hiệu suất của tập hợp khác của các ký hiệu LDS với sự tối ưu hóa từng bước khác nhau của các toán tử pha;

Fig.29 minh họa đồ thị mô tả hiệu suất của SCMA với LDS;

Fig.30 là sơ đồ khối minh họa nền tính; và

Fig.31 minh họa sơ đồ khối của thiết bị truyền thông theo một phương án.

Các số và các ký hiệu tương ứng trên các hình vẽ khác nhau nói chung đề cập đến các bộ phận tương ứng ngoại trừ được chỉ dẫn theo cách khác. Các hình vẽ dùng để minh họa một cách rõ ràng các khía cạnh liên quan về các phương án và không cần thiết được vẽ theo tỉ lệ.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương án của sáng chế được bộc lộ và được mô tả chi tiết dưới đây. Tuy nhiên, cần hiểu rằng sáng chế này tạo ra nhiều khái niệm sáng tạo có thể ứng dụng được mà có thể được ứng dụng trong nhiều khung cảnh cụ thể rộng rãi khác nhau. Các phương án cụ thể được mô tả chủ yếu minh họa các cách cụ thể để thực hiện và sử dụng sáng chế, và không giới hạn phạm vi của sáng chế.

Được bộc lộ ở đây là kỹ thuật mã hóa đa truy cập mã mật độ thấp (SCMA) để mã hóa các dòng dữ liệu nhị phân trực tiếp tới các từ mã đa chiều. Bằng cách mã hóa trực tiếp dữ liệu nhị phân tới các từ mã đa chiều, các kỹ thuật mã hóa SCMA được mô tả ở đây gồm cả ánh xạ ký hiệu QAM, nhờ đó thu được các hiệu quả mã hóa trên mã hóa CDMA thông thường. Lưu ý là, các kỹ thuật mã hóa SCMA được mô tả ở đây truyền dữ liệu nhị phân nhờ sử dụng từ mã đa chiều, thay vì ký hiệu QAM. Hơn nữa, các kỹ thuật mã hóa SCMA của sáng chế này tạo ra đa truy cập qua việc gán số mã khác nhau đối với mỗi lớp được đa hợp, như ngược với việc sử dụng tần số trải rộng duy nhất (chẳng hạn, ký hiệu LDS, v.v.) vì là chung trong mã hóa CDMA thông thường. Hơn nữa, các số mã SCMA bao gồm các từ mã mật độ thấp sao cho các bộ thu có thể sử dụng các thuật toán chuyển tin nhắn ít phức tạp (các MPA) để phát hiện các từ mã tương ứng của chúng trong số các từ mã được đa hợp, mà nó làm giảm độ phức tạp xử lý dải gốc ở phía bộ thu. Trong khi số lượng lớn của sáng chế này có thể được mô tả về khái niệm của dữ liệu nhị phân, các khía cạnh của sáng chế này đều có thể ứng dụng được tới các loại dữ liệu khác, chẳng hạn như dữ liệu M mức.

Fig.1 minh họa bộ mã hóa CDMA truyền thông 100 để mã hóa dữ liệu. Như được thể hiện, bộ mã hóa CDMA 100 ánh xạ dữ liệu nhị phân thu được từ bộ mã hóa FEC tới các ký hiệu QAM, và sau đó ứng dụng các ký hiệu trải rộng (s_1, s_2, s_3, s_4) để thu được dòng dữ liệu được mã hóa (qs_1, qs_2, qs_3, qs_4). Lưu ý là, các ký hiệu trải rộng (s_1, s_2, s_3, s_4) là các tần số trải rộng CDMA (chẳng hạn, các ký hiệu LDS, v.v.) được gán tới các lớp được đa hợp khác nhau để thu được đa truy cập.

Fig.2 minh họa ví dụ về kiến trúc mã hóa CDMA thông thường 200 dùng để truyền thông các dòng dữ liệu nhị phân 201-204 tới những người sử dụng 231-234 qua mạng 260, như có thể được thực hiện bởi bộ mã hóa CDMA thông thường 100. Như được thể hiện, mỗi dòng dữ liệu nhị phân 201-204 được ánh xạ tới các ký hiệu QAM 211-214 phù hợp với mối tương quan QAM đến nhị phân 270. Như một ví dụ, ký hiệu QAM 211 được kết hợp với dữ liệu nhị phân '00', ký hiệu QAM 212 được kết hợp với dữ liệu nhị phân '01', ký hiệu QAM 213 được kết hợp với dữ liệu nhị phân '10', và ký hiệu QAM 214 được kết hợp với dữ liệu nhị phân '11'. Do đó, ký hiệu QAM 211 được ánh xạ tới dòng dữ liệu nhị phân 201, ký hiệu QAM 212 được ánh xạ tới các dòng dữ liệu nhị phân 202 và 204, và ký hiệu QAM 213 được ánh xạ tới dòng dữ liệu nhị phân 203.

Tiếp theo ánh xạ nhị phân tới QAM, các ký hiệu QAM 211-214 được đa hợp với nhau phù hợp với các ký hiệu LDS 221-224. Lưu ý là, mỗi trong số các ký hiệu LDS 221-224 được ánh xạ tới các lớp được đa hợp khác nhau, mà được gán tới những người khác nhau trong số những người sử dụng 231-234 để đạt được đa truy cập. Do đó, các ký hiệu LDS 221-224 được giữ cố định (nghĩa là, không thay đổi dựa vào các dữ liệu nhị phân trong các dòng dữ liệu nhị phân 201-204). Sau đó, các từ mã một hướng nhận được 241-244 được đa hợp với nhau, để tạo nên các từ mã được đa hợp 280, mà được truyền qua mạng 260. Khi thu nhận, các từ mã được đa hợp 280 được giải đa hợp phù hợp với các ký hiệu LDS 221-224 để thu được các ký hiệu QAM 211-214, mà được sử dụng để thu được các dòng dữ liệu nhị phân 201-204 phù hợp với mối tương quan QAM đến nhị phân 270.

Fig.3 minh họa bộ mã hóa SCMA 300 để mã hóa dữ liệu phù hợp với các khía cạnh của sáng chế này. Như được thể hiện, bộ mã hóa SCMA 300 ánh xạ dữ liệu nhị phân thu được từ bộ mã hóa FEC trực tiếp tới các từ mã đa chiều để thu được dòng dữ liệu được mã hóa (x_1, x_2, x_3, x_4). Các từ mã đa chiều có thể thuộc về các sổ mã đa chiều khác nhau, với mỗi sổ mã được kết hợp với lớp được đa hợp khác nhau. Như được mô tả ở đây, các lớp được đa hợp có thể bao gồm lớp bất kỳ mà qua đó nhiều dòng dữ liệu có thể được truyền qua các tài nguyên được chia sẻ của mạng. Chẳng hạn, các lớp được đa hợp có thể bao gồm các lớp theo không gian đa đầu vào đa đầu ra (MIMO), các âm thanh đa truy cập phân chia theo tần số trực giao (OFDMA), các lớp đa truy cập phân chia theo thời gian (TDMA), và các loại khác.

Fig.4 minh họa ví dụ về sơ đồ đa hợp SCMA 400 để mã hóa dữ liệu phù hợp với các khía cạnh của sáng chế này. Như được thể hiện, sơ đồ đa hợp SCMA 400 có thể ứng dụng các sổ mã 410, 420, 430, 440, 450, và 460 mà mỗi trong số chúng được gán tới lớp được đa hợp khác nhau và bao gồm các từ mã đa chiều. Cụ thể hơn là, sổ mã 410 bao gồm các từ mã 411-414, sổ mã 420 bao gồm các từ mã 421-424, sổ mã 430 bao gồm các từ mã 431-434, sổ mã 440 bao gồm các từ mã 441-444, sổ mã 450 bao gồm các từ mã 451-454, và sổ mã 460 bao gồm các từ mã 461-464. Mỗi từ mã của sổ mã tương ứng được ánh xạ tới dữ liệu nhị phân khác nhau. Trong ví dụ này, các từ mã 411, 421, 431, 441, 451, và 461 được ánh xạ tới dữ liệu nhị phân '00', các từ mã 412, 422, 432, 442, 452, và 462 được ánh xạ tới dữ liệu nhị phân '01', các từ mã 413, 423, 433, 443, 453, và 463 được ánh xạ tới dữ liệu nhị phân '10', và các từ mã 414, 424, 434, 444, 454, và 464 được ánh xạ tới dữ liệu nhị phân '11'. Mặc dù các sổ mã trên Fig.4 được mô tả là có bốn đoạn từ mã, các sổ mã SMAC có thể có số bất kỳ của các từ mã. Chẳng hạn, các sổ mã SMAC có thể có 9 các từ mã (chẳng hạn, được ánh xạ tới các dữ liệu nhị phân '000' ... '111'), 16 các từ mã (chẳng hạn, được ánh xạ tới các dữ liệu nhị phân '0000' ... '1111'), hoặc nhiều hơn.

Như được thể hiện, các từ mã khác nhau được lựa chọn từ các sổ mã khác nhau 410, 420, 430, 440, 450, và 460 tùy thuộc vào dữ liệu nhị phân được truyền qua lớp được đa hợp. Trong ví dụ này, từ mã 414 được lựa chọn từ sổ mã 410 bởi vì dữ liệu nhị phân '11' được truyền qua lớp được đa hợp thứ nhất, từ mã 422 được lựa chọn từ sổ mã 420 bởi vì dữ liệu nhị phân '01' được truyền qua lớp được đa hợp thứ hai, từ mã 433 được lựa chọn từ sổ mã 430 bởi vì dữ liệu nhị phân '10' được truyền qua lớp được đa hợp thứ ba, từ mã 442 được lựa chọn từ sổ mã 440 bởi vì dữ liệu nhị phân '01' được truyền qua lớp được đa hợp thứ tư, từ mã 452 được lựa chọn từ sổ mã 450 bởi vì dữ liệu nhị phân '01' được truyền qua lớp được đa hợp thứ năm, và từ mã 464 được lựa chọn từ sổ mã 460 bởi vì dữ liệu nhị phân '11' được truyền qua lớp được đa hợp thứ sáu. Các từ mã 414, 422, 433, 442, 452, và 464 sau đó được đa hợp với nhau để tạo nên dòng dữ liệu được đa hợp 480, mà được truyền qua các tài nguyên được chia sẻ của mạng. Lưu ý là, các từ mã 414, 422, 433, 442, 452, và 464 là các từ mã mật độ thấp, và bởi vậy có thể được nhận dạng vào lúc thu nhận dòng dữ liệu được đa hợp 480 nhờ sử dụng MPA.

Fig.5 minh họa phương pháp 500 để truyền thông dữ liệu qua mạng phù hợp với các khía cạnh của sáng chế này, như có thể được thực hiện bởi bộ truyền. Phương pháp 500 bắt đầu ở bước 510, ở đó bộ truyền thu dữ liệu đầu vào, bao gồm dữ liệu nhị phân thứ nhất và dữ liệu nhị phân thứ hai. Tiếp theo, phương pháp 500 chuyển đến bước 520, ở đó bộ truyền mã hóa dòng dữ liệu nhị phân thứ nhất bằng cách lựa chọn từ mã thứ nhất từ sổ mã thứ nhất được gán tới lớp được đa hợp thứ nhất. Sau đó, phương pháp 500 chuyển đến bước 530, ở đó bộ truyền mã hóa dòng dữ liệu nhị phân thứ hai bằng cách lựa chọn từ mã thứ hai từ sổ mã thứ hai được gán tới lớp được đa hợp thứ hai. Sau đó, phương pháp 500 chuyển đến bước 540, ở đó bộ truyền đa hợp từ mã thứ nhất với từ mã thứ hai để thu được các từ mã được đa hợp. Cuối cùng, phương pháp 500 chuyển đến bước 550, ở đó bộ truyền truyền các từ mã được đa hợp qua các tài nguyên được chia sẻ của mạng.

Fig.6 minh họa phương pháp 600 để thu dữ liệu được đa hợp phù hợp với các khía cạnh của sáng chế này, như có thể được thực hiện bởi bộ thu được kết hợp

với lớp được đa hợp thứ nhất. Phương pháp 600 bắt đầu ở bước 610, ở đó bộ thu thu tín hiệu mang các từ mã được đa hợp. Tiếp theo, phương pháp 600 chuyển đến bước 620, ở đó bộ thu nhận dạng từ mã thứ nhất với các từ mã được đa hợp. Từ mã thứ nhất là từ số mã thứ nhất được kết hợp với lớp được đa hợp thứ nhất, và có thể được nhận dạng bởi bộ thu phù hợp với MPA. Sau đó, phương pháp 600 chuyển đến bước 630, ở đó bộ thu giải mã từ mã thứ nhất phù hợp với số mã thứ nhất để thu được dữ liệu nhị phân thứ nhất.

Các khía cạnh của sáng chế này đề xuất đa truy cập mã mật độ thấp (SCMA) có các đặc trưng sau: sơ đồ đa truy cập; độ tăng ích mã hóa; và các từ mã mật độ thấp. Fig.7 minh họa hệ phương pháp 700 để ấn định số mã SCMA tối ưu phụ 760. Như được thể hiện, hệ phương pháp 700 bao gồm bước lựa chọn các thông số 710-755, mà nó bao gồm ma trận ánh xạ 710, chùm đa hướng thực 720, ma trận đơn nhất thực 730, chùm đa hướng phức 740, toán tử hoán vị 750, và các toán tử pha và liên hợp 755. Trong một vài phương án, nhiều chùm mẹ có thể được sử dụng để xây dựng các số mã SCMA. Ngoài ra, hệ phương pháp 700 có thể bao gồm bước bổ sung để phân bố các toán tử liên hợp pha tới các nhánh đến của nút tài nguyên. Số mã 760 thu được bằng cách kết hợp các thông số 710-755 theo cách được mô tả trên Fig.7.

Theo một phương án, LDS có thể được xét đến là tựa bắt nguồn của SCMA. Fig.8 minh họa hệ phương pháp 800 để phân bố các ký hiệu LDS phù hợp với các khía cạnh của sáng chế này. Trong các phương án của sáng chế này, hệ phương pháp 800 để phân bố các ký hiệu LDS có thể phù hợp với phiên bản đơn giản hóa của thiết kế SCMA, và có thể không bao gồm các bước liên quan đến kiểu dáng chùm đa hướng mẹ (mà có thể thường được bao gồm trong thiết kế SCMA). Chẳng hạn, chùm mẹ có thể được xét đến sự lặp lại của chùm QAM một chiều (chẳng hạn, giả sử QAM chùm được đưa ra chẳng hạn như QPSK). Ngoài ra, các toán tử có thể được giới hạn ở các toán tử pha sao cho các toán tử liên hợp không được bao gồm. Hơn nữa, hệ phương pháp 800 có thể bao gồm bước ấn định các toán tử pha của nút tài nguyên tới các nhánh đến của nó. Các khía cạnh về hệ

phương pháp 800 có thể dựa vào thao tác ma trận tuyến tính mà được thiết kế đặc biệt cho ký hiệu kiểu dáng LDS. Thao tác ma trận tuyến tính như vậy có thể không được ứng dụng khi ấn định các số mã SCMA.

Fig.9 minh họa biểu đồ mô tả đặc tính BLER, mà nó thể hiện cách thức SCMA và các tập hợp ký hiệu LDS được bộc lộ ở đây thực hiện tốt hơn các tập hợp ký hiệu LDS thông thường. Bảng 1 minh họa một vài sự khác biệt giữa SCMA và LDS.

Bảng 1

	SCMA		LDS	
Đa truy cập	✓	Miền số mã	✓	Miền ký hiệu
Mật độ thấp	✓	Các từ mã mật độ thấp	✓	Các ký hiệu mật độ thấp
Lợi ích mã hóa	✓	Dữ liệu được thực hiện qua các từ mã phức hợp đa chiều	×	Dữ liệu được thực hiện qua các ký hiệu QAM
Mức độ tự do	J các số mã mỗi với M các từ mã		J các ký hiệu	
Bộ thu	MPA trên cơ sở từ mã		MPA trên cơ sở ký hiệu	

Các khía cạnh của sáng chế này đưa vào lớp mới của sơ đồ đa truy cập, chẳng hạn như đa truy cập mã mật độ thấp (SCMA). Các khía cạnh của sáng chế này đề xuất sự định rõ về đa truy cập mã mật độ thấp (SCMA), hệ phương pháp thiết kế đa giai đoạn tối ưu phụ dùng cho SCMA, hệ phương pháp thiết kế dùng cho các ký hiệu LDS, thuật toán chuyển tin nhắn trên cơ sở ký hiệu cho sự phát hiện SCMA. Các khía cạnh của sáng chế này tạo ra nhiều lợi ích và/hoặc các ưu điểm, bao gồm hệ phương pháp đánh giá đồ thị EXIT được thích ứng với các cấu trúc SCMA và LDS, SCMA là sơ đồ đa truy cập mới có thể được sử dụng như công nghệ truy cập/dạng sóng triển vọng cho chuẩn 5G, SCMA có lợi ích tiềm năng để thực hiện tốt hơn LDS, và SCMA mà có tiềm năng để nâng cao lưu lượng của mạng không dây hoặc cho phép việc truyền UL, DL, D2D, hoặc M2M thiếu

trợ cấp. Các ưu điểm đạt được từ sáng chế này có thể là đáng kể do lượng không giới hạn của các trạm gốc và các thiết bị đầu cuối trong mạng.

Đa truy cập mã mật độ thấp: Đa truy cập mã mật độ thấp (SCMA) là sơ đồ đa truy cập/mã hóa được đề xuất với các đặc tính sau: (i) dữ liệu miền nhị phân được mã hóa trực tiếp tới các từ mã miền phức hợp đa chiều; (ii) đa truy cập có thể đạt được nhờ tạo ra nhiều số mã mà một số mã dùng cho mỗi lớp; và (iii) các từ mã của các số mã có mật độ thấp sao cho kỹ thuật phát hiện đa người dùng MPA có thể ứng dụng được để phát hiện các từ mã được đa hợp với tính phức tạp vừa phải.

Theo sáng chế này, các ký hiệu và các biến sau được sử dụng. Các tập hợp của số nhị phân, số tự nhiên, số nguyên, số thực và số phức lần lượt được ký hiệu bởi $\mathbb{B}$, $\mathbb{N}$, $\mathbb{Z}$, $\mathbb{R}$ và $\mathbb{C}$. Các ký hiệu x , $\mathbf{x}$, và $\mathbf{X}$ lần lượt biểu diễn các đại lượng vô hướng, các vector, và các ma trận. Các thành phần thứ n của $\mathbf{x}$ được thể hiện bởi x_n hoặc $(\mathbf{x})_n$, và $(\mathbf{X})_{nm} = x_{nm}$ là thành phần của hàng thứ n và cột thứ m của ma trận $\mathbf{X}$. Ngoài ra, $\mathbf{x}_m$ là cột thứ m của $\mathbf{X}$. Chuyển vị của $\mathbf{x}$ là $\mathbf{x}^T$ và $\text{diag}(\mathbf{x})$ là ma trận chéo ở đó thành phần chéo thứ n của nó là $(\mathbf{x})_n$. Tương tự, $\text{diag}(\mathbf{X})$ là vector của các thành phần chéo của ma trận $\mathbf{X}$. Dạng Hermite của ma trận được thể hiện bởi $\mathbf{X}^H$. Các biến số và các hàm số được liệt kê trong Bảng 2.

Bảng 2. Danh mục của các biến số

Số	Ký hiệu	Mô tả	Chú thích
1	f	Bộ sinh hàm của số mã SCMA	$f: \mathbb{B}^{\log_2(M)} \rightarrow \mathcal{X}$, $\mathbf{x} = f(\mathbf{b})$
2	M	Số lượng của các từ mã của số mã	
3	$\mathbb{B}$	Tập hợp các số nhị phân	
4	$\mathbf{x}$	Từ mã phức của SCMA	
5	$\mathbf{b}$	Từ mã nhị phân	
6	$\mathcal{X}$	Số mã của lớp của mã SCMA	$ \mathcal{X} = M$
7	K	Độ dài của từ mã	
8	N	Số lượng của các thành phần không phải không của từ mã SCMA	
9	$\mathcal{C}$	Tập hợp chùm	

10	g	Bộ sinh hàm chùm	$\mathbb{B}^{\log_2(M)} \rightarrow \mathcal{C}, c = g(b)$
11	V	Ma trận ánh xạ	
12	I_N	Ma trận đồng nhất có kích thước $N \times N$	
13	J	Số lượng của các lớp SCMA	
14	$\mathcal{S}_j(V_j, g_j; M_j, N_j, K)$	Lớp SCMA thứ j	
15	$\mathcal{S}([V_j]_{j=1}^J, [g_j]_{j=1}^J; M, N, K)$	Mã SAMC	
16	y	Tín hiệu thu được	
17	h_j	Kênh của lớp j	$h_j = (h_{1j}, \dots, h_{Kj})^T$
18	n	Tạp nhiễu	$n \sim \mathcal{CN}(0, N_0 I)$
19	N_0	Công suất tạp nhiễu	
20	λ	Hệ số quá tải	$\lambda := J/K$
21	f_j	Ký hiệu chỉ báo nhị phân của biểu đồ hệ số của lớp j	$f_j = \text{diag}(V_j V_j^T)$
22	d_f	Số lượng của các lớp tham gia vào các nút tài nguyên	$d_f = (d_{f1}, \dots, d_{fK})^T$
23	F	Biểu diễn ma trận biểu đồ hệ số	$F = (f_1, \dots, f_J)$
24	$\mathcal{L}_k$	Tập hợp các nút lớp được kết nối với nút tài nguyên k	$\mathcal{L}_k = \{j (F)_{kj} = 1, \forall j\}$
25	$\mathcal{R}_j$	Tập hợp của các nút tài nguyên được kết nối với nút lớp j	$\mathcal{R}_j = \{k (F)_{kj} = 1, \forall k\}$
26	$p(\cdot)$	Hàm có thể xảy ra	
27	$p(\cdot \cdot)$	Hàm có thể xảy ra có điều kiện	
28	$X^{[\mathcal{L}_k]}$	Cụm của tất cả x_j 's với $j \in \mathcal{L}_k$	
29	$\exp(\cdot)$	Hàm mũ	
30	$\mathcal{V}$	Tập hợp của các ma trận ánh xạ	$\mathcal{V} := [V_j]_{j=1}^J$
31	$\mathcal{G}$	Tập hợp của các bộ sinh hàm chùm	$\mathcal{G} := [g_j]_{j=1}^J$
32	m	Chuẩn thiết kế SCMA	
33	$\mathcal{V}^\sigma$	Tập hợp tối ưu của các ma trận ánh xạ	$\mathcal{V}^\sigma, \mathcal{G}^\sigma = \arg \max_{\mathcal{V}, \mathcal{G}} m(\mathcal{S}(\mathcal{V}, \mathcal{G}; J, N, K))$
34	$\mathcal{G}^\sigma$	Tập hợp tối ưu của các bộ sinh hàm chùm	$\mathcal{V}^\sigma, \mathcal{G}^\sigma = \arg \max_{\mathcal{V}, \mathcal{G}} m(\mathcal{S}(\mathcal{V}, \mathcal{G}; J, N, K))$
35	$V_j^{[\emptyset]}$	Là V_j sau khi loại bỏ các hàng đều là không của nó	
36	Δ_j	Toán tử chùm của lớp j	

37	$\mathcal{R}$	Chùm miền thực	
38	$E(.)$	Năng lượng trung bình của tập hợp chùm	
39	U_j	Toán tử đơn nhất miền thực dùng cho lớp j	
40	$\text{complex}(.)$	Chức năng để chuyển vector thực tới vector phức với nửa kích thước độ dài	
41	N_u	Số lượng của các điểm lưới để tối ưu hóa toán tử ma trận đơn nhất	
42	N_c	Số lượng của các tùy chọn để truyền tập hợp chùm miền thực tới tập hợp chùm miền phức	
43	$v(.)$	Sự biến đổi hướng công suất của tập hợp chùm	
44	$d_{\min}(\mathcal{C})$	Khoảng cách nhỏ nhất của tập hợp chùm $\mathcal{C}$	
45	$G(\mathcal{C}^+/\mathcal{Q})$	Lợi ích tạo hình của $\mathcal{C}^+$ qua $\mathcal{Q}$	$G(\mathcal{C}^+/\mathcal{Q})$ $:= \frac{d_{\min}(\mathcal{C}^+)}{d_{\min}(\mathcal{Q})} \sqrt{\frac{E(\mathcal{Q})}{E(\mathcal{C}^+)}}$
46	$\otimes: \alpha$	Toán tử định tỉ lệ	$(\otimes: \alpha)z := \alpha z$
47	$\emptyset$	Toán tử không	$(\emptyset)z = z$
48	$\odot: \tau$	Toán tử liên hợp phức	$(\odot: \tau)z := \begin{cases} z & \tau = 0 \\ z^* & \tau = 1 \end{cases}$
49	$\odot: \varphi$	Toán tử pha	$(\odot: \varphi)z := e^{i\varphi} z$
50	$\otimes: \pi$	Toán tử hoán vị	$(\otimes: \pi)z = \pi z$
51	${}^n\mathcal{C}^+$	Chiều thứ n của chùm $\mathcal{C}^+$	${}^n\mathcal{C}^+$ $= \{c_{nm} \forall c_m \in \mathcal{C}^+, m = 1$
52	$p(z)$	Các đa thức giao thoa	$p(z) = \sum_{j=1}^J q_j(z)$ $= \sum_{j=1}^J V_j \pi_j z$
53	Π	Tập hợp của các toán tử hoán vị	$\Pi = [\pi_j]_{j=1}^J$
54	$n(p(z))$	Số lượng của các đơn thức của đa thức $p(z)$	

55	$\mu(p(z))$	Thay đổi công suất của đa thức giao thoa	$\mu(p(z)) := \sqrt{\sum_{n=1}^N d_n^2 (E(^nC^+) - \bar{E})}$ $E(^nC^+) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^{\bar{E}} c_{nm} ^2$ $\bar{E} = \frac{\sum_{n=1}^N d_n E(^nC^+)}{\sum_{n=1}^N d_n}$
56	$w(z)$	Đa thức giao thoa sau khi ứng dụng các toán tử	
57	$D_{pair}(\dots)$	Khoảng cách nhỏ nhất của hai tập hợp chùm	
58	Ω_k^{l+}	Các toán tử pha/liên hợp được tối ưu hóa dùng cho nút tài nguyên k với tập hoán vị đưa ra	$\Omega_k^{l+} = \left\{ \{\omega_{k1u}^{l+}\}_{u=1}^{d_{k1}^{l+}}, \dots, \{\omega_{kNu}^{l+}\}_{u=1}^{d_{kN}^{l+}} \right\}$
59	S	Ma trận ký hiệu của LDS	$S = [s_j]_{j=1}^J$
60	q	Bộ sinh hàm chùm QAM	$q: \mathbb{B}^{\log_2 M} \rightarrow \mathcal{Q} \subset \mathbb{C},$ $q = q(b)$
61	$\mathcal{Q}$	Chùm QAM	
62	$\mathcal{L}([s_j]_{j=1}^J, q; J, M, N)$	Cấu trúc LDS	
63	1_N	Vectơ đều có kích thước N	
64	$\text{phase}(\cdot)$	Pha của số phức	$\text{Phase}(ae^{i\theta}) = \theta, \quad a, \theta \in \mathbb{R}$
65	$S^\dagger$	Số nghịch đảo giả của S	
66	N_1	Công suất của tập nhiễu biến đổi dùng cho MPA của LDS	

Phần mô tả dưới đây bao gồm các sự mô tả về cấu trúc mã SCMA, các kỹ thuật và các cơ cấu cho sự phát hiện MPA đối với SCMA, các sự thảo luận về các bài toán/kết quả tối ưu hóa đối với thiết kế mã SCMA, và các thủ tục của thiết kế mã SCMA tối ưu hóa phụ đa giai đoạn. Các phần mô tả bổ sung mô tả cách thức các mã SCMA có thể được đánh giá dựa vào mức liên kết và các phương pháp đánh giá đồ thị EXIT.

Bộ mã hóa SCMA có thể được xác định như sau: $f: \mathbb{B}^{\log_2(M)} \rightarrow \mathcal{X}$, $x = f(b)$ ở đó $\mathcal{X} \subset \mathbb{C}^K$ với bản số $|\mathcal{X}| = M$. Từ mã phức K chiều x là vectơ mật độ thấp với $N < K$ các mục nhập không phải không. Để biểu diễn điểm chùm

phức N chiều được xác định nằm trong tập hợp chùm $\mathcal{C} \subset \mathbb{C}^N$ sao cho $:\mathbb{B}^{\log_2(M)} \rightarrow \mathcal{C}, c = g(b)$. Bộ mã hóa SCMA có thể được xác định lại là $f \equiv Vg$ ở đó ma trận ánh xạ nhị phân $V \in \mathbb{B}^{K \times N}$ ánh xạ N một cách đơn giản chiều của điểm chùm tới từ mã SCMA K chiều. Lưu ý là V chứa $K - N$ các hàng đều là không. Việc loại ra các hàng đều là không từ V , việc thiết đặt lại có thể được biểu diễn bởi ma trận đồng nhất I_N có nghĩa là bộ ánh xạ nhị phân không hoán vị các chiều của không gian con $\mathcal{C}$ trong suốt quy trình ánh xạ.

Bộ mã hóa SCMA chứa J lớp riêng biệt đều được xác định bởi $\mathcal{S}_j(V_j, g_j; M_j, N_j, K), j = 1, \dots, J$. Hàm chùm g_j tạo ra tập hợp chùm $\mathcal{C}_j$ với M_j các bảng chữ cái có độ dài N_j . Ma trận ánh xạ V_j ánh xạ các điểm chùm N_j chiều tới các từ mã SCMA để tạo nên tập hợp từ mã $\mathcal{X}_j$, mà không mất đi tính tổng quát, có thể được giả sử rằng tất cả các lớp có kích thước và độ dài chùm như nhau hoặc tương tự, nghĩa là $M_j = M, N_j = N, \forall j$. Tóm lại, mã SCMA có thể được biểu diễn bởi $\mathcal{S}([V_j]_{j=1}^J, [g_j]_{j=1}^J; J, M, N, K)$. Các từ mã SCMA được đa hợp trên K tài nguyên trực giao (hoặc gần trực giao) được chia sẻ (chẳng hạn các sắc thái OFDMA hoặc các lớp theo không gian MIMO). Tín hiệu thu được sau khi đa hợp lớp đồng bộ có thể được biểu diễn là: $y = \sum_{j=1}^J \text{diag}(h_j)x_j + n = \sum_{j=1}^J \text{diag}(h_j)V_j g_j(b_j) + n$, ở đó $x_j = (x_{1j}, \dots, x_{Kj})^T$ là từ mã SCMA của lớp j , $h_j = (h_{1j}, \dots, h_{Kj})^T$ là vector kênh của lớp j và $n \sim \mathcal{CN}(0, N_0 I)$ là tạp nhiễu nền. Trong trường hợp mà tất cả các lớp được truyền từ điểm truyền như nhau, tất cả các kênh là giống hệt nhau $h_j = h, \forall j$ và vì vậy phương trình nêu trên được rút gọn tới $y = \text{diag}(h) \sum_{j=1}^J x_j + n$. Bằng cách đa hợp J các lớp qua K các tài nguyên, hệ số quá tải của mã được xác định là $\lambda := J/K$.

Tín hiệu thu được ở tài nguyên k có thể được biểu diễn là $y_k = \sum_{j=1}^J h_{kj}x_{kj} + n_k, k = 1, \dots, K$. Vì các từ mã x_j 's là mật độ thấp, chỉ một vài trong số chúng xung đột qua tài nguyên k . Tập hợp của các tài nguyên được chiếm giữ bởi lớp j tùy thuộc vào ma trận ánh xạ V_j và tập hợp được xác định bởi chỉ số của

các thành phần không phải không của vector ký hiệu chỉ báo nhị phân $f_j = \text{diag}(V_j V_j^T)$. Tổng số lượng của các lớp tham gia vào các tài nguyên được xác định bởi $d_f = (d_{f1}, \dots, d_{fK})^T = \sum_{j=1}^J f_j$. Toàn bộ cấu trúc của mã SCMA $\mathcal{S}$ có thể được biểu diễn bởi biểu đồ hệ số ma trận được xác định là $F = (f_1, \dots, f_J)$. Lớp j và tài nguyên k được kết nối nếu và chỉ nếu $(F)_{kj} = 1$. Tập hợp của các nút lớp được kết nối với nút tài nguyên k được xác định là $\mathcal{L}_k = \{j | (F)_{kj} = 1, \forall j\}$ đối với $\forall k$. Theo cách khác, tập hợp của các nút tài nguyên được kết nối với nút lớp j là $\mathcal{R}_j = \{k | (F)_{kj} = 1, \forall k\}$ đối với $\forall j$. Dựa vào việc định rõ biểu đồ hệ số, tín hiệu thu được ở tài nguyên k có thể được viết lại như sau: $y_k = \sum_{j \in \mathcal{L}_k} h_{kj} x_{kj} + n_k, \forall k$. Lưu ý là, biểu đồ hệ số các thông số $F, [V_j]_{j=1}^J, [\mathcal{L}_k]_{k=1}^K$, và $[\mathcal{R}_j]_{j=1}^J$ có thể đều biểu diễn thông tin như nhau nhưng theo các định dạng khác nhau.

Việc phát hiện MAP được mô tả dưới đây như có thể được thực hiện bởi bộ thu SCMA, và được mô tả trong Reza Hoshyar, Ferry P. Wathan, Rahim Tafazolli, "Novel Low-Density Signature for Synchronous CDMA Systems Over AWGN Channel (ký hiệu mật độ thấp mới dùng cho các hệ thống CDMA đồng bộ qua kênh AWGN)," IEEE trans. on signal processing (truyền trên quá trình xử lý tín hiệu), tập 56, Số 4, trang 1616, tháng tư năm 2008, mà được kết hợp ở đây nhằm viện dẫn như thể được tái tạo ở trạng thái toàn vẹn của nó. Tín hiệu thu được đưa ra y và sự nhận biết kênh $\{h_j\}_{j=1}^J$ việc phát hiện MAP tối ưu liên kết của lớp các từ mã $X = (x_1, \dots, x_J)$ có thể được biểu diễn là: $\hat{X} = \arg \max_{X \in (\times_{j=1}^J \mathcal{X}_j)} p(X|y)$, ở đó $(\times_{j=1}^J \mathcal{X}_j) := \mathcal{X}_1 \times \dots \times \mathcal{X}_J$. Từ mã được truyền của lớp j có thể được ước tính bởi tối ưu hóa biên duyên về khả năng liên kết, mà có thể được đưa ra bởi $\hat{x}_j = \arg \max_{a \in \mathcal{X}_j} \sum_{\substack{X \in (\times_{j=1}^J \mathcal{X}_j) \\ x_j = a}} p(X|y), \forall j$.

Theo quy tắc của Bays, khả năng thông thường trên có thể được viết lại là $p(X|y) = \frac{p(y|X)p(X)}{p(y)} \propto p(y|X)p(X)$, ở đó $p(X) = \prod_{j=1}^J p(x_j)$ là thông tin ưu tiên liên kết của tất cả các lớp độc lập thống kê. Giả sử dữ liệu không tương quan qua

các lớp, $p(y|X)$ có thể được tìm thừa số là $p(y|X) = \prod_{k=1}^K p(y_k|X)$. Do các từ mã mật độ thấp, y_k chỉ phụ thuộc vào các lớp được kết nối với nút tài nguyên k . Do đó, $p(y|X)$ có thể còn được rút gọn tới $p(y|X) = \prod_{k=1}^K p(y_k|X^{[\mathcal{L}_k]})$ ở đó $X^{[\mathcal{L}_k]}$ là cụm của tất cả x_j 's với $j \in \mathcal{L}_k$. Nếu tất cả các nút lớp gây đan xen ở tài nguyên k , hoặc tương đương $\mathcal{L}_k = \{1, \dots, J\}$, thì $X^{[\mathcal{L}_k]} = X$. Kết hợp các công thức trên và xem xét thực tế là lớp j chỉ phụ thuộc vào các nút tài nguyên thuộc về $\mathcal{R}_j$, việc ước tính của lớp j có thể được mô tả là:

$$\hat{x}_j = \arg \max_{a \in \mathcal{X}_j} \sum_{\substack{X \in (\times_{j=1}^J \mathcal{X}_j) \\ x_j = a}} P(X) \prod_{k \in \mathcal{R}_j} p(y_k|X^{[\mathcal{L}_k]}), \forall j, \quad \text{trong đó}$$

$$p(y_k|X^{[\mathcal{L}_k]}) \propto \exp\left(-|y_k - \frac{\sum_{j \in \mathcal{L}_k} h_{kj} x_{kj}|^2}{N_0}\right).$$

Phương trình nêu trên quay lại bài toán phát hiện MAP liên kết ban đầu tới kết quả biên của bài toán các hàm số mà giải quyết đơn giản hơn nhiều.

Bài toán MPF có thể không có lời giải thuật toán với độ phức tạp mẫu, nhưng giải pháp cận tối ưu của bài toán có thể được thấy lặp lại bởi ứng dụng thuật toán chuyển tin nhắn MPA qua biểu đồ hệ số cơ sở.

Việc cập nhật thông báo ở nút tài nguyên: Let $p_{j \rightarrow k}(x_j = a)$ biểu diễn thông báo được đưa qua từ nút lớp j tới nút tài nguyên k quanh độ tin cậy của lớp j được lấy từ mã $a \in \mathcal{X}_j$. Nói chung, việc phân nhánh mà nó kết nối nút lớp j và nút tài nguyên k mang $|\mathcal{X}_j| = M_j = M$ các giá trị độ tin cậy cho mỗi từ mã có thể thuộc về $\mathcal{X}_j$. Nút tài nguyên k cập nhật và quay lại các giá trị độ tin cậy như sau:

$$p_{j \leftarrow k}(x_j = a) = \sum_{\substack{B^{[\mathcal{L}_k]} \in (\times_{i \in \mathcal{L}_k} \mathcal{X}_i) \\ b_j = a}} p(y_k|B^{[\mathcal{L}_k]}) \prod_{\substack{i \in \mathcal{L}_k \\ i \neq j}} p_{i \rightarrow k}(x_i = b_i), \forall k, \forall a \in \mathcal{X}_j, \forall j \in \mathcal{L}_k.$$

Tính phức tạp của bộ thu chủ yếu tùy thuộc vào số lượng của các sự kết hợp trong phương trình nêu trên. Số lượng của các sự kết hợp ở nút tài nguyên k là $M^{d_{fk}}$ mà nó gia tăng theo hàm mũ với kích thước chùm và số lượng của các lớp đan xen. Thông tin ngoại lai $p_{j \leftarrow k}(x_j = a)$ cần được chuẩn hóa trước khi được đưa

qua từ nút tài nguyên tới nút lớp được kết nối, chẳng hạn, $p_{j \leftarrow k}(x_j = a) \leftarrow \frac{p_{j \leftarrow k}(x_j = a)}{\sum_{b \in \mathcal{X}_j} p_{j \leftarrow k}(x_j = b)}$, $\forall k, \forall a \in \mathcal{X}_j, \forall j \in \mathcal{L}_k$.

Cập nhật thông báo ở nút lớp. Để thông tin ưu tiên về các từ mã của lớp j được biểu diễn bởi $ap_j(x_j = a)$, $\forall a \in \mathcal{X}_j$. Thông tin nhánh được cập nhật ở nút lớp j dựa vào công thức sau. $p_{j \rightarrow k}(x_j = a) = ap_j(x_j = a) \prod_{u \in \mathcal{R}_j, u \neq k} p_{j \leftarrow u}(x_j = a)$, $\forall j, \forall a \in \mathcal{X}_j, \forall k \in \mathcal{R}_j$, mà được chuẩn hóa là: $p_{j \rightarrow k}(x_j = a) \leftarrow \frac{p_{j \rightarrow k}(x_j = a)}{\sum_{b \in \mathcal{X}_j} p_{j \rightarrow k}(x_j = b)}$, $\forall j, \forall a \in \mathcal{X}_j, \forall k \in \mathcal{R}_j$.

Khả năng đầu ra của các từ mã: các thông báo được đưa qua lặp lại giữa lớp và các nút tài nguyên và sau khi tập hợp các khả năng ngoại lai của các từ mã của mỗi lớp được tính toán như sau: $p(x_j = a) = \prod_{u \in \mathcal{R}_j} p_{j \leftarrow u}(x_j = a)$, $\forall j, \forall a \in \mathcal{X}_j$. Phương trình này có thể được chuẩn hóa là $p(x_j = a) \leftarrow \frac{p(x_j = a)}{\sum_{b \in \mathcal{X}_j} p(x_j = b)}$, $\forall j, \forall a \in \mathcal{X}_j$.

Bài toán thiết kế của mã SCMA với cấu trúc đưa ra của $\mathcal{S}(\mathcal{V}, \mathcal{G}; J, M, N, K)$ ở đó $\mathcal{V} := [V_j]_{j=1}^J$ và $\mathcal{G} := [g_j]_{j=1}^J$ có thể được đưa ra là $\mathcal{V}^\sigma, \mathcal{G}^\sigma = \arg \max_{\mathcal{V}, \mathcal{G}} m(\mathcal{S}(\mathcal{V}, \mathcal{G}; J, M, N, K))$, ở đó m là tiêu chuẩn thiết kế đưa ra. Với giải pháp của của bài toán đa chiều này là không đơn giản, việc tiệm cận tối ưu đa giai đoạn được đề xuất để đạt được giải pháp tối ưu phụ cho bài toán.

Với hệ phương pháp thiết kế đa giai đoạn thông thường, số mã mật độ thấp được tạo ra bởi: đầu tiên tạo ra chùm (các chùm) điều biến đa chiều; và sau đó truyền chùm (các chùm) tới nhiều số mã mật độ thấp. Theo sau hai bước chính nêu trên, dưới đây là phần mô tả chi tiết của hệ phương pháp thiết kế cho SCMA:

Như được nêu trên, tập hợp của các ma trận ánh xạ $\mathcal{V}$ có thể xác định số lượng của các lớp đan xen ở mỗi nút tài nguyên mà về phần mình nó định rõ tính phức tạp của sự phát hiện MPA. Việc làm thấp hơn mật độ các từ mã làm cho sự phát hiện MPA càng ít phức tạp. Các quy tắc thiết kế các ma trận ánh xạ có thể

được xác định như sau: (1) $V_j \in \mathbb{B}^{K \times N}$; (2) $V_i \neq V_j, \forall i \neq j$; và (3) $V_j^{[\emptyset]} = I_N$ ở đó $V_j^{[\emptyset]}$ là V_j sau khi loại bỏ các hàng đều là không của nó.

Giải pháp duy nhất $\mathcal{V}^+$ tới bài toán nêu trên được xác định đơn giản bởi chèn $K - N$ các vector hàng tất cả là không nằm trong các hàng của I_N . Các đặc tính của giải pháp có thể như sau: (1) $J = \binom{K}{N}$; (2) $d_{fj} = d_f = \binom{K-1}{N-1} = \frac{JN}{K}, \forall j$; (3) $\lambda = \frac{J}{K} = \frac{d_f}{N}$; và (4) $\max(0, 2N - K) \leq l \leq N - 1$, ở đó l là số lượng của các thành phần trùng lặp của bất kỳ hai vector khác biệt f_j .

Như một ví dụ, khi xem xét tính phức tạp, N sẽ là đủ nhỏ so với K để duy trì mức hợp lý về mật độ thấp. Cụ thể, nếu $N = 2$, các điểm chùm hai chiều có thể được ánh xạ qua $K > 2$ các tài nguyên tới cấu trúc các từ mã SCMA với các nút lớp đan xen nhỏ nhất. Các đặc tính ánh xạ là như sau: (1) $N = 2; J = \binom{K}{2} = \frac{K(K-1)}{2}$. $J = 6$ đối với $K = 4$; (2) $d_{fj} = d_f = \binom{K-1}{1} = K - 1, \forall j$. $d_f = 3$ đối với $K = 4$; (3) $\lambda = \frac{J}{K} = \frac{K-1}{2}$. $\lambda = 1,5$ đối với $K = 4$; và (4) $0 \leq l \leq 1$ nếu $K = 4$, có nghĩa là các từ mã hoặc hoàn toàn trực giao với không có chồng lấp hoặc chúng xung đột chỉ qua một thành phần không phải không.

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \text{ đối với } K = 4$$

Fig.10 minh họa biểu đồ hệ số 1000 biểu diễn F liên quan đến các điểm chùm. Có tập ánh xạ $\mathcal{V}^+$, bài toán tối ưu của mã SCMA được rút gọn tới $\mathcal{G}^+ = \arg \max_{\mathcal{G}} m(\mathcal{S}(\mathcal{V}^+, \mathcal{G}; J, M, N, K))$.

Một bài toán có thể được định rõ J chùm N chiều khác nhau đều chứa M điểm. Để đơn giản bài toán tối ưu, các điểm chùm của các lớp được làm mẫu dựa vào chùm mẹ và các toán tử lớp cụ thể, nghĩa là $g_j \equiv (\Delta_j)g, \forall j$, ở đó Δ_j biểu diễn toán tử chùm. Theo mô hình, việc tối ưu mã SCMA quay lại thành $g^+, [\Delta_j^+]_{j=1}^J = \arg \max_{g, [\Delta_j]_{j=1}^J} m(\mathcal{S}(\mathcal{V}^+, \mathcal{G} = [(\Delta_j)g]_{j=1}^J; J, M, N, K))$.

Nói chung, có thể có nhiều chùm mẹ thay vì là một: $g^{(1)}, g^{(2)}, \dots, g^{(L)}$, và chùm của lớp có thể được xây dựng trên một trong số của các chùm mẹ sẵn có, nghĩa là, $g_j \equiv (\Delta_j)g^{(m_j)}$ và $1 \leq m_j \leq L$. Trong phần dưới đây, giả sử chỉ một chùm mẹ tồn tại. Dễ dàng mở rộng hệ phương pháp thiết kế tới trường hợp nhiều chùm mẹ tồn tại. Với việc tiệm cận điểm cực thuận tới bài toán nêu trên, chùm mẹ và các toán tử có thể được xác định một cách tách biệt.

Đối với chùm mẹ đa hướng, kiểu dáng của chùm miền thực có thể được mô tả như sau. Mục đích có thể là để xây dựng chùm hợp khối đa chiều mà nó tối thiểu hóa năng lượng chữ cái trung bình cho khoảng cách oclit nhỏ nhất đưa ra giữa các điểm chùm. Đầu tiên xét đến kênh AWGN giá trị thực $2N$ chiều. Với giá trị chẵn là $2N$ các kết quả có thể dễ dàng được truyền tới kênh AWGN giá trị phức N chiều. Đối với cặp $(2N, M)$ đưa ra, mục đích là để tìm thấy chùm năng lượng nhỏ nhất $\mathcal{R} = \{r_1, \dots, r_M\}$, với $r_m \in \mathbb{R}^{2N}$ đối với $m = 1, \dots, M$, trong khi giữ khoảng cách oclit giữa các điểm khác nhau (các chữ cái) lớn hơn hoặc bằng ngưỡng nhất định D , $(d_{\min}(\mathcal{R}) = D)$. Chùm $\mathcal{R}$ là điểm trong không gian $\mathcal{M} = \{(r_1, \dots, r_M) | \|r_n - r_m\|^2 \geq D^2, 1 \leq n < m \leq M\}$. Tiếp theo phương pháp này, chúng ta được dẫn tới để xác định hàm giá trị: $\epsilon: \mathcal{M} \rightarrow \mathbb{R}$ và $\mathcal{R} = \{r_1, \dots, r_M\} \rightarrow \epsilon(\mathcal{R})$, ở đó $\epsilon(\mathcal{R}) = \sum_{m=1}^M \|r_m\|^2$. Rõ ràng là, $\epsilon(\mathcal{R})$ là tỉ lệ với năng lượng ký hiệu trung bình $\frac{E(\mathcal{R})=\epsilon(\mathcal{R})}{M}$. Việc xây dựng số mã tối ưu $\mathcal{R}$ tương ứng với việc giải quyết bài toán tối ưu $\mathcal{R}^+ = \arg \min_{\mathcal{R} \in \mathcal{M}} \epsilon(\mathcal{R})$.

Giá trị thực tùy ý của các ký hiệu $r_1, \dots, r_M$ được cho phép. Bài toán được xác định nêu trên là bài toán tối ưu không lồi vì tất cả các sự ràng buộc trong tập hợp $\mathcal{M}$ là không lồi (nonconvex). Chính xác hơn, nó thuộc về nhóm của các bài toán chương trình bậc hai ràng buộc bình phương không lồi (QCQP). QCQP không lồi là bài toán được biết rõ trong tài liệu tối ưu hóa với nhiều ứng dụng. QCQP không lồi là NP-hard. Do đó, thường khó giải quyết QCQP, ngay cả đối với số lượng nhỏ của các ràng buộc.

Giải pháp điểm cực thuận được đề xuất trong Marko Beko và Rui Dinis, “*Designing Good Multi-Dimensional Constellations (Án định các chùm đa hướng tốt,*” các mẫu tự truyền thông không dây IEEE, tập 1, Số 3, các trang 221-224, tháng sáu năm 2012, mà được đưa vào đây nhằm viện dẫn nếu được tái tạo theo tính toàn vẹn của nó. Giải pháp điểm cực thuận được đề xuất nhờ tham chiếu nêu trên dựa vào các phương pháp trên cơ sở tuyến tính hóa/tái lập công thức cũng được biết đến như thủ tục lồi-lõm (CCP). Bài toán tối ưu không lồi được lập công thức được khắc phục bằng cách giải quyết thứ tự của các bài toán tối ưu lồi ở đó nó tối thiểu hóa đối tượng hàm mục tiêu bình phương lồi tới tập hợp của các bất đẳng thức tuyến tính.

Liên quan đến các thao tác đơn nhất trên chùm miền thực; một khi chùm thực mẹ được biết, các thao tác đơn nhất có thể được ứng dụng trực tiếp trên chùm mẹ để xây dựng mã SCMA. Bài toán thiết kế được biểu diễn như sau: $[U_j^+]_{j=1}^J = \arg \max_{[U_j]_{j=1}^J} m \left(\mathcal{S}(\mathcal{V}^+, \mathcal{G} = [\text{complex}(U_j r^+)]_{j=1}^J; J, M, N, K) \right)$. Ở đó r^+ là bộ sinh hàm của $\mathcal{R}^+$, U_j là ma trận đơn nhất $2N \times 2N$, và $\text{complex}(\cdot)$ là hàm kết hợp bất kỳ hai chiều thực liên nhau để tạo nên chiều phức. Mỗi ma trận đơn nhất có $\binom{2N}{2} = N(2N - 1)$ mức tự do. Các thông số đơn nhất được phân bố đồng đều trong khoảng $[-\pi, \pi)$ nếu ma trận đơn nhất được biểu diễn bởi các ma trận quay đưa ra. Dựa vào bài toán tối ưu nêu trên, có $N(2N - 1)J - 1$ biến số độc lập được tối ưu hóa. Nếu mọi biến được lựa chọn từ lưới tọa độ với các điểm N_u trên $[-\pi, \pi)$, việc tìm kiếm toàn bộ tiệm cận yêu cầu $N_u^{N(2N-1)J-1}$ thử nghiệm. Với ví dụ tương đối đơn giản, đối với $N = 2, J = 6$, và $N_u = 100$, tổng số lượng của các thử nghiệm tra cứu toàn bộ là 10^{70} . Giả sử bộ xử lý có thể xử lý 10^{10} thử nghiệm trên mỗi giây (bộ xử lý đầu rất cao), mất hơn $3e52$ năm để kiểm tra mỗi khi có thể giả thiết và xác định cái tối ưu! Vấn đề thậm chí phức tạp hơn khi mã SCMA lớn hơn được cần đến.

Phần còn lại của thiết kế mã SCMA có thể được dành riêng cho việc tiệm cận điểm cực thuận mà có thể chấp nhận thực tế và đồng thời không phải xa với

giải pháp tối ưu chưa được biết. Ý tưởng cơ bản của giải pháp cận tối ưu là như sau: (1) chùm miền thực được truyền tới miền phức dựa vào tiêu chuẩn đưa ra. Chùm miền phức được sử dụng như chùm mẹ; và (2) chùm của mỗi lớp được cấu trúc dựa vào một vài toán tử được ghép nối nối tiếp được ứng dụng trên chùm mẹ.

Chùm miền phức: chùm thực $\mathcal{R}^+$ có thể được chuyển đổi dễ dàng tới chùm phức $\mathcal{C}^+$ bằng cách ghép đôi bất kỳ hai chiều thực để tạo nên chiều phức. $2N$ chiều thực có thể được ghép đôi trong $N_c = \prod_{n=1}^N (2N - 2n + 1)$ cách khác nhau. Trong số các tùy chọn ghép đôi sẵn có, một tùy chọn được lựa chọn với phương sai công suất lớn nhất dọc theo các chiều phức, chẳng hạn sử dụng:

$$\mathcal{C}^+ = \arg \max_{\substack{\mathcal{C} \text{ là một trong số} \\ N_c \text{ tùy chọn} \\ \text{ghép đôi của } \mathcal{R}^+}} \nu(\mathcal{C}), \quad \text{ở} \quad \text{đó}$$

$\nu(\mathcal{C}) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left(|c_{nm}|^2 - \frac{1}{N} \|\mathbf{c}_m\|^2 \right)^2$. Sự biến đổi công suất qua các chiều chùm giúp thuộc tính SIC của bộ phát hiện MPA loại bỏ tốt hơn các tín hiệu giao thoa biến công suất đến từ các lớp xung đột khác nhau tới nút tài nguyên. Lý do phía sau tiêu chuẩn tối ưu này được mô tả thêm dưới đây. Lưu ý là việc biến đổi phức từ $\mathcal{R}$ tới $\mathcal{C}$ không thay đổi các đặc tính chùm, nghĩa là $E(\mathcal{C}) = E(\mathcal{R})$ và $d_{\min}(\mathcal{C}) = d_{\min}(\mathcal{R})$.

Ví dụ, lấy $N = 2$ và $M = 4$. $2N$ thực = hàm bốn chiều được xác định như sau:

$$\mathcal{R}^+ = \begin{bmatrix} -0,7586 & +0,2626 & -0,2583 & +0,7543 \\ -0,1274 & -0,8822 & +0,6244 & +0,3852 \\ -0,1835 & +0,1707 & +0,4121 & -0,3993 \\ +0,6120 & -0,3517 & -0,6113 & +0,3509 \end{bmatrix}, \text{ với } E(\mathcal{R}^+) = 1 \quad \text{và}$$

$d_{\min}(\mathcal{R}^+) = 1,6330$. 4 chiều thực có thể được kết hợp theo 3 cách khác nhau. Theo chiều $\nu(\cdot)$, giải pháp phức hai chiều tốt nhất được xác định như sau:

$$\mathcal{C}^+ = \left\{ \begin{bmatrix} -0,7586 - 0,1274i \\ -0,1835 + 0,6120i \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} +0,2626 - 0,8822i \\ +0,1707 - 0,3517i \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -0,2583 + 0,6244i \\ +0,4121 - 0,6113i \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} +0,7543 + 0,3852i \\ -0,3993 + 0,3509i \end{bmatrix} \right\}, \quad \text{với}$$

$E(\mathcal{C}^+) = 1$ và $\frac{d_{\min}(\mathcal{C}^+)}{\sqrt{E(\mathcal{C}^+)}} \simeq 1,633$. Sự biến đổi hướng công suất được định lượng là

$$\frac{N}{E(\mathcal{C}^+)} \sqrt{\frac{1}{NM} \nu(\mathcal{C}^+)} \simeq 0,4220. \text{ Nếu chùm các chữ cái được xây dựng trên chùm}$$

QPSK theo cách CDMA phổ thông (ở đây tần số trải rộng CDMA đơn giản là

$\frac{\sqrt{2}}{2}(1-i)^T$ và QPSK tập hợp chùm là $\{\pm \frac{\sqrt{2}}{2} \pm \frac{\sqrt{2}}{2}i\}$), nó có thể tiến với ví dụ đặc

trung sau: $\mathcal{Q} = \left\{ \begin{bmatrix} +0,5 + 0,5i \\ -0,5 + 0,5i \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -0,5 + 0,5i \\ -0,5 - 0,5i \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -0,5 - 0,5i \\ +0,5 - 0,5i \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} +0,5 - 0,5i \\ +0,5 + 0,5i \end{bmatrix} \right\}$

trong đó $E(\mathcal{Q}) = 1$, $\frac{d_{\min}(\mathcal{Q})}{\sqrt{E(\mathcal{Q})}} = \sqrt{2}$, và $\nu(\mathcal{Q}) = 0$. Sự gia tăng của việc tối ưu hóa

chùm đa hướng được xác định là $G(\mathcal{C}^+/\mathcal{Q}) := \frac{d_{\min}(\mathcal{C}^+)}{d_{\min}(\mathcal{Q})} \sqrt{\frac{E(\mathcal{Q})}{E(\mathcal{C}^+)}}$ mà là khoảng 1,25

dB cho ví dụ cụ thể này. Sự gia tăng về khoảng cách oclit nhỏ nhất có thể được dịch theo khả năng tới SNR và các sự gia tăng đa dạng đối với đặc tính BLER của mã SCMA. Đồng thời, sự biến đổi hướng công suất của $\mathcal{C}^+$ là lợi thế đối với $\mathcal{C}^+$. Chi tiết hơn về sự tác động của sự biến đổi hướng công suất được đưa ra dưới đây.

Sau khi tối ưu hóa tập hợp chùm $\mathcal{C}^+$, hàm chùm tương ứng g^+ được xác định để thiết đặt quy tắc ánh xạ giữa các từ nhị phân và các điểm chữ cái chùm. Ví dụ, theo sau quy tắc ánh xạ Gray, các từ nhị phân của bất kỳ hai điểm chùm lân cận có thể có khoảng cách Hamming là 1. Với cách khác, sau khi cấu trúc của các số mã cho tất cả các lớp, quy tắc ánh xạ nhị phân của mỗi trong số lớp các số mã có thể được thiết đặt một cách tách biệt.

Hàm chùm các toán tử: nhờ có giải pháp cho chùm mẹ ($\mathcal{C}^+$ hoặc tương đương g^+), bài toán tối ưu SCMA gốc được rút gọn thêm tới: $[\Delta_j^+]_{j=1}^J = \arg \max_{[\Delta_j]_{j=1}^J} m\left(\mathcal{S}\left(\nu^+, \mathcal{G} = [(\Delta_j)g^+]_{j=1}^J; J, M, N, K\right)\right)$. Định nghĩa của các toán tử và chiến lược tối ưu hóa của chúng được mô tả dưới đây.

Đối với các toán tử chùm, lấy δ biểu diễn toán tử được ứng dụng trên $z \in \mathbb{C}$. Phép toán được thể hiện bởi $(\delta)z$. Ba toán tử tiêu biểu là định tỉ lệ, liên hợp phức và quay pha. Toán tử định tỉ lệ $\otimes: \pi$ được biểu diễn là $(\otimes: \alpha)z := \alpha z$. Toán tử không được biểu diễn bởi $(\emptyset)z = z$. Toán tử liên hợp phức được xác định như dưới đây $(\odot: \tau)z := \begin{cases} z & \tau = 0, \\ z^* & \tau = 1, \end{cases}$ và toán tử pha cũng được xác định là $(\odot: \varphi)z := e^{i\varphi}z$. Toán tử vô hướng có thể được mở rộng tới toán tử vector. Để $\Delta =$

$(\delta_1, \dots, \delta_N)^T$ được ứng dụng trên $z = (z_1, \dots, z_N)^T \in \mathbb{C}^N$. Bằng cách xác định, $(\Delta)z = ((\delta_1)z_1, \dots, (\delta_N)z_N)^T$. Tương tự, ma trận toán tử $Y = [\gamma_{nm}]$ có thể được xác định là $(Y)z = r$, ở đó $(r)_n = r_n = \sum_{m=1}^N (\gamma_{nm}) z_m, \forall n$.

Vectơ hoán vị là ví dụ về ma trận toán tử mà có thể được xác định đơn giản là $(\otimes: \pi)z = \sum_{m=1}^N (\otimes: \pi_{nm}) z_m = \sum_{m=1}^N \pi_{nm} z_m = \pi z$, ở đó π là ma trận hoán vị. Nhiều toán tử có thể được ghép nối tiếp. Ví dụ, $(\otimes \odot \otimes: \pi \varphi \tau)z = (\otimes: \pi)(\odot: \varphi)(\otimes: \tau)z = \pi \text{diag}(e^{i\varphi})(\otimes: \tau)z$.

Các toán tử có thể được ứng dụng trên bộ sinh hàm chùm $g: \mathbb{B}^{\log_2 M} \rightarrow \mathcal{C}$ với $c = g(b)$. Hàm $(\Delta)g$ được xác định là $(\Delta)g: \mathbb{B}^{\log_2 M} \rightarrow (\Delta)\mathcal{C}$ với $c_\Delta = (\Delta)g(b)$ ở đó $(\Delta)\mathcal{C} = \{c_\Delta = (\Delta)c | \forall c \in \mathcal{C}\}$. Trong quy trình xử lý của thiết kế mã SCMA, cần các loại của các toán tử chùm của chúng mà không làm thay đổi các đặc tính cơ bản của tập hợp chùm. Có thể dễ dàng được thể hiện rằng hoán vị, quay pha, và các toán tử liên hợp giữ các đặc tính ban đầu của chùm. Nói cách khác, $p((\otimes \odot \otimes: \pi \varphi \tau)\mathcal{C}) = p(\mathcal{C})$ đối với $p \in \{E, d_{min}, v\}$.

Như được nêu trên, chùm của các lớp SCMA khác nhau được cấu trúc dựa vào chùm mẹ g và toán tử lớp cụ thể Δ_j dùng cho lớp j toán tử lớp cụ thể được xác định là $\Delta_j = \otimes \odot \otimes: \pi_j \varphi_j \tau_j$.

Liên quan đến việc tối ưu hóa của các toán tử chùm, khi tạo mẫu các toán tử chùm như trên, bài toán tối ưu của mã SCMA có thể được viết lại như sau

$$\begin{aligned} & [\pi_j^+]_{j=1}^J, [\varphi_j^+]_{j=1}^J, [\tau_j^+]_{j=1}^J \\ &= \arg \max_{[\pi_j]_{j=1}^J, [\varphi_j]_{j=1}^J, [\tau_j]_{j=1}^J} m(s(v^+, g \\ &= [(\otimes \odot \otimes: \pi_j \varphi_j \tau_j)g^+]_{j=1}^J; J, M, N, K)). \end{aligned}$$

Lấy ${}^n\mathcal{C}^+ = \{c_{nm} = (c_m)_n | \forall c_m \in \mathcal{C}^+, m = 1, \dots, M\}, \forall n = 1, \dots, N$ biểu diễn chiều thứ n của chùm mẹ. Cũng giả sử rằng $z^n \in {}^n\mathcal{C}^+$. Chữ cái tùy ý của từ mã mẹ có thể được biểu diễn bởi $z = (z, z^2, \dots, z^N)^T$. Lấy thời điểm này toán tử chùm của lớp j được giới hạn ở ma trận hoán vị π_j . Dưới các giả định này, từ mã

SCMA của lớp j được biểu diễn là $x_j = q_j(z) = V_j \pi_j z$. Xem xét kênh AWGN, tổng số tín hiệu thu là $p(z) = \sum_{j=1}^J q_j(z) = \sum_{j=1}^J V_j \pi_j z$, ở đó $p(z) = (p_1(z), \dots, p_K(z))^T$ là $K \times 1$ vector trong đó thành phần $p_k(z)$ biểu diễn đa thức giao thoa của nút tài nguyên k . Đa thức giao thoa có thể được lấy mẫu là $p_k(z) = d_{k1}z + d_{k2}z^2 + \dots + d_{kN}z^N$ ở đó $\forall k, n, d_{kn} \in \mathbb{N}$. Với số lượng của các lớp đan xen trên mỗi nút tài nguyên là d_f , có thể kết luận là $\sum_{n=1}^N d_{kn} = d_f, \forall k$. Như một ví dụ, đối với $N = 2$ và $d_f = 3$ đa thức giao thoa của lớp 1 có thể là $p_1(z) = 2z + z^2$ có nghĩa là nút tài nguyên thứ nhất lấy 3 lớp đan xen ở đó hai trong số chúng là từ chiều thứ nhất của chùm mẹ và thành phần thứ ba được lựa chọn từ chiều thứ hai của chùm mẹ. Nói chung, đối với tập ma trận ánh xạ đưa ra $\mathcal{V}$, kiểu mẫu của $d_{kn}, \forall k, n$ tùy thuộc vào tập hoán vị $\Pi = [\pi_j]_{j=1}^J$. Có ánh xạ một-một giữa $p(z)$ và Π nhưng có khả năng là hai tập hoán vị khác nhau dẫn tới các đa thức giao thoa giống hệt nhau đối với hai nút tài nguyên bất kỳ. Tổng số lượng của các lựa chọn chùm hoán vị là $(N!)^J$ trong khi tổng số lượng của các đa thức giao thoa khác biệt chỉ được giới hạn ở $\binom{d_f + N - 1}{d_f}$.

Nhìn vào đa thức giao thoa $p(z)$ (k được lấy nhằm mục đích đơn giản), các chiều khác nhau của chùm mẹ có thể gây đan xen ở nút tài nguyên. Nhiệm vụ của bộ phát hiện MPA là để tách biệt các ký hiệu gây đan xen ở dạng tương tác. Với quy tắc cơ bản, các ký hiệu gây đan xen được tách biệt dễ dàng hơn nếu mức công suất của chúng là đa dạng hơn. Bằng trực giác, ký hiệu rõ nét nhất được phát hiện đầu tiên (hoặc giá trị tin cậy tương ứng của chúng được tập hợp) và sau đó nó giúp phần còn lại được phát hiện bằng cách loại bỏ các ký hiệu nổi bật nhất tiếp theo một cách liên tiếp.

Dựa vào lý do này, chùm mẹ phải có mức công suất trung bình đa dạng trên các chiều chùm, nghĩa là $v(C^+)$ phải là lớn nhất khi các chiều $\mathcal{R}^+$ được ghép đôi để tạo nên chùm miền phức. Đây là quy tắc mà được mô tả bên dưới để ấn định chùm phức mẹ. Giả sử mức công suất thứ nguyên của chùm mẹ là đủ đa dạng, tập hoán vị phải được lựa chọn theo cách mà nó bắt giữ nhiều như tính đa dạng công

suất trên các lớp đan xen. Thay đổi công suất trên các lớp của đa thức giao thoa có thể được định lượng và được tối ưu hóa bởi một trong số hai tiệm cận được mô tả như sau: Đối với đa thức giao thoa đưa ra $p(z)$, số lượng của các hệ số không phải không là chỉ số đơn giản của sự thay đổi công suất qua các lớp đan xen. Ví dụ, nếu $N = 2$ và $d_f = 3$, tốt hơn là $p(z) = 2z + z^2$ hoặc $p(z) = z + 2z^2$ thay vì $p(z) = 3z$ hoặc $p(z) = 3z^2$. Trong những trường hợp sau, tất cả ba ký hiệu là từ kích thước như nhau vì vậy sự thay đổi công suất của chúng thực tế là bằng không. Để $n(p(z))$ biểu diễn số lượng của các hệ số không phải không (hoặc tương đương số lượng của các đơn thức) là $p(z)$.

Tiêu chuẩn thiết kế của tập hoán vị được xác định như sau: $\{\Pi^{1+}, \Pi^{2+}, \dots\} = \arg \max_{\Pi} \min_k n(p_k(z))$. Như được chỉ ra ở trên, có thể có nhiều hơn một giải pháp cho bài toán tối ưu nêu trên. Chính xác hơn, thay đổi công suất thực của $p(z) = d_1z + d_2z^2 + \dots + d_Nz^N$ có thể được định lượng như sau:

$$\mu(p(z)) := \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^N d_n^2 (E({}^nC^+) - \bar{E})^2}}{\bar{E}}, \text{ ở đó } E({}^nC^+) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |c_{nm}|^2, \quad \text{và} \quad \bar{E} = \frac{\sum_{n=1}^N d_n E({}^nC^+)}{\sum_{n=1}^N d_n} = \frac{\sum_{n=1}^N d_n E({}^nC^+)}{d_f}.$$

Bài toán thiết kế được mô tả là $\{\Pi^{1+}, \Pi^{2+}, \dots\} = \arg \max_{\Pi} \min_k \mu^2(p_k(z))$. Giả sử $\Pi^{l+} \in \{\Pi^{1+}, \Pi^{2+}, \dots\}$ là giải pháp ứng viên đối với toán tử hoán vị dẫn tới $p(z)$ với d_{kn}^{l+} các hệ số ($\Pi^{l+} \Leftrightarrow \{d_{kn}^{l+}\}$). Nếu các toán tử pha và liên hợp được ứng dụng trên chùm mẹ, đa thức giao thoa có thể được viết lại là $w(z) = \sum_{j=1}^J V_j \pi_j^{l+} (\odot \odot : \varphi_j \tau_j) z$. Tài nguyên đa thức giao thoa cụ thể có thể được lấy mẫu là: $w_k(z) = V_{u=1}^{d_{k1}^{l+}} (\odot \odot : \omega_{k1u}) z + V_{u=1}^{d_{k2}^{l+}} (\odot \odot : \omega_{k2u}) z^2 + \dots + V_{u=1}^{d_{kN}^{l+}} (\odot \odot : \omega_{kNu}) z^N, \forall k$, ở đó $V_{u=1}^d (\odot \odot : \omega_u) z^n = (\odot \odot : \omega_1) z^n + \dots + (\odot \odot : \omega_d) z^n$ và $\omega := \varphi \tau$ là thông số pha/toán tử liên hợp.

Sự giải thích vật lý về mô hình nêu trên là d_{kn}^{l+} trong số d_f các nhánh gây đan xen của nút tài nguyên k đi từ chiều n của chùm mẹ và mỗi trong số d_{kn} các nhánh của chúng được biến đổi duy nhất tương ứng với toán tử liên hợp/pha ω_{knu} của chúng. Như được nêu trên, tập ma trận hoán vị Π^{l+} tối đa hóa sự thay đổi mức

công suất của $p_k(z)$ theo hoặc $n(\cdot)$ hoặc $\mu(\cdot)$ các chiều. Các toán tử pha/liên hợp ω_{knu} không làm thay đổi các số đo thay đổi công suất, nghĩa là $n(w_k(z)) = n(p_k(z))$ hoặc $\mu(w_k(z)) = \mu(p_k(z))$. Tuy nhiên, các toán tử nhánh giúp làm tăng khoảng cách ơclit nhỏ nhất giữa các chiều đan xen. Khoảng cách giữa bất kỳ hai tập kích thước với bất kỳ các toán tử tùy ý được xác định là:

$$D_{pair}^2 \left((\delta_1)^{n_1} C^+, (\delta_2)^{n_2} C^+ \right)$$

$:= \min_{m_1, m_2 \in \{1, \dots, M\}} |(\delta_1)_{c_{n_1 m_1}} - (\delta_2)_{c_{n_2 m_2}}|^2, \forall n_1, n_2 \in \{1, \dots, N\}$. Do đó, đối với tập hoán vị đưa ra $\Pi^+ \Leftrightarrow \{d_{kn}^+\}$, các toán tử pha/liên hợp của mọi nút tài nguyên k được tối ưu hóa như sau:

$$\begin{aligned} \Omega_k^{l+} &= \left\{ \{\omega_{k1u}^{l+}\}_{u=1}^{d_{k1}^{l+}}, \dots, \{\omega_{kNu}^{l+}\}_{u=1}^{d_{kN}^{l+}} \right\} \\ &= \arg \max_{\text{các toán tử}} \min_{\substack{n_1, n_2 \in \{n | n=1, \dots, N, \text{ và } d_{kn}^{l+} > 0\} \\ u_1 \in \{1, \dots, d_{kn_1}^{l+}\} \\ u_2 \in \{1, \dots, d_{kn_2}^{l+}\} \\ (u_1, n_1) \neq (u_2, n_2)}} D_{pair}^2 \left((\odot \otimes : \omega_{kn_1 u_1})^{n_1} C^+, (\odot \otimes : \omega_{kn_2 u_2})^{n_2} C^+ \right) \end{aligned}$$

Giải pháp tối bài toán nêu trên được tìm ra với tra cứu toàn bộ trên tất cả các sự kết hợp toán tử có thể. Ω_k^{l+} biểu diễn giải pháp toán tử của nút tài nguyên k cho ứng viên hoán vị đưa ra Π^{l+} . Khoảng cách nhỏ nhất từng cặp tối ưu của Ω_k^{l+} được chỉ báo bởi $d_{pair}^2(\Omega_k^{l+})$ cấu trúc mật độ thấp của mã SCMA giúp dễ làm giảm tính phức tạp của các sự tối ưu nêu trên vì tổng số lượng của các toán tử được giới hạn ở d_f . Các phân tích tính phức tạp của sự tối ưu hóa tra cứu toàn bộ là như sau:

- (i) Số lượng của các toán tử được tối ưu hóa: $d_f - 1$. Một toán tử có thể là không;
- (ii) Số lượng của các cặp tập kích thước: $\binom{d_f}{2}$; (iii) Số lượng của các tính toán khoảng cách theo $D_{pair}^2(\cdot, \cdot)$: M^2 ; (iv) Số lượng của các thao tác add/mul. Các thao tác cho sự tính toán khoảng cách: 7 adds + 10 muls. Nếu trị giá của phép nhân thực là α (≥ 1) lần lớn hơn sự bổ sung thực, tổng trị giá của sự tính toán khoảng cách là $7 + 10\alpha$; (v) Số lượng của các tùy chọn cho toán tử liên hợp/pha: $2N_\varphi$, ở đó N_φ là số lượng của các điểm lưới theo khoảng cách pha $[-\pi, \pi)$; (vi) số lượng lớn nhất

của các đa thức giao thoa: $\binom{d_f+N-1}{d_f}$. Đây là kịch bản trường hợp tồi nhất ở đó tập hoán vị ứng viên $\{\Pi_1^+, \Pi_2^+, \dots\}$ gồm tất cả các khả năng của các đa thức giao thoa.

Dựa vào các thông số trên, phần trên liên quan đến trị giá tính phức tạp C của tối ưu hóa tra cứu toàn bộ là: $C < (d_f - 1) \binom{d_f}{2} M^2 (7 + 10\alpha) 2N_\varphi \binom{d_f+N-1}{d_f}$.

Bằng ví dụ này, nếu $M = 4$, $N = 2$, $d_f = 3$, $N_\varphi = 360$, và $\alpha = 2 \Rightarrow C < 7464960 \simeq 7,5e6$ mà có thể được tính toán trong thời gian ngắn trong bộ xử lý 2 GHz điển hình. Lưu ý chúng là tất cả các sự tính toán ngoại tuyến chỉ cho sự tính toán mã hóa SCMA. Ở điểm này, tập hoán vị ứng viên $\{\Pi^{1+}, \Pi^{2+}, \dots\}$ và các toán tử và các khoảng cách tối ưu tương ứng của chúng, mà được đưa ra là $\{\{\Omega_k^{1+}\}_{k=1}^K, \{\Omega_k^{2+}\}_{k=1}^K, \dots\}$ và $\{\{d_{pair}^2(\Omega_k^{1+})\}_{k=1}^K, \{d_{pair}^2(\Omega_k^{2+})\}_{k=1}^K, \dots\}$ (một cách tương ứng), là thích hợp.

Tập hoán vị tốt nhất có thể được lựa chọn dễ dàng dựa vào tiêu chuẩn sau: $\Pi^+, \{\Omega_k^+\}_{k=1}^K = \arg \max_{\Pi^{l+} \in \{\Pi^{1+}, \Pi^{2+}, \dots\}} \min_k d_{pair}^2(\Omega_k^{l+})$, và nếu có lớn hơn một giải pháp là $(\Pi^+, \{\Omega_k^+\}_{k=1}^K)$ cho bài toán nêu trên, trong số chúng, một giải pháp được lựa chọn mà nó có tổng khoảng cách tối thiểu lớn nhất, nghĩa là $\sum_{k=1}^K d_{pair}^2(\Omega_k^+)$ là lớn nhất.

Theo cách khác với tiêu chuẩn tối ưu hóa toán tử từng cặp nêu trên, tiêu chuẩn chồng lắp cũng được đưa vào đối với sự tối ưu toán tử. Tiêu chuẩn chồng lắp được xác định như dưới đây:

$$\Omega_k^{l+} = \left\{ \{\omega_{k1u}^{l+}\}_{u=1}^{d_{k1}^{l+}}, \dots, \{\omega_{kNu}^{l+}\}_{u=1}^{d_{kN}^{l+}} \right\} = \arg \max_{\text{các toán tử}} d_{\min}^2 \left((\odot \odot * : \omega_{k11})^1 C^+ + \dots + (\odot \odot * : \omega_{k1d_{k1}^{l+}})^1 C^+ + \dots + (\odot \odot * : \omega_{kNd_{kN}^{l+}})^N C^+ + \dots + (\odot \odot * : \omega_{kNd_{kN}^{l+}})^N C^+ \right),$$

trong đó đối với hai $\mathcal{A}$ và $\mathcal{B}$ bất kỳ, ở đây định rõ $\mathcal{A} + \mathcal{B} := \{c | c = a + b, \forall a \in \mathcal{A} \text{ và } \forall b \in \mathcal{B}\}$. Tiêu chuẩn chồng lắp và tiêu chuẩn từng cặp được so sánh dưới đây.

Sau khi tối ưu hóa các toán tử và xác định $w(z)$ tối ưu, câu hỏi trực tiếp là cách thức để phân phối các toán tử tối ưu tới các lớp đan xen khác nhau. Với ví dụ đơn giản, các toán tử tương ứng của đa thức giao thoa $p_1(z) = 2z + z^2$ là $w_1(z) = (\omega_{111} \vee \omega_{112})z + \omega_{121}z^2$. Theo $p_1(z)$, hai lớp đan xen là từ chiều thứ nhất. Fig.11 minh họa biểu đồ hệ số 1100, ω_{111} và ω_{112} có thể được phân phối tới một trong số các lớp đan xen. Ở đây tổng số lượng của các tùy chọn phân phối là 2.

Với quy tắc chung, đối với đa thức giao thoa thuộc dạng $w_k(z) = V_{u=1}^{d_{k1}}(\odot \odot : \omega_{k1u})z + V_{u=1}^{d_{k2}}(\odot \odot : \omega_{k2u})z^2 + \dots + V_{u=1}^{d_{kN}}(\odot \odot : \omega_{kNu})z^N, \forall k$. Lưu ý là, các toán tử có thể được phân phối tới mã SCMA trong $\prod_{k=1}^K \prod_{n=1}^N d_{kn}!$ cách khác nhau. Như được thể hiện dưới đây, sự tác động của sự phân bố toán tử về hiệu suất của mã SCMA hoàn thiện là không đáng kể. Lý do ở chỗ không cần biết đến các toán tử nào được phân phối tới các lớp đan xen nào, sự đan xen được kết hợp ở nút tài nguyên đưa ra không thay đổi. Dựa vào sự quan sát này, các toán tử được tối ưu hóa có thể là (hoặc theo thứ tự đưa ra) được phân phối ngẫu nhiên tới các lớp đan xen của mỗi nút tài nguyên tới cấu trúc mã SCMA hoàn thiện.

Trong một vài trường hợp, LDS là trường hợp đặc biệt của SCMA. Các bộ điều biến LDS được xác định bởi ma trận ký hiệu $S = [s_j]_{j=1}^J$ của chúng và các điểm chùm QAM đầu vào $q: \mathbb{B}^{\log_2 M} \rightarrow \mathcal{Q} \subset \mathbb{C}$ ở đó $q = q(b)$. Toàn bộ bộ điều biến LDS được biểu diễn bởi $\mathcal{L}([s_j]_{j=1}^J, q; J, M, N, K)$ trong đó K là độ dài và N là số lượng của các thành phần không phải không của mỗi ký hiệu. Bộ điều biến LDS có thể được xác định lại dựa vào cấu trúc SCMA, phù hợp với $\mathcal{L}([s_j]_{j=1}^J, q; J, M, N, K) = \mathcal{S}([V_j]_{j=1}^J, [g_j]_{j=1}^J; J, M, N, K)$, trong đó $g_j \equiv \Delta_j g$, $g \equiv q1_N$, 1_N là vector có kích thước đầu là một N , $\Delta_j = \odot : \text{pha}(s_j^{[\emptyset]})$, $\text{pha}(ae^{i\theta}) = \theta$ đối với không phải số âm bất kỳ $a \in \mathbb{R}$ và $\theta \in [-\pi, \pi)$, $s_j^{[\emptyset]}$ là vector phức N chiều của các thành phần không phải không của s_j , $[V_j]_{j=1}^J$ được xây dựng trên biểu đồ hệ số ma trận F , và $(F)_{kj} = 1$ nếu và chỉ nếu $(S)_{kj} \neq 0$. Do đó, bộ điều biến LDS là mã SCMA đặc biệt với chùm mẹ đa chiều đơn giản được cấu

trúc bởi sự lặp lại của các điểm chùm QAM và vì vậy ${}^n\mathcal{C} = \mathcal{Q}, \forall n = 1, \dots, N$. Ngoài ra, toán tử chùm được giới hạn ở quay pha mà không có bất kỳ thao tác liên hợp hoặc hoán vị nào. Hoán vị không có ảnh hưởng đến khi tất cả các chiều của chùm mẹ là giống hệt nhau. Theo sau thủ tục thiết kế mã SCMA, sự tối ưu hóa từng bước của các ký hiệu LDS đối với tập ma trận ánh xạ đưa ra $[V_j]_{j=1}^J$ được lập công thức như sau: $\{\varphi_u^+\}_{u=1}^{d_f} = \arg \max_{\text{phases}} \min_{1 \leq u_1 < u_2 \leq d_f} D_{pair}^2 \left((\odot : \varphi_{u_1})\mathcal{Q}, (\odot : \varphi_{u_2})\mathcal{Q} \right)$, trong đó một toán tử được thiết đặt tới không, ví dụ $\varphi_1^+ = 0$. Ngoài ra, tiêu chuẩn chồng lắp để tối ưu hóa ký hiệu LDS được biểu diễn là: $\{\varphi_u^+\}_{u=1}^{d_f} = \arg \max_{\text{phases}} d_{min}^2 \left((\odot : \varphi_1)\mathcal{Q} + (\odot : \varphi_2)\mathcal{Q} + \dots + (\odot : \varphi_{d_f})\mathcal{Q} \right)$.

Tương tự với mã SCMA, các toán tử của nút tài nguyên có thể được phân phối tới các lớp đan xen trong $d_f!$ khác nhau. Các toán tử pha của mã SCMA là tương đương với các sự quay pha của các ký hiệu của bộ điều biến LDS. Đối với trường hợp mà $\mathcal{Q}$ là chùm M -PSK, giải pháp tới bài toán tối ưu hóa từng bước nêu trên là đơn giản: $\varphi_u^+ = (u - 1) \frac{2\pi}{Md_f} + e_u \frac{2\pi}{M}, \forall u = 1, \dots, d_f$, ở đó e_u là thành phần tùy ý bất ý của $\mathbb{Z}$. Fig.12 minh họa biểu đồ thể hiện các sự quay pha tối ưu ví dụ, trong đó $N=2$, $M=4$, và $d_f=3$ các sự quay pha tối ưu là $\{0, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{3}\}$.

Mỗi nút tài nguyên có $3! = 6$ tùy chọn để phân phối các pha tới các lớp đan xen. Tổng số lượng của các tùy chọn đối với toàn bộ tập hợp ký hiệu với 4 nút tài nguyên là $6^4 = 1296$.

Hệ thống LDS có thể được định hình là $y = \text{diag}(h)Su + n$. Lưu ý là đối với các tài nguyên liên kế h là hầu như không đổi. Thay thế $u = S^\dagger x + z$ ở đó $S^\dagger$ là giả nghịch đảo của ma trận ký hiệu S và x để biểu diễn tín hiệu lỗi được truyền qua các tài nguyên mà nó dẫn đến công suất sau xử lý thấp nhất đối với z mà là $\text{diag}(Szz^H S^H)$. Bằng cách lựa chọn $x = Su$, sự đưa ra của công suất tạp nhiễu sau xử lý trên các chiều của S được kết hợp với z là $\text{diag}(Szz^H S^H) = 0$. SNR hoàn thiện đối với tín hiệu lỗi là hàm của SNR ban đầu và công suất của u mà là hằng số

đưa ra sự ràng buộc để ấn định ma trận ký hiệu. Tuy nhiên, công suất sau xử lý của mỗi lớp là hàm của công suất của $\mathbf{z}$ mà được đưa ra bởi $N_1 = \text{diag}(E\{\mathbf{z}\mathbf{z}^H\}) = \text{diag}((\mathbf{I} - \mathbf{S}^\dagger \mathbf{S})^2)$, giả sử rằng tổng công suất của tín hiệu truyền được chuẩn hóa. Một có thể thông báo rằng $\text{trace}\{(\mathbf{I} - \mathbf{S}^\dagger \mathbf{S})\}$ là hằng số, do đó, để giảm thiểu tổng tập nhiều biến đổi và sử dụng bất đẳng thức Cauchy-Schwarz, tất cả các giá trị theo vectơ N_1 là như nhau. Hơn nữa, các lớp khác nhau bởi $\text{diag}(\mathbf{S}^\dagger \mathbf{S}^H)$. Nói cách khác, không xem xét hiệu quả không tuyến tính của MPA, SNR hoàn thiện đối với tất cả các lớp được đưa ra bởi: $\gamma = \frac{\text{diag}(\mathbf{S}^\dagger \mathbf{S}^H)}{N_1 + N_0}$.

Trong phần trên, N_0 là tập nhiều sau xử lý thực tế và việc phân chia được thực hiện bởi từng thành phần. Lưu ý là tất cả các phép tính nêu trên chỉ là quan niệm và tính không tuyến tính của MPA sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác của phép tính. Vì MPA cố gắng giải mã các lớp, thực tế nó cố gắng làm giảm sự tác động của tập nhiều biến đổi N_1 trên tín hiệu truyền lỗi. Để MPA tập trung tốt hơn, nó sẽ cố gắng làm cho các công suất tín hiệu và các công suất tập nhiều của tất cả các lớp là gần nhau nhưng không giống nhau. Nhiều giá trị khác nhau dẫn đến hiệu quả rất khác nhau đối với các lớp khác nhau và các giá trị rất gần nhau dẫn đến khó khăn để MPA tập trung một cách thích hợp. Sau sự tập hợp của thuật toán MPA, hệ số trội trong phân biệt hiệu suất của các lớp khác nhau là các công suất của chúng được đo bởi $\text{diag}(\mathbf{S}^\dagger \mathbf{S}^H)$. Các phép tính nêu trên thể hiện ba yếu tố: (1) sự nâng cao tập nhiều lỗi gây ra bởi ký hiệu sẽ được làm giảm để nâng cao hiệu suất của tất cả các lớp; (2) hiệu suất của các lớp riêng biệt bị tác động bởi công suất sau xử lý thực tế được thể hiện bởi $\text{diag}(\mathbf{S}^\dagger \mathbf{S}^H)$; và (3) toàn bộ lưu lượng của mã thu được khi các giá trị của tập nhiều biến đổi vectơ là gần với nhau (nhưng không gần quá) và công suất thực tế trên mỗi lớp là cũng như nhau. Có thể áp dụng các tỉ lệ mã FEC khác nhau tới các lớp khác nhau dựa vào công suất tín hiệu hiệu quả của chúng để tối đa hóa tổng lưu lượng.

Đối với hiệu suất SCMA, hiệu suất của mã SCMA có thể được đánh giá qua sự mô phỏng mức liên kết. Tuy nhiên, khi tiếp cận theo cách khác, kỹ thuật đo

thị EXIT cũng được thích ứng đối với sự đánh giá mã SCMA. Đồ thị EXIT cũng được sử dụng để xác nhận tính hợp lệ của hệ phương pháp thiết kế được đề xuất đối với các mã SCMA. Đồ thị EXIT được sử dụng như phương tiện ấn định và dự báo hiệu suất liên quan của các mã SCMA.

Liên quan đến hệ phương pháp đánh giá đồ thị EXIT. Các thuật toán truyền tin cây nằm trên tập hợp của các sự suy xét trong số các nút khác nhau ở đó bộ giải mã tối ưu là không thể trên thực tế. LDPC, các mã turbo, LDS và SCMA là các ví dụ về các hệ thống, ở đó việc truyền tin cây là thuật toán có thể dùng được để giải mã. Các hệ thống này được mô tả bởi nhiều nút từ các loại giống nhau hoặc khác nhau mà nó trao đổi thông tin và ở mỗi lần lặp lại cố gắng ứng dụng các đặc tính mã phụ thuộc. Ví dụ, mã turbo được làm mẫu bởi hai mã thành phần mà nó trao đổi tập hợp lớn của thông tin. Thông tin được đan xen/giải đan xen để duy trì một vài mức độc lập trong số các vị trí liên kề. Đối với LDPC, mã được mô tả bởi đồ thị hai nhánh, ở đó các nút kiểm tra và các nút thay đổi trao đổi thông tin và biểu đồ được thiết kế sao cho các vòng lặp ngắn là hiếm/không tồn tại để duy trì tính độc lập thông tin trong số các mép được kết nối với nút như nhau.

Đồ thị EXIT là phương tiện rất ảnh hưởng và gây chú ý để xây dựng và dự đoán hiệu suất của các mã như vậy. Đối với mã rất dài và với tính độc lập thông tin ở mỗi nút, một có thể tạo mẫu mỗi thành phần dưới dạng hàm trong đó nó kết hợp thông tin được đưa ra bởi các nút khác với thông tin nội tại của nó và gửi thông tin lại tới các nút này. Mỗi nút có thể được mô tả bởi hàm truyền, ở đó thông tin đầu ra ngoại lai trung bình là hàm của thông tin đầu ra ngoại lai trung bình của nó. Đồ thị EXIT sau đó dự đoán xem bộ giải mã có khả năng tập hợp sau khi số lượng hợp lý của các bước lặp giữa hai nút hay không. Nhờ mô tả hàm truyền của một nút và hàm truyền được nhân bản của nút khác đối với đường $Y = X$, mã có khả năng tập trung nếu hai hàm số truyền không xung đột. Hơn nữa, khe hẹp giữa đường cong càng rộng đối với tính nguyên vẹn của nó, việc tập hợp của bộ giải mã càng có khả năng và càng nhanh hơn.

SCMA là ví dụ về các mã như vậy mà có thể được biểu diễn bởi biểu đồ hai nhánh ở đó các nút lớp trao đổi thông tin với các nút tài nguyên. Đối với mã này, tác giả nghiên cứu đồ thị EXIT để dự báo hiệu quả và nghiên cứu các tiêu chuẩn đưa ra. Đáng tiếc là, vì mã biểu đồ là rất nhỏ so với các đối tác LDPC của nó, đồ thị EXIT là rất không chính xác trong việc dự báo tập hợp khi (i) thông tin là hoàn toàn không độc lập do các kích thước vòng lặp ngắn, và (ii) độ dài mã là nhỏ và luật của các số lớn không áp dụng. Tuy nhiên, việc nghiên cứu đồ thị EXIT đối với các mã này có thể dẫn đến việc so sánh các thiết kế khác nhau cũng như một vài dụng cụ để ấn định các mã như vậy.

Liên quan đến đồ thị EXIT cho SCMA. SCMA gồm hai nút thành phần, nút lớp và các nút tài nguyên. Ở mỗi nút lớp, thông tin mang biểu diễn nút chùm như nhau và trong mỗi nút tài nguyên, các điểm chùm được kết hợp với nhiều lớp là đan xen với nhau. Nút tài nguyên ứng dụng thông tin nội tại của nó mà là tín hiệu phức hợp thu được với thông tin ngoại lai của nó trên các lớp khác để ước định thông tin ngoại lai đầu ra trên mỗi trong số các lớp. Trong nút lớp, thông tin nội tại mà là thông tin ưu tiên về các lớp được thiết đặt bởi bộ mã hóa hoặc từ bộ giải mã vòng lặp bên ngoài được kết hợp với thông tin ngoại lai để xác định thông tin về lớp cũng như thông tin ngoại lai quay lại các nút tài nguyên. Trong phần phụ lục, cách thức để tạo mẫu thông tin đầu vào và đầu ra được mô tả. Việc tạo mẫu như vậy là không duy nhất và sự lựa chọn đúng sẽ tương tự các tính cơ động của thông tin trao đổi trong mã. Mỗi liên kết trong SCMA có thể mang đến thông tin nhiều nhất trong chùm, mà theo nghiên cứu của tác giả được thiết đặt tới hai bit. Một bit có thể thông báo là LDPC không giống và các mã turbo ở đó vai trò của mã là để đảm bảo tất cả các bit thông tin tập trung, SCMA là không được yêu cầu cũng không thể thực hiện như vậy. Lý do là ở mỗi nút tài nguyên, ngay cả khi có đầy đủ 2-bit thông tin ngoại lai cho tất cả các mép khác, tạp nhiễu vẫn tồn tại và dẫn đến thấp hơn thông tin ngoại lai hoàn hảo ở đầu ra của các nút tài nguyên. Tuy nhiên, không có kết quả đưa ra vì bộ giải mã SCMA là theo sau bởi bộ giải mã (các bộ giải mã) FEC và nó yêu cầu thông tin đầu vào mà lớn hơn một chút so với tỉ lệ mã

của nó. Ví dụ với tỉ lệ mã là $1/2$, một yêu cầu chỉ 1 bit trên mỗi nút lớp thông tin ở đầu ra để thỏa mãn bộ giải mã FEC.

Để đạt được điều này, ba thành phần có thể được sử dụng: (i) tạo mô hình bộ truyền EXIT ở nút lớp, (ii) bộ truyền EXIT ở nút tài nguyên, và (iii) thông tin đầu ra ở mỗi lớp. Ở đây, thuật toán được đưa ra để tạo ra thông tin nêu trên và dự báo hiệu suất của mã.

Phần dưới đây liên quan đến việc tạo ra đồ thị EXIT dùng cho SCMA. Trong khi duy trì tính tổng quát của thuật toán, tác giả sáng chế sử dụng ví dụ về SCMA với bốn tài nguyên và sáu lớp, ở đó mỗi lớp được kết nối với hai nút tài nguyên và mỗi nút tài nguyên là sự chồng lấp của bốn lớp. Giả sử rằng số lượng của các điểm trong chùm là bốn mà nghĩa là lên đến hai bit của thông tin được mang trên mỗi mép. Tác giả sáng chế sử dụng SISO kênh AWGN để tạo ra đồ thị EXIT cho các nút tài nguyên. Đối với SCMA được đưa ra với biểu đồ hệ số đưa ra, tập hợp chùm và tập toán tử, thủ tục để tạo ra đồ thị EXIT cho các nút tài nguyên là như sau: (1) Thiết đặt mức nút tài nguyên tập nhiễu (N_0) theo giá trị SNR làm việc. Giá trị này bị tác động bởi tỉ lệ mã của FEC; (2) ở mỗi trong số các nút tài nguyên (4 trong ví dụ cụ thể này), thiết đặt mức công suất đối với mỗi mép trong biểu đồ hệ số, dựa vào việc thiết đặt công suất của nút lớp được liên kết với nút tài nguyên đó. Chi tiết về cách thức để thiết đặt các mức công suất được giải thích ở phần phụ lục; (3) Thiết đặt khoảng mức tập nhiễu phụ (N_1) để tạo mẫu các mức khác nhau của thông tin ngoại lai đầu vào. Khi N_1 là rất lớn, không có thông tin ngoại lai phù hợp. Các mức tập nhiễu phụ rất nhỏ nghĩa là thông tin ngoại lai hoàn hảo (2-bit trong ví dụ) là phù hợp ở đầu vào của mép. Lượng tử hóa khoảng của mức tập nhiễu phụ trong vector. Tiếp tục thủ tục với mục nhập thứ nhất trong vector; (4) Đối với mỗi lớp, lựa chọn một trong số của tập hợp chùm theo khả năng xảy ra chùm ($1/4$ cho mỗi trong số 4 điểm trong chùm trong ví dụ này); (5) Đối với mỗi nút tài nguyên, tạo ra tập nhiễu Gauss thu được dựa vào mức tập nhiễu kênh N_0 ; (6) Đối với mỗi mép ở mỗi nút tài nguyên, sử dụng các việc thiết đặt công suất ở bước 2 và mức tập nhiễu phụ được lựa chọn N_1 , tạo ra bộ 4 tập hợp của các khả

năng như được giải thích ở phần phụ lục; (7) Tìm kiếm thông tin ngoại lai đầu vào trung bình cho tất cả các mép ở biểu đồ hệ số, sau đó lưu trữ nó là X ; (8) Thực hiện khả năng ngoại lai đầu ra 4 tập hợp cho mỗi trong số các mép trong biểu đồ hệ số. Trong ví dụ này, 12 giá trị thông tin ngoại lai đầu ra được tạo ra; (9) Tìm kiếm thông tin ngoại lai đầu ra được đưa ra bởi mỗi trong số 4 tập hợp các khả năng xảy ra, sau đó lưu trữ nó là Y_1 đến Y_L . $L = Kd_f$ là số lượng của các mép trong biểu đồ hệ số (12 theo ví dụ); (10) Lặp lại các bước 4 đến 9 trong nhiều lần (1000 như một ví dụ); (11) Tính trung bình thông tin đầu vào (X) và thông tin đầu ra (Y) trên tất cả các lần lặp lại. Lưu trữ nó trong $\bar{X}$ và $\bar{Y}_1$ đến $\bar{Y}_L$; (12) Đối với mỗi trong số các nút thay đổi, kết hợp thông tin ngoại lai đầu ra (như được giải thích ở phần phụ lục) để tìm kiếm thông tin ngoại lai đầu ra Z_1 đến Z_J , ở đó J là số lượng của các lớp; (13) Lặp lại các bước 4 đến 12 đối với tất cả các giá trị của vector tap nhiễu phụ.

Các giá trị của Y đối với X biểu diễn cách thức nút tài nguyên có thể ứng dụng thông tin ngoại lai. Đường cong cao hơn dự báo tập hợp tin cậy hơn và nhanh hơn của thông tin. Z giá trị dự báo cách thức các lớp khác nhau hoạt động khi thuật toán MPA tập trung.

Thủ tục sau đây có thể được sử dụng để ước định các hàm số truyền cho các nút lớp. Trong ví dụ đơn giản về các nút lớp với hai nút và không có thông tin ưu tiên, hàm truyền chỉ là $Y = X$ đường: (1) ở mỗi trong số các nút lớp (6 trong ví dụ này), thiết đặt mức công suất đối với mỗi mép trong biểu đồ hệ số, dựa vào việc thiết đặt công suất của nút lớp được liên kết với nút tài nguyên đó. Chi tiết về cách thức để thiết đặt các mức công suất được giải thích ở phần phụ lục; (2) Thiết đặt khoảng mức tap nhiễu phụ (N_1) để tạo mẫu các mức khác nhau của thông tin ngoại lai đầu vào. Khi N_1 là rất lớn, không có sẵn thông tin ngoại lai phù hợp. Các mức tap nhiễu phụ rất nhỏ nghĩa là thông tin ngoại lai hoàn hảo (2-bit theo ví dụ) là sẵn có ở đầu vào của mép. Lượng tử hóa khoảng của mức tap nhiễu phụ trong vector. Tiếp tục thủ tục với mục nhập thứ nhất trong vector; (3) Đối với mỗi lớp, lựa chọn một trong số của tập hợp chùm theo khả năng xảy ra chùm (1/4 đối với mỗi trong số 4 điểm trong chùm trong ví dụ này); (4) Đối với mỗi mép ở mỗi nút lớp, sử

dụng các việc thiết đặt công suất ở bước 2 và mức tạp nhiễu phụ được lựa chọn N_1 , tạo ra 4 tập hợp của các khả năng xảy ra như được giải thích ở phần phụ lục; (5) Tìm kiếm thông tin ngoại lai đầu vào trung bình đối với tất cả các mép ở biểu đồ hệ số và sau đó lưu trữ nó là X ; (6) Thực hiện khả năng ngoại lai đầu ra 4 tập hợp đối với mỗi trong số các mép trong biểu đồ hệ số. Trong ví dụ này, 12 giá trị thông tin ngoại lai đầu ra được tạo ra; (7) Tìm kiếm thông tin ngoại lai đầu ra được đưa ra bởi mỗi trong số 4 tập hợp các khả năng xảy ra, sau đó lưu trữ nó là Y_1 đến Y_L . $L = Kd_f$ là tổng số lượng của các mép trong biểu đồ hệ số (12 theo ví dụ); (8) Lặp lại các bước 3 đến 7 trong nhiều lần (1000 như một ví dụ); (9) Tính trung bình thông tin đầu vào (X) và thông tin đầu ra (Y) trên tất cả các lần lặp lại. Lưu trữ nó trong $\bar{X}$ và $\bar{Y}_1$ đến $\bar{Y}_L$; (10) Lặp lại các bước 3 đến 9 đối với tất cả các giá trị của vectơ tạp nhiễu phụ.

Các giá trị của Y đối với X biểu diễn cách thức nút lớp trao đổi thông tin trong số các mép trong cùng nút lớp. Đường cong cao hơn dự báo tập hợp tin cậy hơn và nhanh hơn của thông tin. Vì thông tin ngoại lai đầu vào đối với nút lớp là đầu ra của nút tài nguyên và ngược lại, thông thường, đồ thị EXIT cho các nút này được đối xứng dọc theo đường $Y = X$.

Liên quan đến việc dự báo hiệu suất và đánh giá đồ thị EXIT. Phần mô tả sau đây liên quan đến hệ phương pháp đánh giá đồ thị EXIT, và trong một vài trường hợp đến hệ phương pháp đánh giá đồ thị EXIT đối với mã đơn giản với biểu đồ hệ số ví dụ. Trong phần dưới đây, kênh được giả sử là SISO AWGN với SNR là 8 dB.

Liên quan đến đồ thị EXIT dòng cho LDS. Trong LDS, các điểm chùm đơn giản được lấy từ các điểm QPSK và các ký hiệu là như sau:

$$\mathbf{S}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 & i & 0 \\ 1 & 0 & i & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 & i & 0 & 1 \\ i & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Đối với ký hiệu mã 1, các hàm số truyền ngoại lai cho các nút tài nguyên của LDS được thể hiện trong các đường cong dưới đây. Như có thể thấy được trên

Fig.13, thông tin đầu ra ở tất cả các nút là như nhau. Điều này không ngạc nhiên khi tất cả các mép trong LDS trải qua cùng chùm và mức công suất. Như được nêu trên, hàm truyền dùng cho nút lớp với hai mép vừa mới trao đổi thông tin (nghĩa là đường $Y = X$). Đường cong này cắt với đường $Y = X$ vào khoảng 1,2 bit xảy ra với LDS cỡ rất lớn, mã sẽ tập trung tới khoảng 1,2 bit của thông tin trên mỗi mép. Tập hợp của thông tin được thể hiện bởi các mũi tên trên đồ thị EXIT là thông tin được trao đổi giữa hàm và các nút lớp. Lưu ý là việc giả sử như vậy không giữ đối với mã gồm chỉ 4 tài nguyên và 6 lớp. Fig.14 thể hiện thông tin đầu ra cho cùng thông tin ngoại lai.

Fig.14 thể hiện thông tin đầu ra ở đầu ra của các nút lớp. Đối với LDS cỡ lớn, thông tin ngoại lai ở các mép sẽ nâng lên đến 1,2 bit, mà nó gợi ý rằng thông tin ở đầu ra sẽ cao bằng 1,6 bit đối với SNR là 8 dB và bởi vậy tỉ lệ mã là nhỏ hơn 0,8 sẽ đủ cho giải mã. Lưu ý là trong SNR là 8 dB dung lượng đối với mỗi liên kết là 1,9132 bit mà chỉ cao hơn 20% so với tỉ lệ dự đoán bởi đồ thị EXIT. Mặt khác, việc giả sử như vậy không giữ ở đây.

Đối với LDS với ký hiệu 2 như sau: $\mathbf{S}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & e^{\frac{j\pi}{3}} & 0 & e^{\frac{j2\pi}{3}} & 0 \\ e^{\frac{j\pi}{3}} & 0 & 1 & 0 & 0 & e^{\frac{j2\pi}{3}} \\ 0 & e^{\frac{j2\pi}{3}} & 0 & e^{\frac{j\pi}{3}} & 0 & 1 \\ e^{\frac{j2\pi}{3}} & 0 & 0 & 1 & e^{\frac{j\pi}{3}} & 0 \end{bmatrix}$

Các đường cong trên Fig.15 và Fig.16 biểu diễn các đồ thị EXIT. Có thể lưu ý là đồ thị EXIT dự báo thông tin ngoại lai để tăng đến khoảng 1,5 bit trên mỗi mép và thông tin đầu ra tới khoảng 1,8 bit, mà là 6% so với dung lượng. Như được nêu trên, các giả sử của mã lớn và các dòng độc lập không giữ ở đây.

Đối với đồ thị EXIT dùng cho SCMA. Có nhiều thông số ảnh hưởng đến hiệu suất của SCMA. Chúng bao gồm sự lựa chọn chùm phức, hiệu quả của của sự tối ưu, lựa chọn hoán vị đúng, gán các nút tài nguyên khác nhau tới các nút lớp, v.v.. Trong phần dưới đây tác giả nghiên cứu đến hiệu quả của các thành phần này.

Liên quan đến hiệu quả của các toán tử pha và liên hợp. Phần dưới đây sử dụng chùm đa hướng được tối ưu hóa để đánh giá đồ thị EXIT. Đối với mỗi nút tài

nguyên với ba mép, bốn tùy chọn là có thể: (i) tất cả ba mép được lựa chọn từ hàng thứ nhất trong ma trận chòm, (ii) hai mép từ hàng thứ nhất và một từ hàng thứ hai, (iii) hai từ hàng thứ hai và một từ hàng thứ nhất, và (iv) tất cả ba mép là từ hàng thứ hai. Ở đây biểu diễn các nút tài nguyên này bởi các loại $T_1, \dots, T_4$.

Chức năng truyền thông tin ngoại lai đối với bốn loại của các nút tài nguyên này mà lần lượt không có hoặc có các sự tối ưu hóa pha/liên hợp được thể hiện trên Fig.17 và Fig.18.

Từ các hình vẽ này, các kết luận sau có thể được đưa ra: (1) thông tin ngoại lai đầu ra ở đầu ra của các nút tài nguyên là cao hơn khi các toán tử pha/liên hợp được tối ưu hóa. Điều này thậm chí có thể được thấy rõ hơn khi có ít thông tin ngoại lai thích hợp cho các lớp khác (nghĩa là phần bên trái của các đường cong); (2) Điều này dẫn đến tập hợp tốt hơn của thuật toán MPA với pha và số liên hợp được tối ưu hóa; (3) Đối với các nút mà tất cả các điểm chòm đều từ cùng hàng (nghĩa là các loại T_1 và T_4 , sự khác nhau là cao hơn; (4) thông tin ngoại lai đầu ra đối với các mép sử dụng hàng thứ nhất của các chòm là cao hơn so với các thông tin khác. Điều này bởi thực tế là công suất lớn hơn được truyền qua các liên kết đó; (5) Ở phía tay phải của các đường cong, ở đó có thông tin hoàn hảo về sự giao thoa ở nút tài nguyên, tất cả các bài toán đó là công suất được gán tới liên kết đó.

Liên quan đến việc đánh giá mức liên kết. Các kết quả mô phỏng mức liên kết được thể hiện để chứng minh hệ phương pháp thiết kế được đề xuất dùng cho SCMA và LDS. Ngoài ra, hiệu suất của các mã SCMA và LDS được thiết kế được so sánh với các ký hiệu LDS tốt nhất đã tồn tại. Suốt toàn bộ các kết quả mô phỏng được biểu diễn dưới đây, các thông số cơ bản được thiết đặt như sau: $N = 2$, $K = 4$, $J = 6$, $d_f = 3$.

Liên quan đến hiệu quả của chòm dùng cho SCMA. Đối với chòm đa chiều miền thực đưa ra, sự tác động của thay đổi công suất chiều của chòm miền phức được thể hiện trên Fig.19a-b. Như được thể hiện trên Fig.19a-b, sự thay đổi công suất cao hơn nâng cao toàn bộ hiệu suất.

Liên quan đến hiệu quả của toán tử hoán vị trên SCMA. Sự tác động của toán tử hoán vị về hiệu suất của mã SCMA được biểu diễn trên Fig.20. Các kết quả này xác nhận rằng các đa thức giao thoa sẽ có số lượng có thể nhiều như của các đơn thức để đem lại ưu điểm về sự biến đổi hướng công suất của chùm mẹ bằng cách làm tăng hiệu quả gần xa ở các nút tài nguyên.

Liên quan đến hiệu quả của các toán tử pha/liên hợp dùng cho SCMA. Fig.21 minh họa sự tác động của các toán tử pha/liên hợp về hiệu suất của mã SCMA. Nói chung, sự tác động của sự tối ưu toán tử là tích cực, nhưng đối với trường hợp cụ thể này lợi ích là không cao.

Như được giải thích ở trên, có hai cách tiếp cận để tối ưu hóa các toán tử pha/liên hợp: (i) sự tối ưu hóa từng bước, và (ii) tối ưu hóa chồng lắp. Fig.22 so sánh hai tiêu chuẩn này. Trên hình vẽ này, hai sự tiếp cận có thể hướng đến cách xử lý khác nhau của các mã được thiết kế. Mã mà được thiết kế dựa vào tiêu chuẩn từng cặp thể hiện hiệu quả đồng nhất hơn dọc theo nhiều thành phần người sử dụng khác nhau.

Liên quan đến sự tác động của sự phân bố toán tử dùng cho SCMA. Sự phân bố của các toán tử được tối ưu hóa tới các lớp đan xen của nút tài nguyên là sự đưa ra mà không thể được ghi rõ ràng. Đối với mã cơ sở SCMA, có 16 tùy chọn phân bố khác nhau. Fig.23 so sánh hiệu suất của 16 tùy chọn xét về tổng thể goodput. May mắn là, sự phân bố toán tử thể hiện sự tác động không đáng kể về hiệu suất tối đa của mã SCMA. Như được nêu trên, các toán tử pha/liên hợp được tối ưu hóa có thể là ngẫu nhiên hoặc theo thứ tự thủ công được phân phối tới các lớp đan xen.

Liên quan đến hiệu quả của thao tác đơn nhất miền thực dùng cho SCMA. Ma trận đơn nhất có thể được ứng dụng trên chùm miền thực đa hướng để thay đổi các đặc tính về hướng của các điểm trong khi duy trì các tính chất đa chiều (chẳng hạn như khoảng cách nhỏ nhất của các điểm chùm) của chùm không thay đổi. Sự biến đổi hướng công suất là ví dụ về đặc tính về hướng của chùm đa chiều. Ngoài ra, khoảng cách nhỏ nhất của các điểm trên mỗi chiều được thiết đặt là đặc tính về

hướng khác. Theo ví dụ được thể hiện trên Fig.24 ma trận đơn nhất thực được ứng dụng tới chùm miền thực đa hướng để tối đa hóa khoảng cách lớn nhất của các điểm theo mỗi chiều được thiết đặt trong khi duy trì khoảng cách nhỏ nhất của mỗi chiều được thiết đặt lớn hơn 0,1. Ma trận đơn nhất được tối ưu hóa bằng cách tìm kiếm ngẫu nhiên. Rõ ràng là, toán tử ma trận đơn nhất miền thực có thể nâng cao toàn bộ hiệu suất của mã SCMA.

Liên quan đến sự so sánh của các mã SCMA xét về toàn bộ goodput. Tổng lượng goodput của các mã SCMA và sự tác động của các thông số tối ưu hóa khác nhau được thể hiện trên Fig.25. Sự so sánh của các đường cong goodput xác nhận hiệu quả của việc tiệm cận tối ưu đa giai đoạn được đề xuất theo báo cáo này.

Liên quan đến việc tối ưu hóa ký hiệu đối với LDS. Một ví dụ về các ký hiệu LDS thông thường có thể được thấy trong “*Multiple Access with Low-Density Signatures (đa truy cập với các ký hiệu mật độ thấp)*,” Huawei Technologies Thụy Điển, IEEE GLOBECOM 2009, mà được đưa vào đây nhằm viện dẫn nếu được tái tạo theo tính nguyên vẹn của nó. Hiệu suất goodput của các ký hiệu được tối ưu hóa LDS (theo sáng chế này) và các ký hiệu LDS thông thường (được thấy trong ấn phẩm IEEE nêu trên) được so sánh trên Fig.26. Như đối ngược với SCMA, sự tác động của sự phân bố pha rõ ràng là lớn nhờ so sánh hiệu quả phân bố đối với các pha được tối ưu hóa từng bước. Với sự phân bố toán tử tốt, cả tiêu chuẩn chồng lấp và tiêu chuẩn tối ưu hóa từng bước gần như thực hiện giống hệt nhau.

Bảng 3. Công suất tạp nhiễu và tín hiệu sau xử lý của các ký hiệu LDS khác nhau

		Lớp 1	Lớp 2	Lớp 3	Lớp 4	Lớp 5	Lớp 6
Ký hiệu rất tối	Tạp nhiễu	0,191	0,035	0,141	0,141	0,035	0,191
	Tín hiệu	0,609	1,922	0,844	0,844	1,922	0,609
Branislav	Tạp nhiễu	0,171	0,171	0,019	0,171	0,096	0,096
	Tín hiệu	0,642	0,642	2,490	0,849	1,413	1,413
Phân bố từng cặp tối	Tạp nhiễu	0,141	0,141	0,250	0,000	0,141	0,141
	Tín	0,844	0,844	0,375	3,000	0,844	0,844

	hiệu						
Phân bố từng cặp tốt	Tập nhiều	0,156	0,117	0,156	0,056	0,156	0,056
	Tín hiệu	0,663	0,895	0,742	1,440	0,742	1,440
Phân bố chồng lấp tốt	Tập nhiều	0,065	0,146	0,146	0,065	0,115	0,149
	Tín hiệu	1,301	0,770	0,770	0,301	0,888	0,686

Lý do phía sau cách phản ứng của các tín hiệu có thể được giải thích dựa vào quy trình xử lý tập nhiều/tín hiệu tương ứng của chúng như được liệt kê trong Bảng 3. Bảng này có thể dự báo hiệu suất liên quan của những người sử dụng của ma trận ký hiệu. Ví dụ, đối với ký hiệu thứ nhất được thiết đặt với hiệu quả tồi, phân tích tập nhiều/tín hiệu dự báo rằng UE 2 và 5 có hiệu quả tốt nhất với công suất tín hiệu sau xử lý cao nhất và công suất tập nhiều thấp nhất. Trong khi đó, UE 1 và 6 sẽ có hiệu quả tồi do SINR sau xử lý thấp nhất của chúng. Việc dự báo này có thể được xác nhận bởi các kết quả mô phỏng mức liên kết được thể hiện trên Fig.27(a).

Theo bảng, các ký hiệu Branislav có sự phân phối tín hiệu/tập nhiều đồng nhất hơn dọc theo các lớp nhưng cho đến khi UE 3 thực hiện tốt hơn các UE khác như cũng có thể được thấy trên Fig.27(b). Bằng cách so sánh hai tập ký hiệu này, là có thể kết luận rằng tập ký hiệu đưa ra hiệu quả goodput tốt hơn nếu không có các khác nhau lớn trong số các mức công suất tín hiệu/tập nhiều của các lớp. Với khái niệm chung về sự phát hiện SIC, sự khác nhau rất nhỏ giữa các lớp có thể giúp nâng cao hiệu suất của việc phát hiện SIC mà sự khác nhau lớn thường dẫn đến tổn thất hiệu quả như được thể hiện đối với tập ký hiệu thứ nhất.

Sự tác động của sự phân bố pha về hiệu suất của LDS có thể được thấy trong Bảng 3 và Fig.28(a)-(b) đối với các pha được tối ưu hóa từng bước. Với việc phân bố toán tử pha tốt, các mức công suất tín hiệu/tập nhiều sau xử lý của tập ký hiệu được cân bằng và vì vậy tổng hiệu suất được nâng cao.

Liên quan đến hiệu suất của SCMA với LDS. Trong lý thuyết SCMA sẽ thực hiện tốt hơn LDS do lợi ích tạo hình của chùm đa hướng. Tuy nhiên, lợi ích

tiềm năng là khả thi nếu mã SCMA tối ưu hoặc cận tối ưu là khả thi với tiếp cận thiết kế hợp lý. Fig.29 so sánh hiệu suất của Branislav LDS như đường cơ sở với SCMA tốt nhất và LDS tốt nhất theo tác giả sáng chế. Cả giải pháp LDS và giải pháp SCMA của tác giả đều thực hiện tốt hơn đường cơ sở nhưng lợi ích của SCMA trên cả LDS tốt nhất là không đáng quan tâm, đối với ví dụ cụ thể này. SCMA là tiếp cận điều biến đa truy cập mới được trợ giúp mà nó có các ưu điểm của CDMA và LDS cũng như một số lợi ích tiềm năng về lợi ích mã hóa miền phức. Mặc dù cấu trúc của mã được xác định tốt, thiết kế và việc tối ưu hóa của mã là phần tạo kênh. Hệ phương pháp thiết kế tối ưu phụ được đề xuất ở đây dựa vào việc tiệm cận tối ưu đa giai đoạn. Ngoài ra, hệ phương pháp đánh giá nhanh và hiệu quả được phát triển dựa vào đồ thị kỹ thuật EXIT để xây dựng các mã SCMA.

Được thể hiện rằng LDS là trường hợp đơn giản đặc biệt của cấu trúc SCMA. Do đó, hệ phương pháp thiết kế được phát triển của SCMA được tái sử dụng để xây dựng các ký hiệu LDS là cách có hệ thống. Các kết quả mô phỏng được đưa ra minh họa hiệu quả của tiếp cận thiết kế đối với cả SCMA và LDS.

Liên quan đến việc tạo mẫu đồ thị EXIT. Thuật toán truyền tin cây nằm trên tập hợp của độ tin cậy trong số các nút như thông tin được đưa qua trở lại và về phía trước giữa các nút trong biểu đồ chẳng hạn như LDPC, mã turbo, LDS, v.v. Đồ thị truyền thông tin ngoại lai (EXIT) được đưa ra bởi Stephen ten Brink (2001) và được phát triển bởi nhiều người khác để thiết kế, dự báo hiệu quả và so sánh các nút khác nhau. Trong đồ thị EXIT, độ tin cậy trung bình sau mỗi nút là hàm của độ tin cậy trung bình được đưa vào tới cùng nút cho thông tin nội tại đưa ra được mô tả và dự báo xem các kết quả lặp lại theo cách hiệu tốt hơn của thông tin được mã hóa hay không.

Liên quan đến việc tạo mẫu đồ thị EXIT, để tìm kiếm hàm truyền đối với nút bất kỳ, cần tạo mẫu thông tin ngoại lai được đưa qua tới nút với mô hình thông kê hợp lý và sau đó xem xét các thông kê của thông tin đầu ra ở đầu ra của nút. Bộ giải mã SCMA gồm các nút lớp và các nút tài nguyên. Các nút tài nguyên cũng thu thông tin nội tại do tín hiệu phức hợp thu được được đưa qua qua kênh. Thông tin

ngoại lai được đưa qua tới mỗi nút dùng cho cả lớp và các nút tài nguyên gồm N tập hợp của các khả năng xảy ra (với $N = 4$ cho các nút 2 bit). Các đầu ra cũng là của cùng cấu trúc và thông tin được mang bởi các khả năng xảy ra này (qua nhiều N tập hợp) đơn giản là entropi được xác định bởi các khả năng xảy ra này. Trong phần dưới đây thủ tục để trích đồ thị EXIT đối với mỗi thành phần được xem xét. Để đơn giản, ở đây tập trung vào ma trận SCMA gồm bốn nút tài nguyên và sáu nút lớp. Giả sử rằng mỗi nút tài nguyên bao gồm ba ký hiệu và mỗi nút lớp kết nối tới hai nút tài nguyên. Ở đây cũng giới hạn việc trích đồ thị EXIT tới kênh AWGN SISO. Các sự giới hạn như vậy không hạn chế nguyên tắc chung của cách tiếp cận.

Liên quan đến thông tin nội tại mô hình ở các nút tài nguyên, đầu vào tới nút tài nguyên như thông tin ngoại lai là tín hiệu phức hợp thu được mà nó bao gồm sự chồng lấp của ba tín hiệu được truyền cộng với AWGN. Để tạo mẫu đó, đối với mỗi khoảng cách đầu vào, ba tập đầu vào có kích thước 2 bit được tạo ra ngẫu nhiên. Sau đó tín hiệu thu được giả sử SNR đưa ra được tính toán. Sự thay đổi của tập nhiễu là $N_0 = P/SNR$, ở đó P là tổng công suất truyền và SNR là SNR cố định được đưa ra.

Liên quan đến việc tạo mẫu đồ thị EXIT 4 tập hợp khả năng ngoại lai đối với các nút tài nguyên, thông tin ngoại lai đối với các nút tài nguyên gồm bốn khả năng xảy ra được bắt buộc tới tổng trên một và được tương quan với điểm được truyền thực tế. Ở đây, đối với mỗi điểm trong chùm, tác giả mô hình hóa khả năng của nó với khả năng trong số truyền BPSK trên mô hình AWGN. Nhằm mục đích này, giả sử có kênh AWGN với công suất truyền P được kết hợp với công suất thông tin ngoại lai đến và công suất tạp nhiễu N_1 . Sẽ thông báo rằng giá trị là N_1 không có gì để thực hiện với công suất tạp nhiễu thực ở kênh và là chỉ một phương tiện để tạo ra N tập hợp của SNR với các mức khác nhau của thông tin. Đối với công suất được truyền P sẽ được thảo luận dưới đây. Công suất tạp nhiễu lớn hơn trong mô hình dẫn đến mức thấp hơn của thông tin ở đầu vào và ngược lại.

Đối với tất cả N điểm trong chùm, tác giả tạo ra việc truyền nhị phân qua kênh AWGN. Đối với điểm được truyền thực (một điểm được truyền khi mô hình

hóa thông tin nội tại), giả sử +1 được truyền và đối với tất cả $N - 1$ điểm khác, giả sử -1 được truyền. Do đó, LLR nhận được từ điểm được truyền thực là $= \frac{4y\sqrt{P}}{N_1}$, ở đó y là $\sqrt{P} + n$ đối với điểm được truyền thực và $-\sqrt{P} + n$ đối với tất cả các điểm khác. Điều này đưa ra vector của các LLR với kích thước N . Mỗi LLR có thể sau đó được biến đổi thành khả năng là $= \frac{1}{1+e^{-LLR}}$. Các khả năng xảy ra nhận được sau đó được chuẩn hóa để đáp ứng tổng ràng buộc. Entropi được biểu diễn bởi các khả năng xảy ra này được mô tả bởi $\sum -p \log_2 p$. Cuối cùng, bằng cách lặp lại thủ tục này qua nhiều lần thực hiện của các khả năng xảy ra, thông tin ngoại lai trung bình ở đầu vào của các nút tài nguyên được xác định. Thông tin ngoại lai trung bình là sau đó $\log_2 M + E\{\sum p \log_2 p\}$. Xin lưu ý là đối với nút tài nguyên được kết nối với ba nút lớp, mức thông tin ngoại lai không cần như nhau và ta có thể gán các mức tap nhiều khác nhau (N_1) tới mô hình được mô tả ở đây. Tuy nhiên, vì thông tin ngoại lai dùng cho một liên kết không phải hàm của thông tin đến từ liên kết như nhau, tập trung vào một liên kết như đầu ra, tác giả cần tạo ra đầu vào ngoại lai đối với chỉ hai liên kết khác. Nói cách khác, đồ thị EXIT dùng cho một đầu ra cụ thể đối với SNR được đưa ra ở kênh là hàm với hai đầu vào và một đầu ra. Tuy nhiên, nhằm đơn giản hóa đồ thị cách nhìn EXIT, tác giả sử dụng mức tap nhiều như nhau ở đầu vào và sử dụng thông tin trung bình của các đầu vào là thông tin đầu vào trung bình.

Liên quan đến việc tạo mẫu đồ thị EXIT 4 các tập hợp các khả năng ngoại lai cho các nút lớp. Các nút lớp trong SCMA không có thông tin nội tại trừ khi sự phân phối khả năng xảy ra chùm không đồng nhất được sử dụng. Khác với việc tạo ra của thông tin đầu vào là giống như vừa được mô tả đối với các nút tài nguyên. Tuy nhiên, cấu trúc thực sự của các nút lớp tạo nên sự dự báo của các hoạt động dễ dàng hơn. Trong nút lớp với M liên kết, mỗi liên kết ở đầu ra kết hợp thông tin ở đầu vào của tất cả các liên kết khác. Đối với đầu vào Gauss, nó làm giảm ngay tới MRC mà có nghĩa là SNR được đưa ra ở mỗi liên kết là tổng của SNR đầu vào ở mỗi liên kết. Nói cách khác, ta có thể giả sử rằng công suất ở đầu ra của mỗi

nút là tổng của công suất đầu vào đối với tất cả các nút khác. Hiện tượng này được sử dụng để gán công suất ở đầu vào của mô hình dùng cho các nút tài nguyên.

Với mô hình này, tác giả không cần mô tả một cách rõ ràng đồ thị EXIT của nút lớp, và đối với nút lớp 2 liên kết, thông tin ngoại lai đầu ra đối với mỗi nút, là thông tin ngoại lai đầu vào cho nút khác và ngược lại.

Liên quan đến mô hình để phân phối công suất cho đầu vào nút tài nguyên. Như được mô tả bên trên, đồ thị EXIT hoàn thiện đối với mỗi nút là hàm đa chiều. Để biểu diễn nó bởi hàm một chiều sẽ giả sử mối tương quan giữa các đầu vào khác nhau tới nút. Ở đây, tác giả sử dụng sự phân phối công suất cho các liên kết khác nhau để phân biệt giữa chúng. Ví dụ, nếu những người sử dụng khác nhau có các công suất tín hiệu khác nhau, điều này có thể được phản ánh theo sự phân phối công suất cho các đầu vào tới nút tài nguyên. Được nêu trên là đầu vào tới nút tài nguyên là đầu ra của các nút lớp và hàm EXIT mà tại đó là tổng của công suất đối với tất cả các thành phần khác theo ký hiệu tới người sử dụng đó. Do đó, mô hình này có thể gán công suất truyền cho các đầu vào khác nhau dựa vào công suất được phân phối đối với tất cả các điểm chùm khác cho dòng đó (không bao gồm mô hình trong câu hỏi) và phân biệt giữa những người sử dụng trong cùng nút tài nguyên.

Liên quan đến mô hình dùng cho việc phân phối công suất đối với đầu vào nút lớp. Thông tin ngoại lai đi ra khỏi nút tài nguyên là hàm của nhiều thứ, nhưng yếu tố quan trọng nhất là công suất của nó trên mỗi lớp đó trong tài nguyên đó. Do đó, việc phân bố công suất đối với đầu vào của nút lớp hoàn toàn tỉ lệ với công suất của lớp đó trong tài nguyên tương ứng.

Liên quan đến kết hợp khả năng ở các nút lớp. Kết quả của MPA dùng cho SCMA là N tập hợp khả năng xảy ra ở các nút lớp. Điều này được thực hiện bằng cách nhân tất cả thông tin ngoại lai các khả năng xảy ra ở nút lớp và bình thường hóa nó tới tổng của một. Để tạo mô hình này, tác giả mô hình hóa hệ thống với các kênh đối xứng nhị phân song song. Đối với mỗi liên kết tới nút lớp, thông tin ngoại lai được mô hình hóa bởi thông tin thu được từ $M = \log_2(N)$ BSC song song với

dung lượng bằng $C_l = I_l/M$ ở đó I_l là tổng thông tin ở đầu ra của các nút tài nguyên tương ứng thứ n được gắn vào nút lớp. Khi nút lớp được kết nối với nhiều liên kết, tác giả mô hình hóa nó nhờ có các kênh BSC độc lập song song. Dung lượng của kênh này được đưa ra bởi công thức dưới đây, giả sử rằng có L liên kết song song đều với khả năng lỗi là $0 \leq p_l \leq 1/2, l = 1, \dots, L$, ở đó $C_l = 1 + p_l \log_2(p_l) + q_l \log_2(q_l)$, và $q_l = 1 - p_l$

$$C = -M \left(\sum_{m=0}^{2^L-1} X_m \log_2(X_m) + \sum_{l=1}^L (1 - C_l) \right)$$

trong đó

$$X_m = \frac{\prod_{l=1}^L q_l^{1-a_{lm}} p_l^{a_{lm}} + \prod_{l=1}^L q_l^{a_{lm}} p_l^{1-a_{lm}}}{2}$$

và a_{lm} là bit ở vị trí thứ l của sự biểu diễn nhị phân L -bit của $m = 0, \dots, 2^L - 1$.

Fig.30 là sơ đồ khối của hệ thống xử lý mà có thể được sử dụng để thực hiện các thiết bị và các phương pháp được bộc lộ ở đây. Các thiết bị cụ thể có thể ứng dụng tất cả của các thành phần được thể hiện, hoặc chỉ tập hợp con của các thành phần, và các mức tích hợp có thể thay đổi từ thiết bị này đến thiết bị khác. Hơn nữa, thiết bị có thể chứa nhiều trường hợp của thành phần, chẳng hạn như nhiều bộ phận xử lý, các bộ xử lý, các bộ nhớ, các bộ truyền, các bộ thu, v.v.. Hệ thống xử lý có thể bao gồm bộ phận xử lý được lắp với một hoặc nhiều các thiết bị vào/ra, chẳng hạn như loa, micrô, chuột, màn hình cảm ứng, đệm phím, bàn phím, máy in, màn hình và loại tương tự. Bộ phận xử lý có thể bao gồm bộ xử lý trung tâm (CPU), bộ nhớ, thiết bị lưu trữ, bộ thích ứng video, và giao diện vào/ra (I/O interface) được kết nối với bus.

Bus có thể là một hoặc nhiều loại bất kỳ của một vài kiến trúc bus bao gồm bus bộ nhớ hoặc bộ điều khiển bộ nhớ, bus ngoại biên, bus video, hoặc tương tự. CPU có thể bao gồm loại bất kỳ của bộ xử lý dữ liệu điện tử. Bộ nhớ có thể bao gồm loại bất kỳ của bộ nhớ hệ thống chẳng hạn như bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên

tĩnh (SRAM), bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên động (DRAM), DRAM đồng bộ (SDRAM), bộ nhớ chỉ đọc (ROM), sự kết hợp của chúng, hoặc tương tự. Theo một phương án, bộ nhớ có thể bao gồm ROM để sử dụng khi khởi động (boot-up), và DRAM để lưu trữ chương trình và dữ liệu để sử dụng trong khi thực hiện các chương trình.

Thiết bị lưu trữ khối có thể bao gồm loại bất kỳ của thiết bị lưu trữ được cấu hình để lưu trữ dữ liệu, các chương trình, và thông tin khác và khi cần dữ liệu, các chương trình, và thông tin khác có thể truy cập được qua bus. Thiết bị lưu trữ khối có thể bao gồm, ví dụ, một hoặc nhiều trong số ổ đĩa trạng thái rắn, ổ đĩa cứng, ổ đĩa từ, ổ đĩa quang, hoặc tương tự.

Bộ thích ứng video và giao diện vào/ra cung cấp các giao diện tới các thiết bị vào và ra ngoại vi tới bộ phận xử lý. Như được minh họa, các ví dụ về các thiết bị vào và ra bao gồm màn hình được lắp với bộ thích ứng video và chuột/bàn phím/máy in được lắp với giao diện vào/ra. Các thiết bị khác có thể được lắp với bộ phận xử lý, và việc bổ sung hoặc ít hơn các thẻ giao diện có thể được ứng dụng. Ví dụ, giao diện nối tiếp chẳng hạn như bus nối tiếp toàn cầu (USB) (không được thể hiện) có thể được sử dụng để bố trí giao diện dùng cho máy in.

Bộ phận xử lý cũng bao gồm một hoặc nhiều giao diện mạng, mà có thể bao gồm các liên kết nối dây, chẳng hạn như cáp Ethernet hoặc tương tự, và/hoặc các liên kết không dây tới các nút truy cập hoặc các mạng khác nhau. Giao diện mạng cho phép bộ phận xử lý truyền thông với các bộ phận từ xa qua các mạng. Ví dụ, giao diện mạng có thể cung cấp truyền thông không dây qua một hoặc nhiều bộ truyền/các anten truyền và một hoặc nhiều bộ thu/các anten thu. Theo một phương án, bộ phận xử lý được lắp với mạng vùng cục bộ hoặc mạng diện rộng để xử lý dữ liệu và các sự truyền thông với các thiết bị từ xa, chẳng hạn như các bộ phận xử lý khác, Internet, các phương tiện lưu trữ từ xa, hoặc tương tự.

Fig.31 minh họa sơ đồ khối của một phương án của thiết bị truyền thông 3100, mà có thể là tương đương với một hoặc nhiều thiết bị (chẳng hạn, các UE, các NB, v.v.) được nêu trên. Thiết bị truyền thông 3100 có thể bao gồm bộ xử lý

3104, bộ nhớ 3106, giao diện di động 3110, giao diện không dây phụ 3112, và giao diện phụ 3114, mà có thể (hoặc có thể không) được bố trí như được thể hiện trên Fig.31. Bộ xử lý 3104 có thể là thành phần bất kỳ có thể thực hiện các phép tính và/hoặc các nhiệm vụ liên quan đến xử lý khác, và bộ nhớ 3106 có thể là thành phần bất kỳ có khả năng lưu trữ chương trình và/hoặc các lệnh dùng cho bộ xử lý 3104. Giao diện di động 3110 có thể là thành phần bất kỳ hoặc tập hợp của các thành phần cho phép thiết bị truyền thông 3100 truyền thông sử dụng tín hiệu di động, và có thể được sử dụng để thu và/hoặc truyền thông tin qua sự kết nối di động của mạng di động. Giao diện không dây phụ 3112 có thể là thành phần bất kỳ hoặc tập hợp của các thành phần mà nó cho phép thiết bị truyền thông 3100 truyền thông qua giao thức không dây không di động, chẳng hạn như Wi-Fi hoặc giao thức Bluetooth, hoặc giao thức điều khiển. Thiết bị 3100 có thể sử dụng giao diện di động 3110 và/hoặc giao diện không dây phụ 3112 để truyền thông với bất kỳ thành phần được cho phép không dây nào, chẳng hạn, trạm gốc, role, thiết bị di động, v.v.. Giao diện phụ 3114 có thể là thành phần bất kỳ hoặc tập hợp của các thành phần mà nó cho phép thiết bị truyền thông 3100 truyền qua giao thức phụ, bao gồm các giao thức nối dây. Trong các phương án, giao diện phụ 3114 có thể cho phép thiết bị 3100 truyền thông với thành phần khác, chẳng hạn như thành phần mạng cùng tuyến.

Sáng chế cũng mô tả các ví dụ sau đây

Ví dụ 1 Phương pháp thiết kế mã đa truy cập mã mật độ thấp (SCMA), phương pháp này bao gồm:

tạo ra các sổ mã điều chế đa chiều; và

tạo ra các sổ mã mật độ thấp từ các sổ mã điều chế đa chiều.

Ví dụ 2 Phương pháp theo ví dụ 1, trong đó mỗi sổ mã mật độ thấp bao gồm các từ mã mật độ thấp và trong đó các từ mã mật độ thấp khác nhau trong sổ mã mật độ thấp được kết hợp với các giá trị nhị phân khác nhau.

Ví dụ 3 Phương pháp theo ví dụ 1, trong đó mỗi từ mã trong các sổ mã mật độ thấp bao gồm các giá trị không phải không mật độ thấp sao cho từ mã tương ứng

có thể được phát hiện trong các từ mã được đa hợp theo thuật toán chuyển tin nhắn (MPA).

Ví dụ 4 Phương pháp theo ví dụ 1, trong đó mỗi số mã điều chế đa chiều được gán tới lớp được đa hợp khác nhau.

Ví dụ 5 Phương pháp thiết kế mã đa truy cập mã mật độ thấp (SCMA), phương pháp này bao gồm:

tạo ra các ma trận ánh xạ;

tạo ra ít nhất một chùm đa chiều;

tối ưu hóa một hoặc nhiều hoán vị, toán tử pha, và toán tử liên hợp; và

tạo ra các từ mã SCMA theo các ma trận ánh xạ, ít nhất một chùm đa chiều và một hoặc nhiều hoán vị, toán tử pha, và toán tử liên hợp.

Ví dụ 6 Phương pháp thiết kế mã ký hiệu mật độ thấp (LDS), phương pháp này bao gồm:

tạo ra các ma trận ánh xạ;

tối ưu một hoặc nhiều toán tử pha; và

tạo ra các ký hiệu LDS theo các ma trận ánh xạ, một hoặc nhiều toán tử pha và chùm tín hiệu.

Ví dụ 7 Phương pháp theo ví dụ 6, trong đó mỗi ký hiệu LDS được gán tới lớp được đa hợp khác nhau.

Trong khi các phương án của sáng chế này đã được mô tả dựa vào các phương án minh họa, phần mô tả này không được hiểu là giới hạn sáng chế. Các sự sửa đổi và các sự kết hợp khác nhau của các phương án minh họa, cũng như các phương án khác của sáng chế này, sẽ trở nên rõ ràng bởi người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật khi tham chiếu đến phần mô tả. Do đó, được dự định là các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo bao gồm bất kỳ sự sửa đổi hoặc các phương án nào như vậy.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp đa hợp dữ liệu, phương pháp này bao gồm các bước:

thu dữ liệu nhị phân thứ nhất hoặc M mức được kết hợp với lớp được đa hợp thứ nhất;

mã hóa dữ liệu nhị phân thứ nhất hoặc M mức bằng cách lựa chọn từ mã thứ nhất từ sổ mã thứ nhất, trong đó sổ mã thứ nhất được gán riêng tới lớp được đa hợp thứ nhất;

đa hợp từ mã thứ nhất với ít nhất từ mã thứ hai từ sổ mã thứ hai để thu được các từ mã được đa hợp, trong đó sổ mã thứ hai được gán riêng tới lớp được đa hợp thứ hai; và

truyền các từ mã được đa hợp qua các tài nguyên được chia sẻ của mạng.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó mã hóa dữ liệu nhị phân thứ nhất hoặc M mức bằng cách lựa chọn từ mã thứ nhất bao gồm:

lựa chọn từ mã thứ nhất từ tập hợp thứ nhất của các từ mã trong sổ mã thứ nhất phù hợp với giá trị nhị phân hoặc M mức của dữ liệu nhị phân thứ nhất hoặc M mức, trong đó mỗi từ mã trong tập hợp thứ nhất của các từ mã được kết hợp với giá trị nhị phân hoặc M mức khác nhau.

3. Phương pháp theo điểm 2, trong đó mỗi từ mã trong tập hợp thứ nhất của các từ mã bao gồm mật độ thấp của các giá trị không phải không sao cho từ mã tương ứng có thể được phát hiện nằm trong các từ mã được đa hợp phù hợp với thuật toán chuyển tin nhắn (MPA).

4. Phương pháp theo điểm 1, trong đó lớp được đa hợp thứ nhất được kết hợp với người sử dụng thứ nhất và lớp được đa hợp thứ hai được kết hợp với người sử dụng thứ hai.

5. Phương pháp theo điểm 1, trong đó lớp được đa hợp thứ nhất và lớp được đa hợp thứ hai mang các dòng dữ liệu tách biệt được kết hợp với lớp thông thường.

6. Phương pháp theo điểm 5, trong đó lớp được đa hợp thứ nhất và lớp được đa hợp thứ hai chiếm các lớp theo không gian đa đầu vào đa đầu ra khác nhau (MIMO).

7. Phương pháp theo điểm 5, trong đó lớp được đa hợp thứ nhất và lớp được đa hợp thứ hai chiếm các âm thanh đa truy cập phân chia theo tần số trực giao khác nhau (OFDMA).

8. Bộ truyền dữ liệu bao gồm:

bộ xử lý; và

vật ghi đọc được bởi máy tính lưu trữ chương trình dùng để thực hiện bởi bộ xử lý, chương trình bao gồm các lệnh để thực hiện các bước trong phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 1 đến 7.

9. Phương pháp thu dữ liệu, phương pháp này bao gồm các bước:

thu tín hiệu mang các từ mã được đa hợp, các từ mã được đa hợp bao gồm các từ mã được truyền qua các tài nguyên được chia sẻ của mạng, trong đó mỗi trong số các từ mã thuộc về từ mã khác nhau của các sổ mã, trong đó mỗi trong số các sổ mã được kết hợp với sổ mã khác nhau của các lớp được đa hợp;

nhận dạng, bởi bộ thu, từ mã thứ nhất của các từ mã nằm trong các từ mã được đa hợp, từ mã thứ nhất thuộc về sổ mã thứ nhất trong số các sổ mã mã được gán riêng tới lớp thứ nhất trong số các lớp được đa hợp, trong đó bộ thu được kết hợp với lớp được đa hợp thứ nhất; và

giải mã từ mã thứ nhất để thu được dữ liệu nhị phân thứ nhất hoặc M mức.

10. Phương pháp theo điểm 9, trong đó nhận dạng từ mã thứ nhất nằm trong các từ mã được đa hợp bao gồm ứng dụng thuật toán chuyển tin nhắn (MPA) để phát hiện từ mã thứ nhất trong số các từ mã được bao gồm trong các từ mã được đa hợp.

11. Phương pháp theo điểm 10, trong đó giải mã từ mã thứ nhất để thu được dữ liệu nhị phân thứ nhất hoặc M mức bao gồm:

ánh xạ từ mã thứ nhất trực tiếp tới giá trị nhị phân hoặc M mức của dữ liệu nhị phân thứ nhất hoặc M mức, trong đó mỗi từ mã trong số mã thứ nhất được kết hợp với giá trị nhị phân hoặc M mức khác nhau.

12. Phương pháp theo điểm 10, trong đó các lớp khác nhau trong số các lớp được đa hợp chiếm các lớp theo không gian đa đầu vào đa đầu ra khác nhau (MIMO).

13. Phương pháp theo điểm 9, trong đó các lớp khác nhau trong số các lớp được đa hợp chiếm các âm thanh đa truy cập phân chia theo tần số trực giao khác nhau (OFDMA).

14. Bộ thu dữ liệu bao gồm:

bộ xử lý; và

vật ghi đọc được bởi máy tính lưu trữ chương trình dùng cho sự thực hiện bởi bộ xử lý, chương trình bao gồm các lệnh để thực hiện các bước trong phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 9 đến 13.

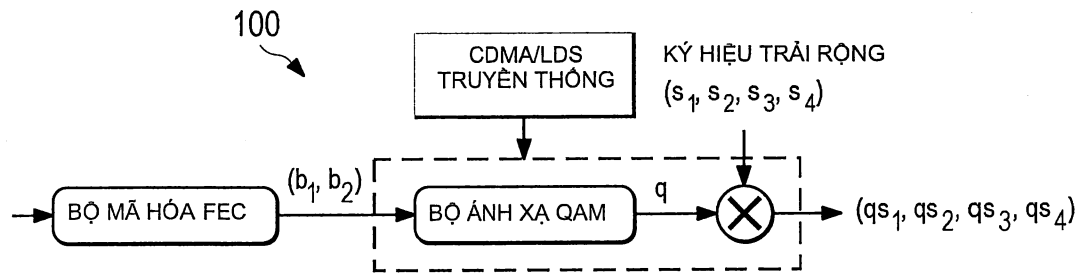


FIG. 1

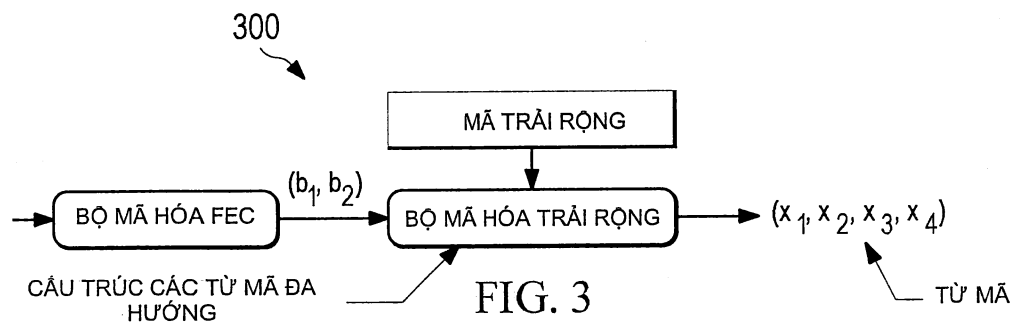
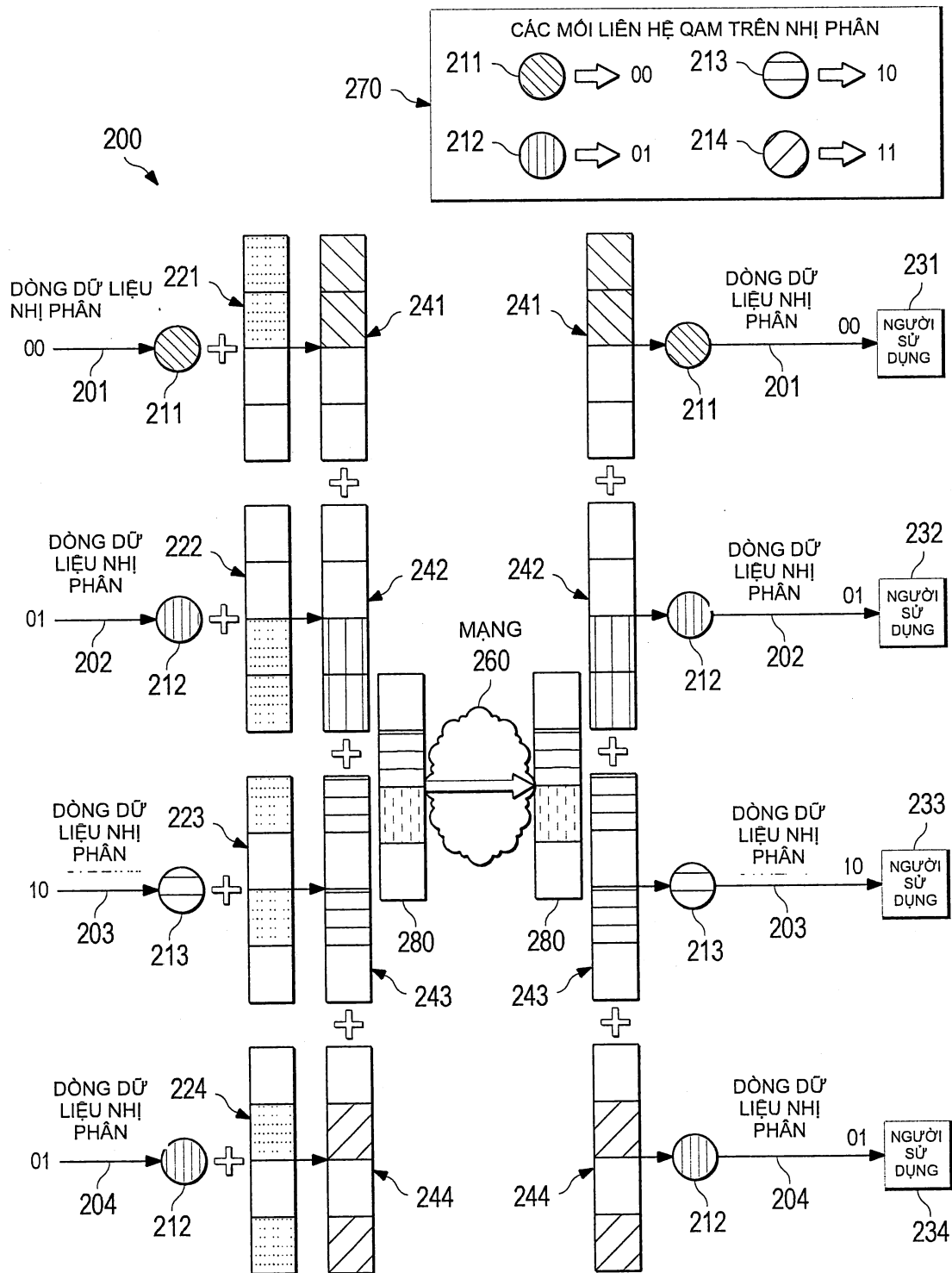


FIG. 3



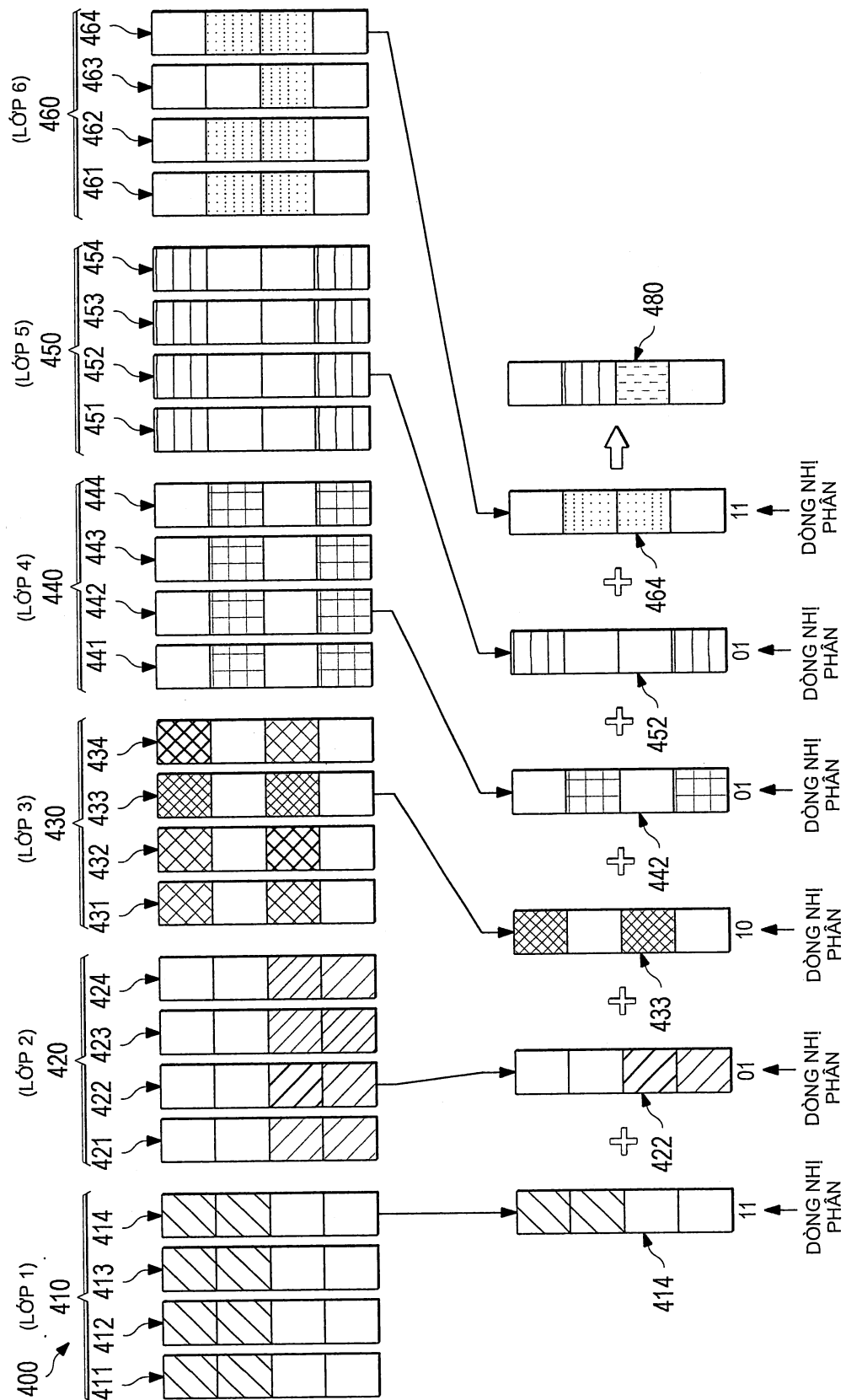


FIG. 4

4/23

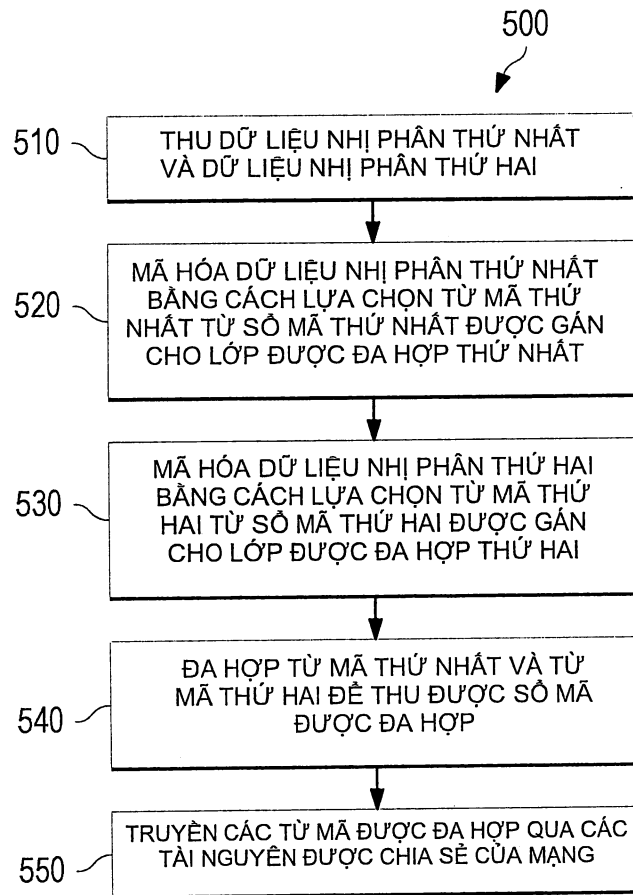


FIG. 5

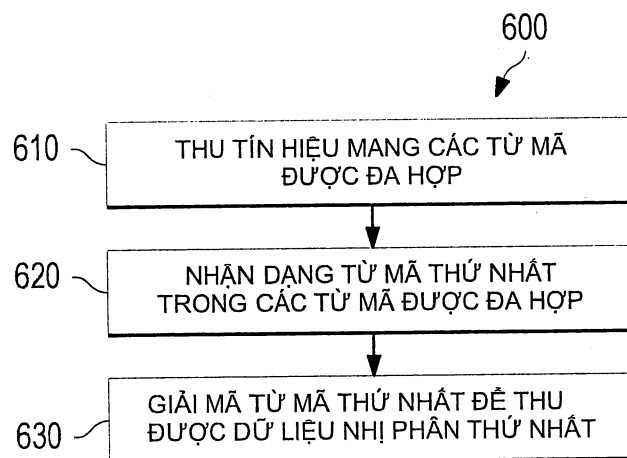
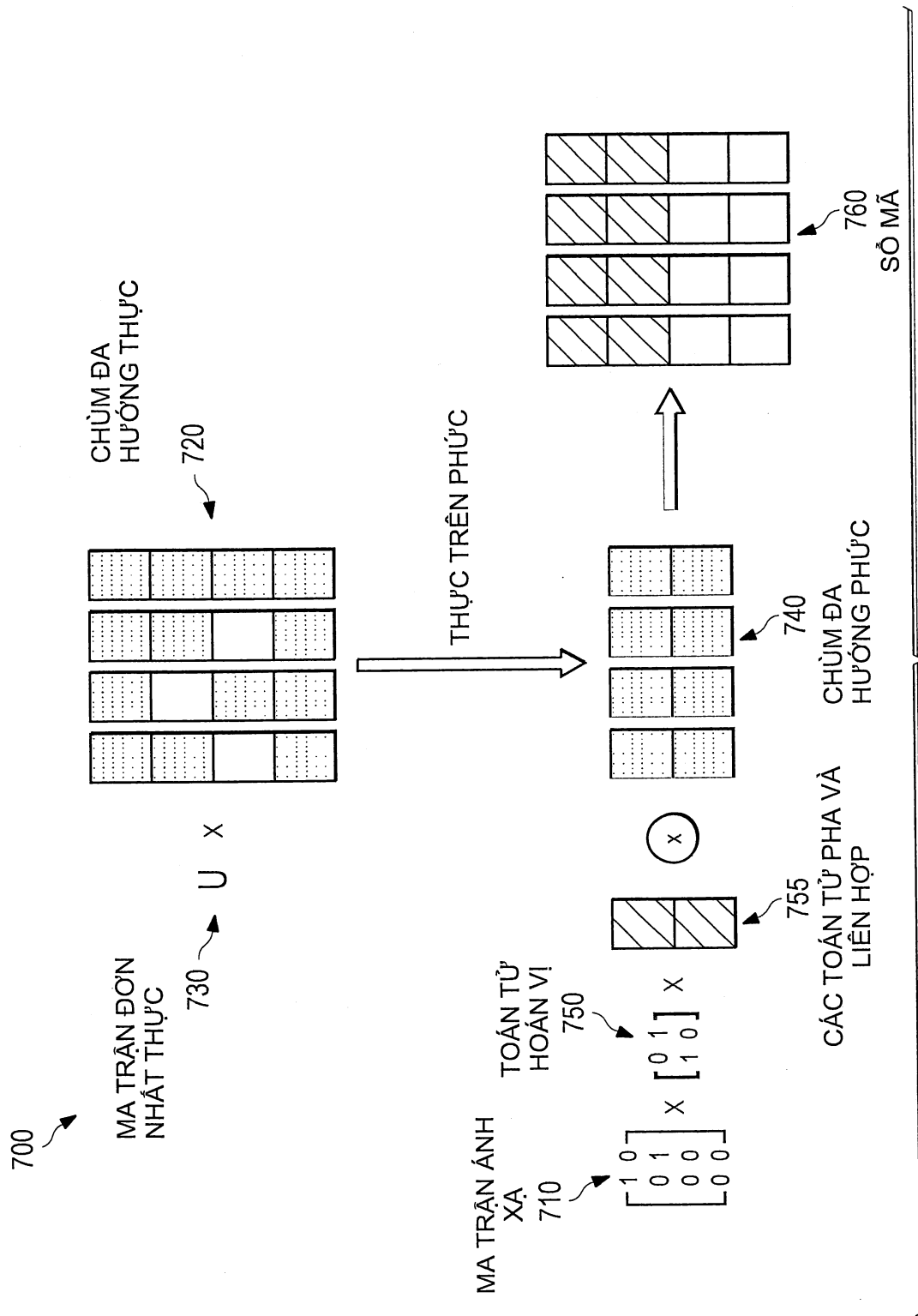


FIG. 6



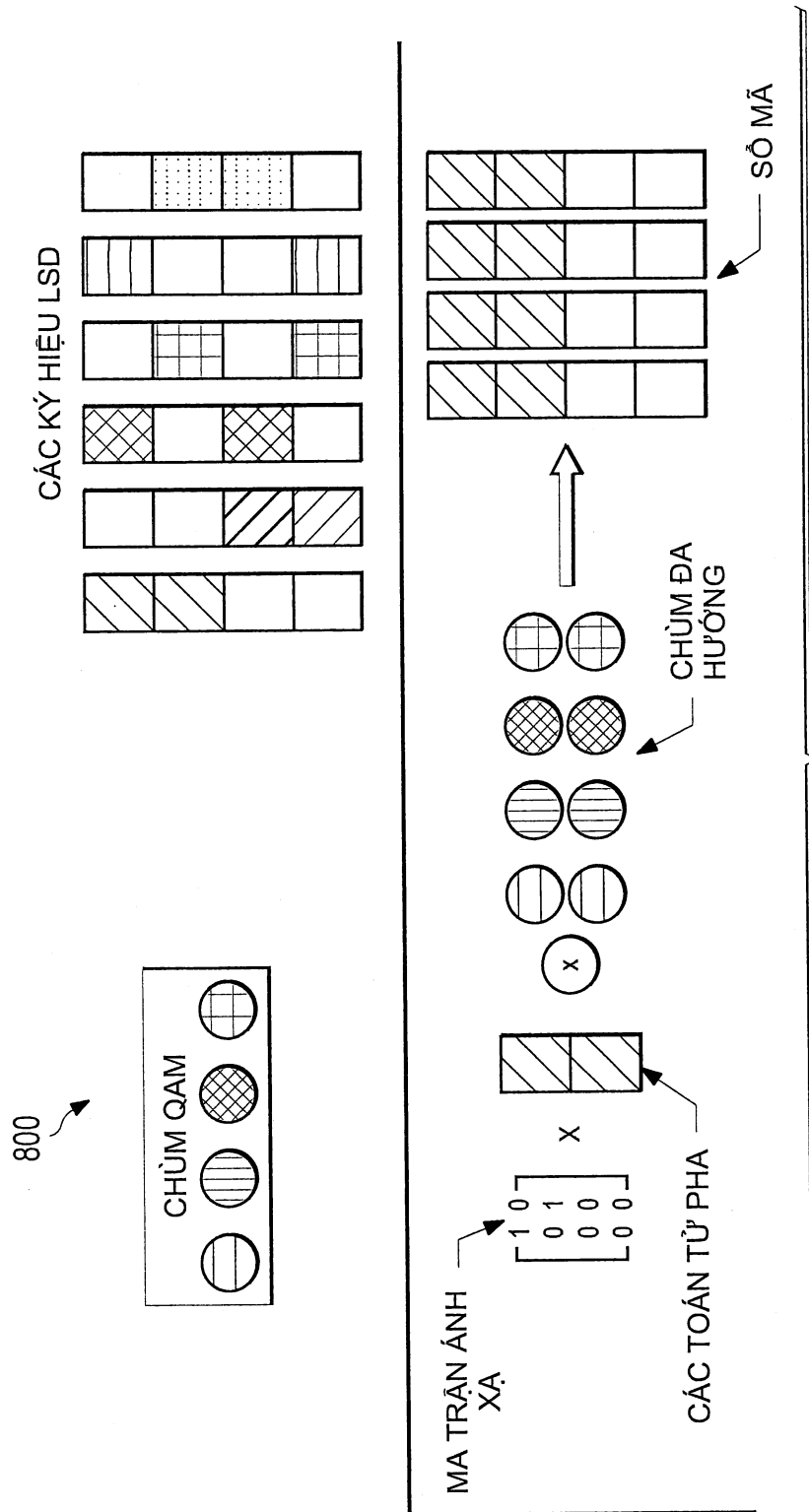


FIG. 8

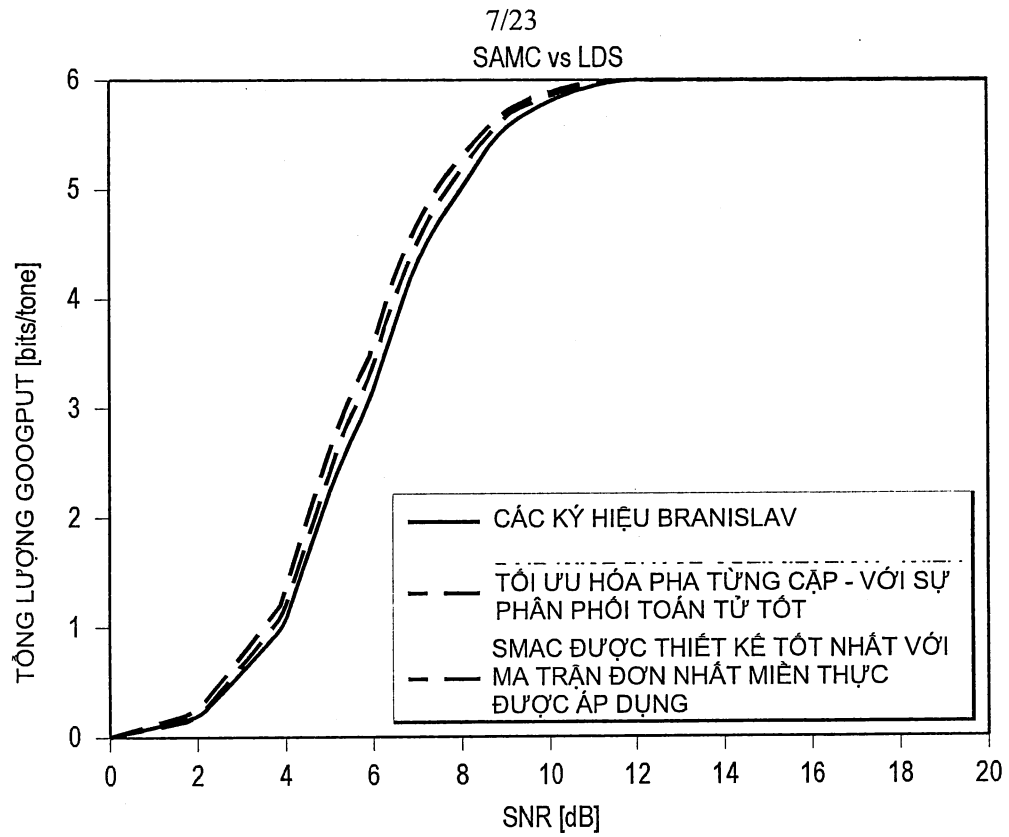


FIG. 9

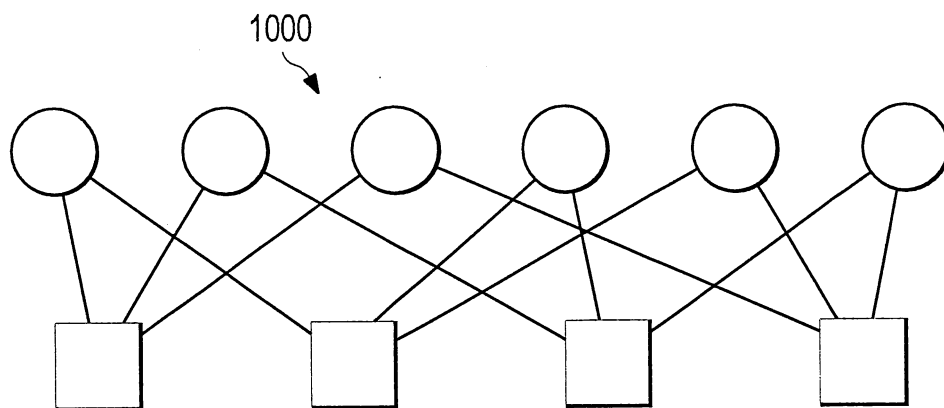


FIG. 10

8/23

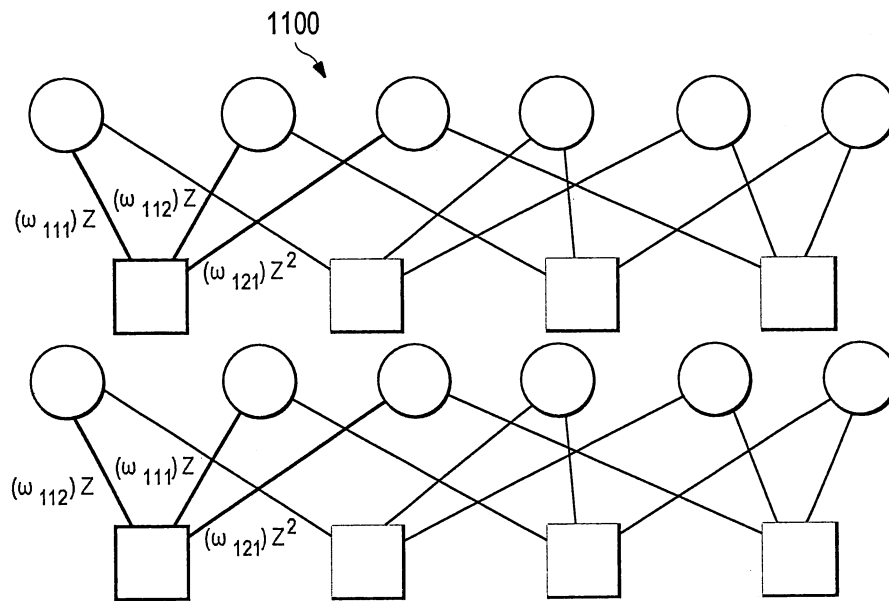


FIG. 11

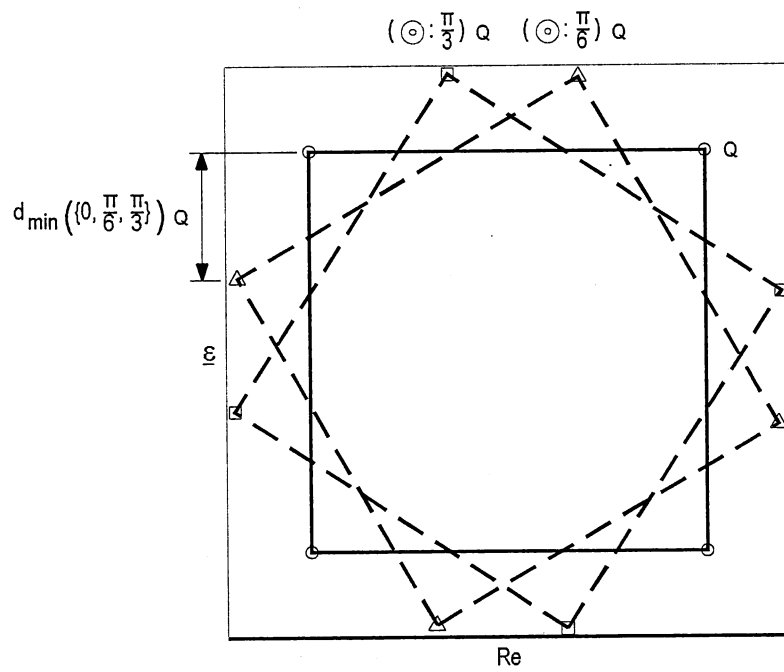


FIG. 12

9/23

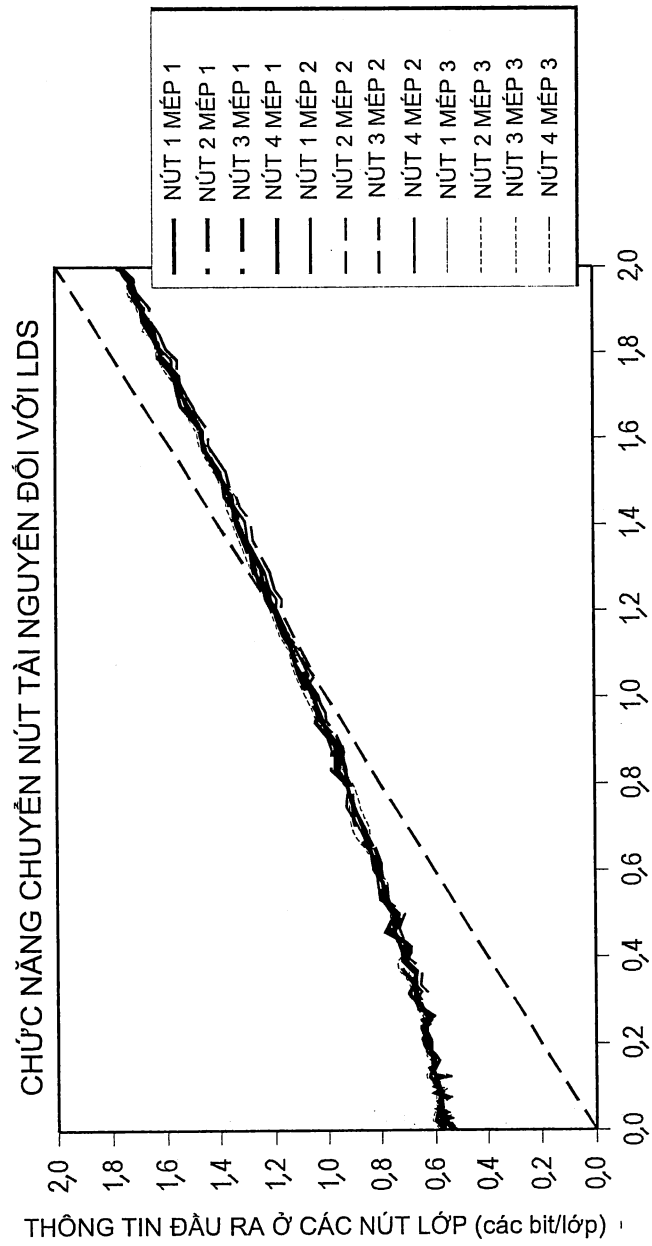


FIG. 13

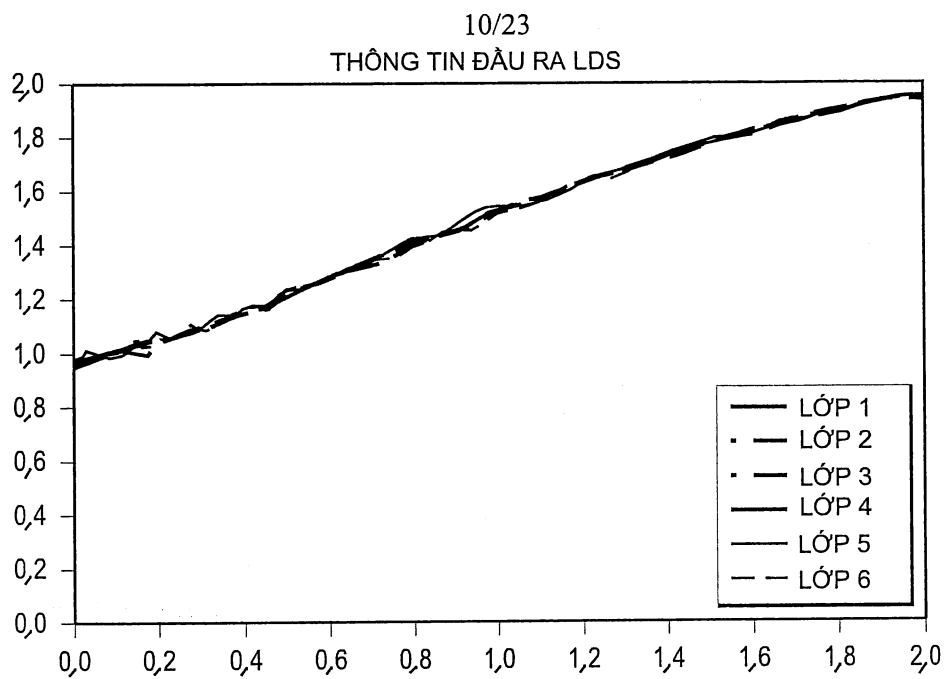


FIG. 14

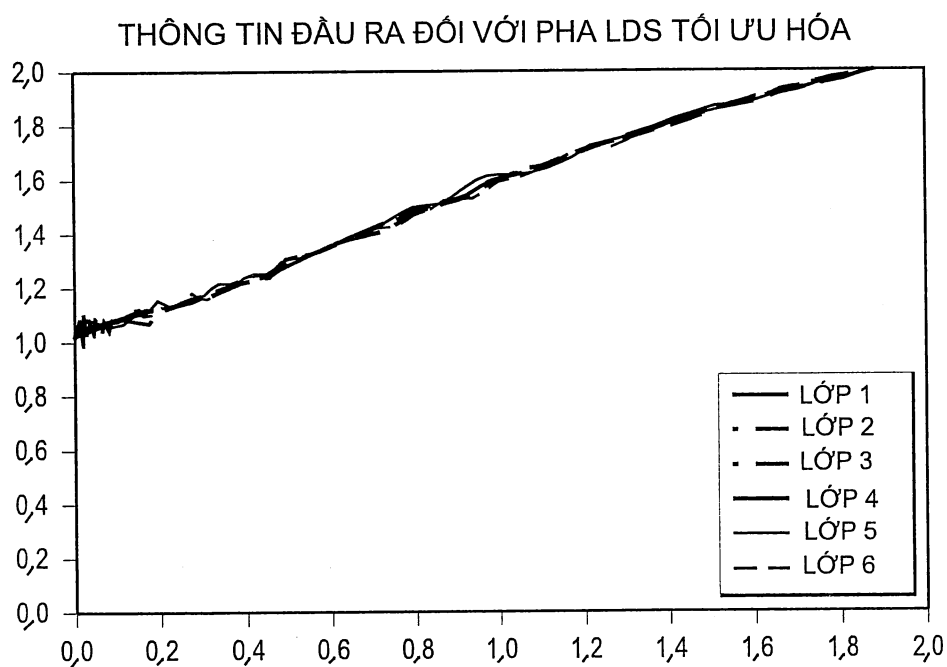


FIG. 15

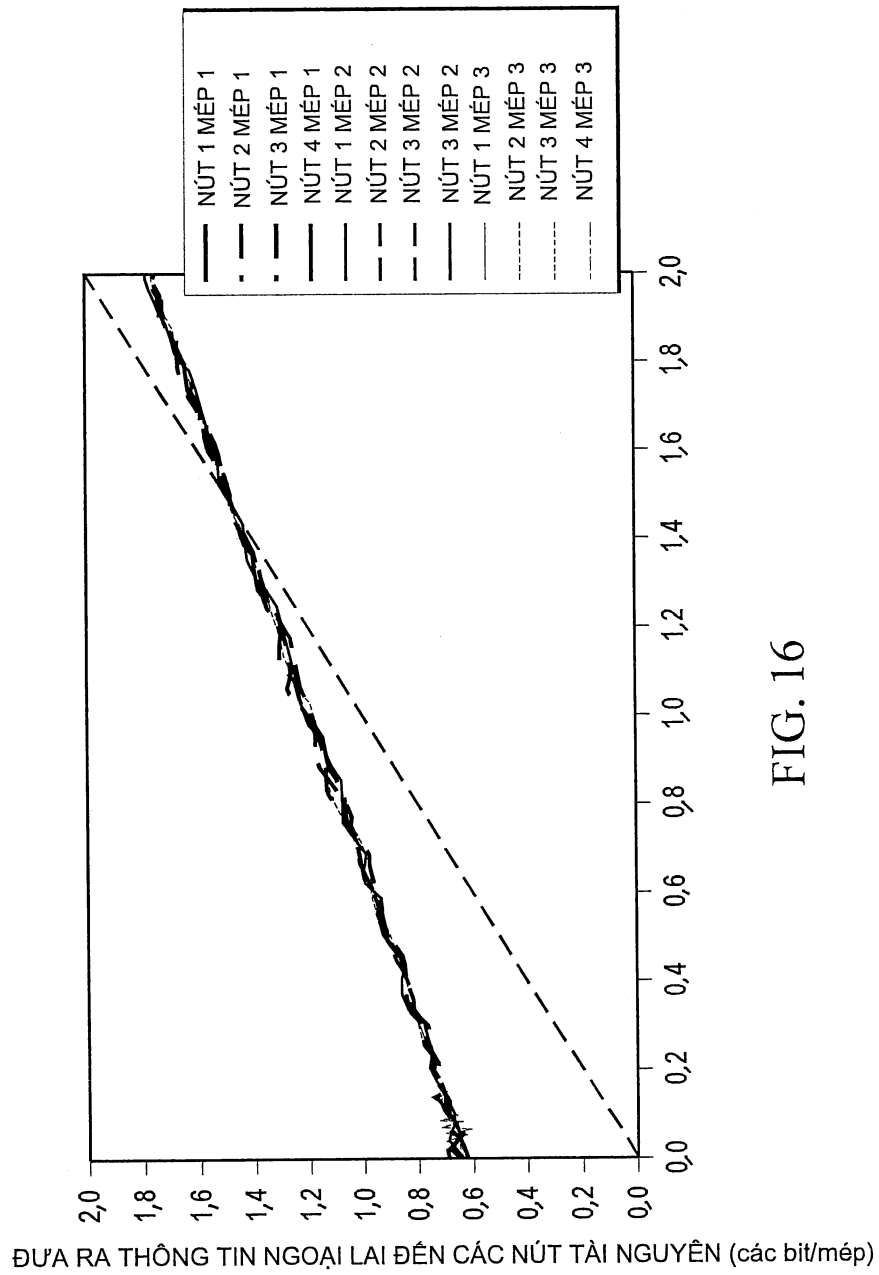


FIG. 16

12/23

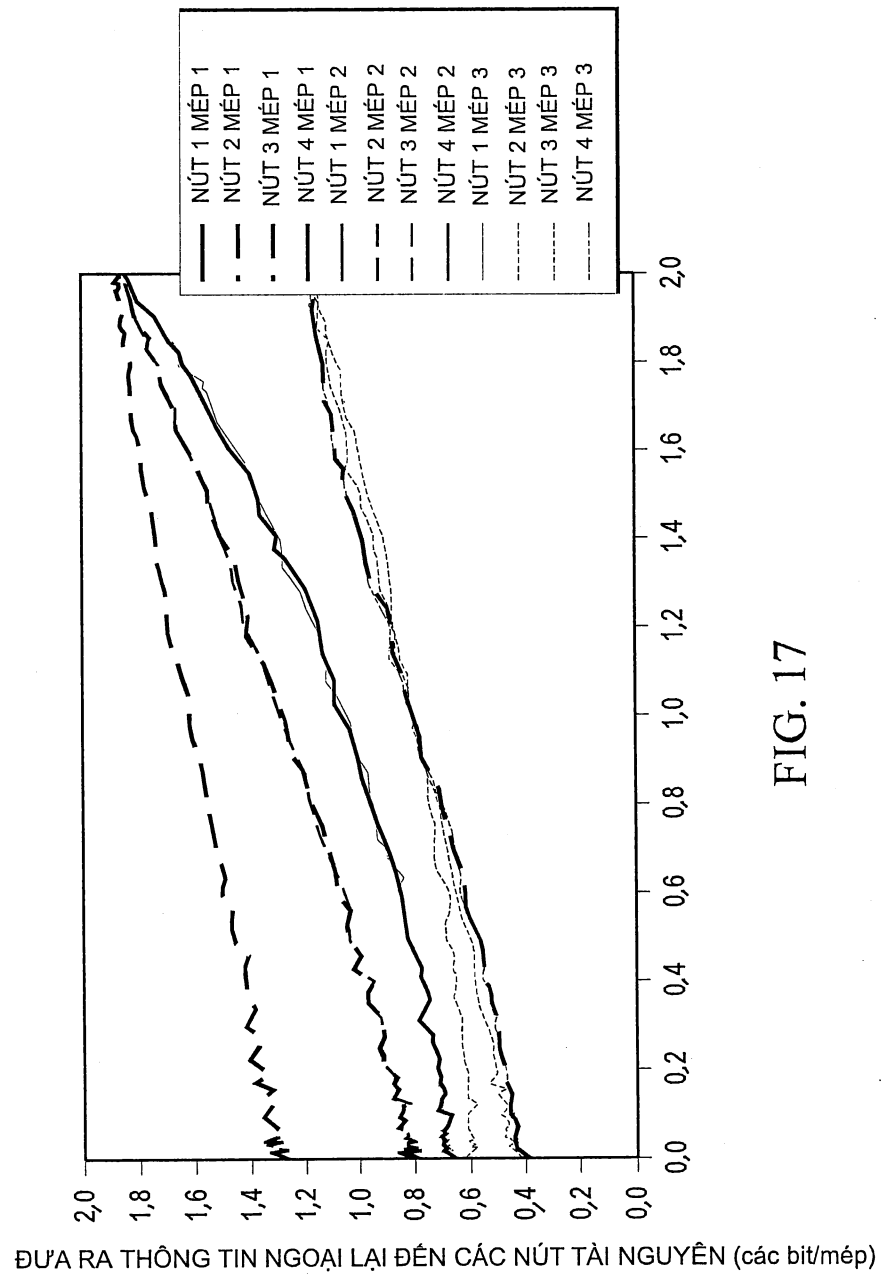


FIG. 17

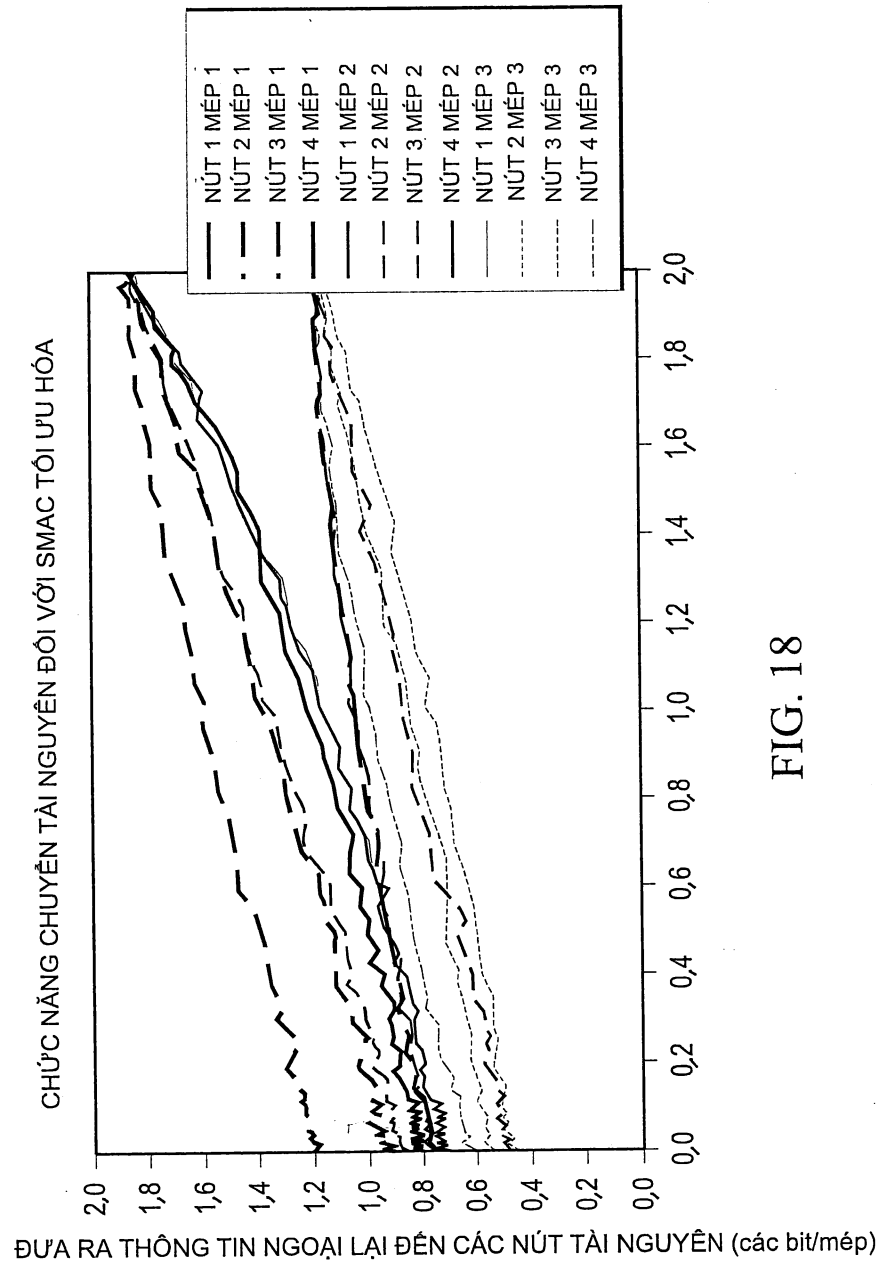


FIG. 18

14/23

SMAC 2 - CHÙM PHỨC VỚI SỰ THAY ĐỔI
CÔNG SUẤT THEO CHIỀU THẤP

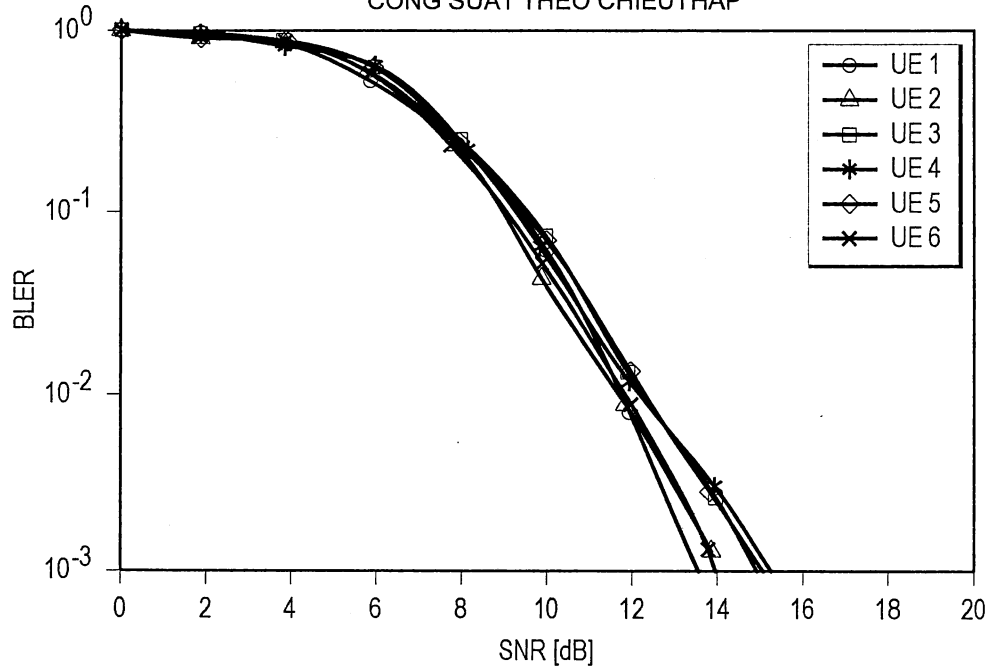


FIG. 19a

SMAC 5 - CÁC TOÁN TỬ DỰA TRÊN SỰ TỐI ƯU
HÓA KHOẢNG CÁCH NHỎ NHẤT KẾT HỢP

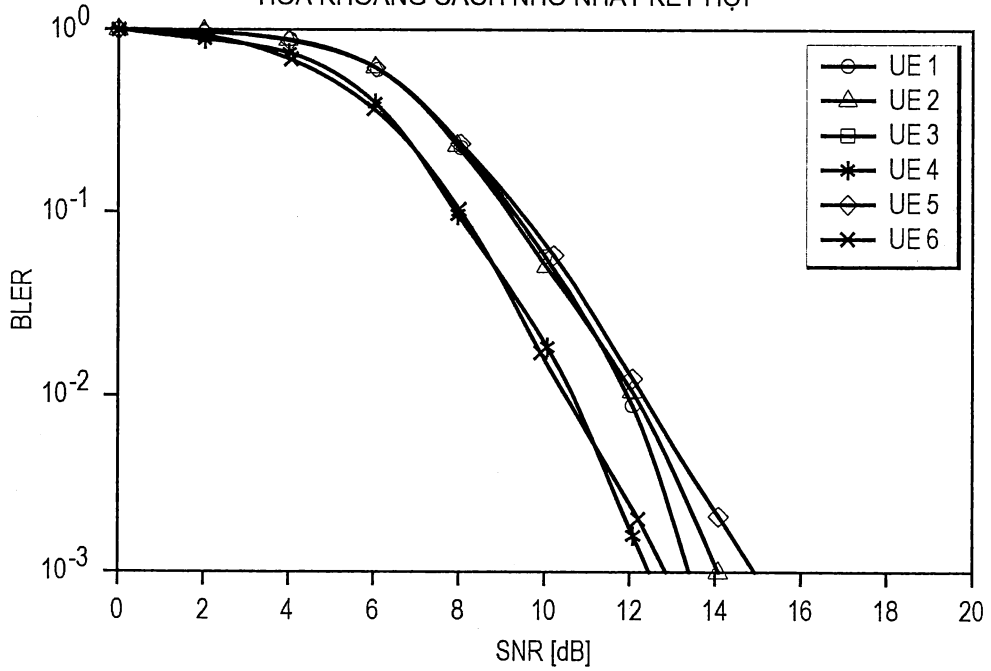


FIG. 19b

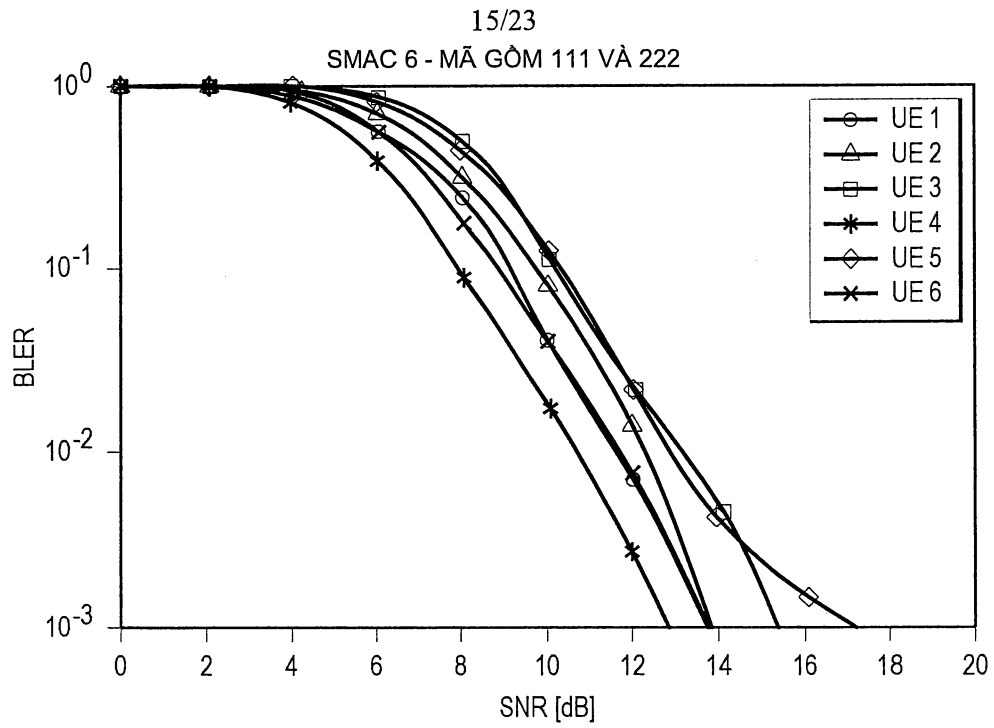


FIG. 20a

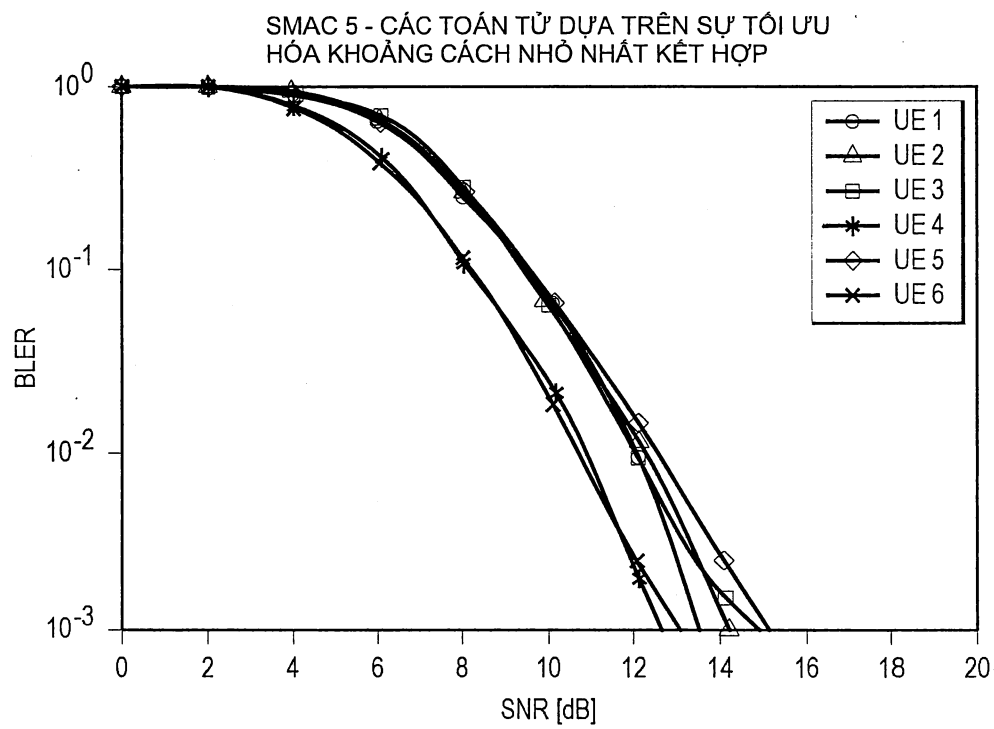


FIG. 20b

16/23

SMAC 1 - CHÙM PHỨC ĐA CHIỀU VỚI CÁC TOÁN
TỬ PHA LDS

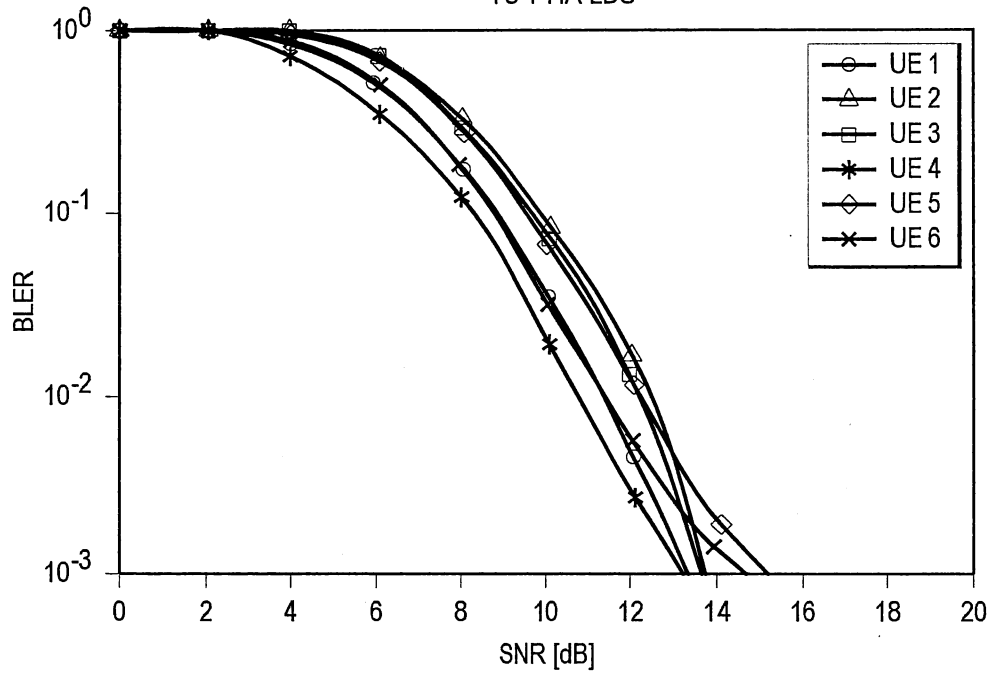


FIG. 21a

SMAC 5 - CÁC TOÁN TỬ DỰA TRÊN SỰ TỐI ƯU
HÓA KHOẢNG CÁCH NHỎ NHẤT KẾT HỢP

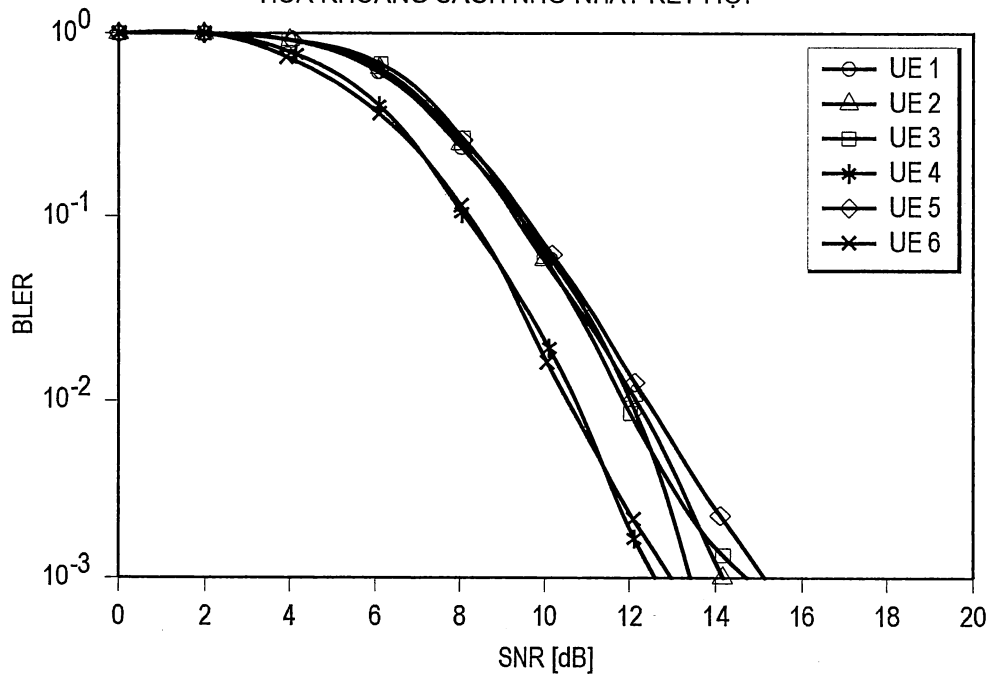
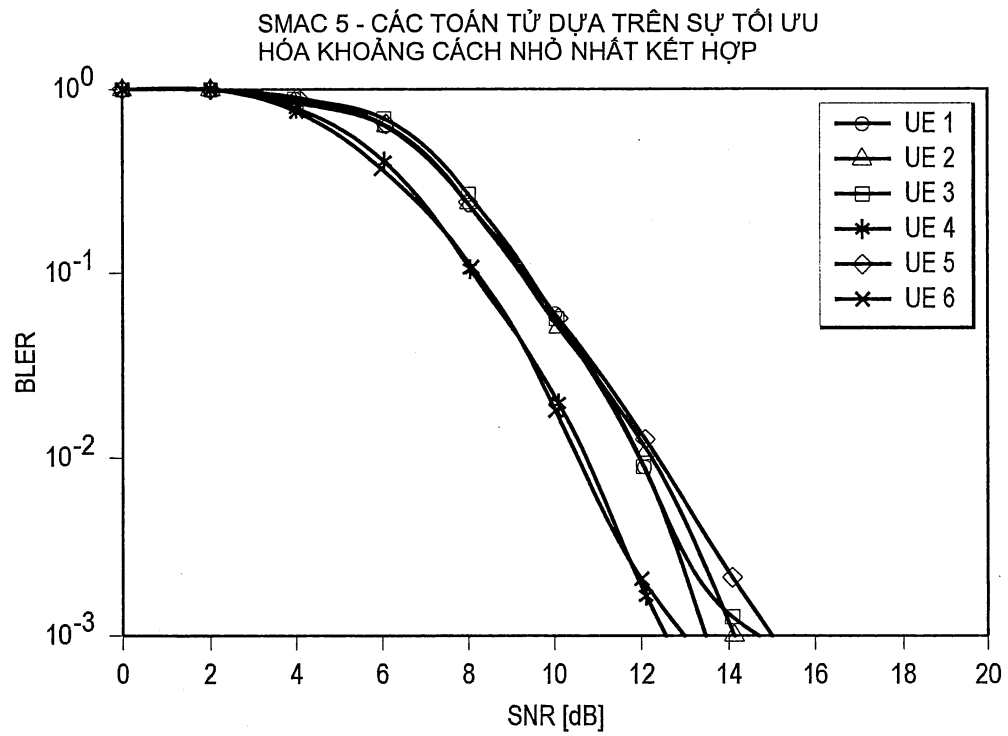
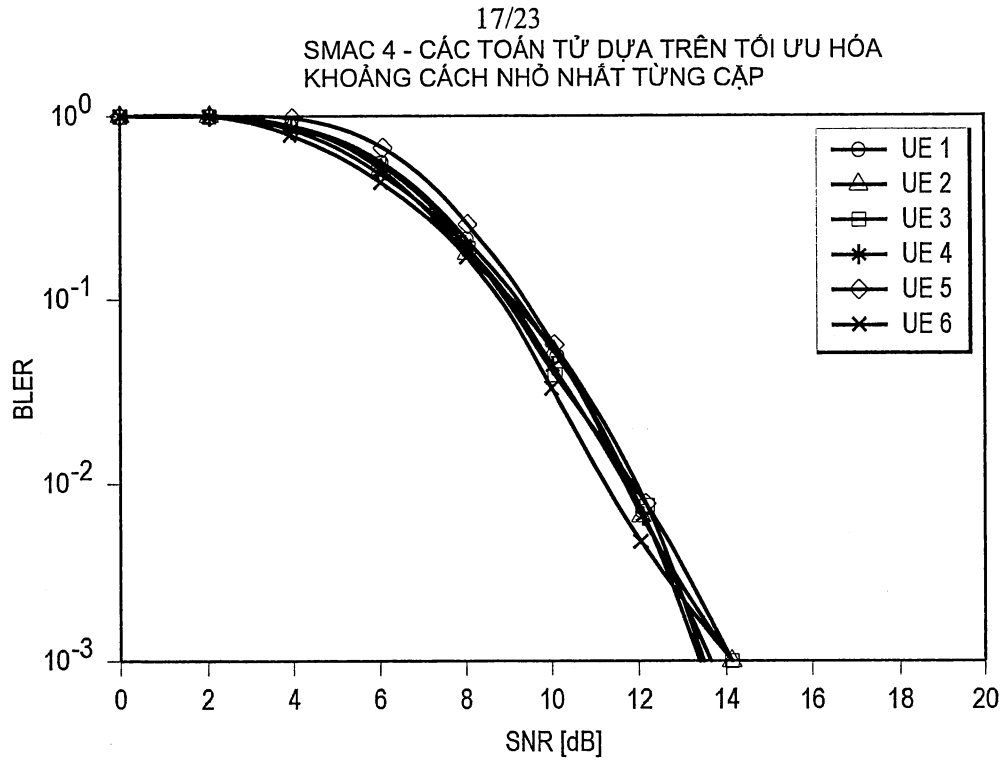


FIG. 21b



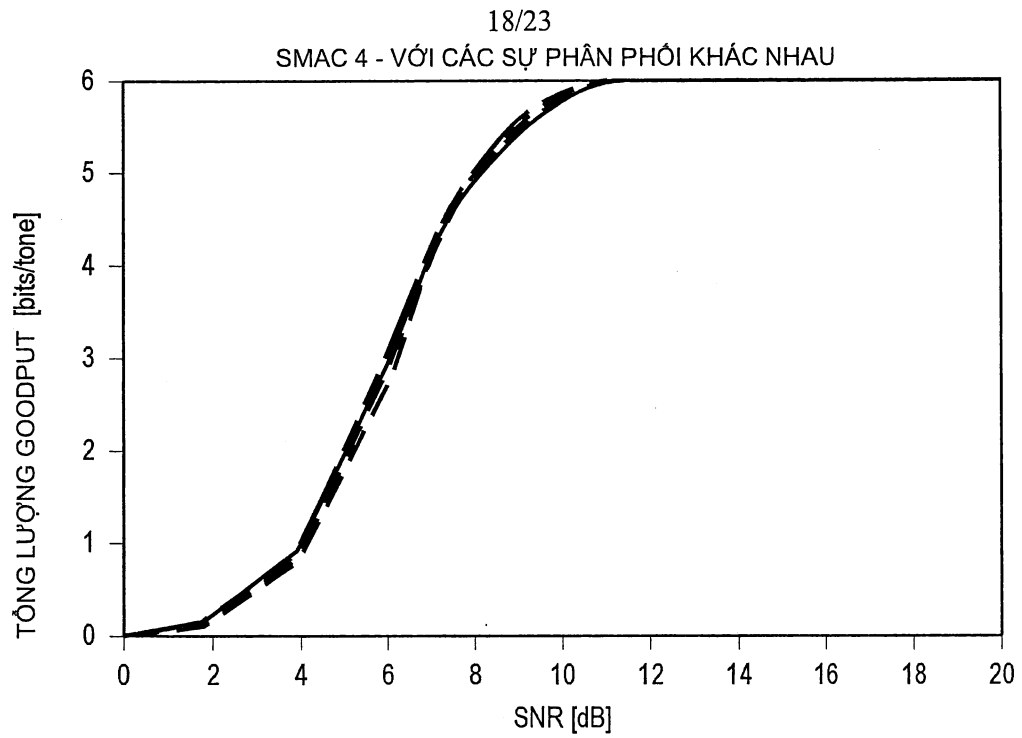


FIG. 23

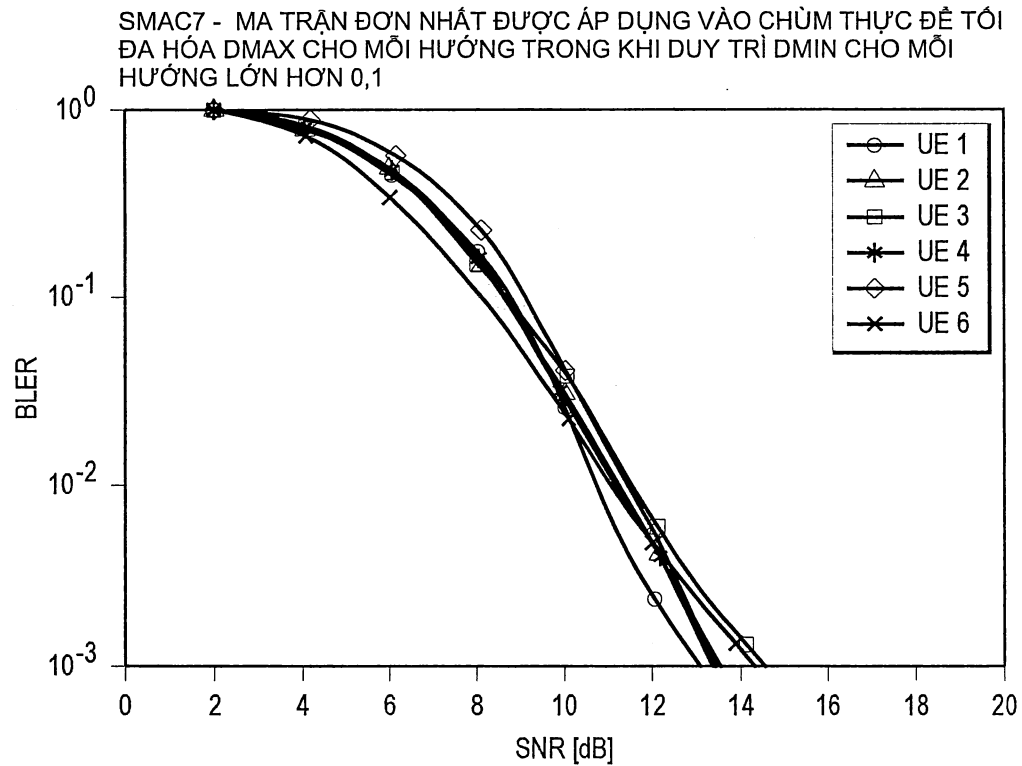


FIG. 24a

19/23

SMAC 5 - CÁC TOÁN TỬ DỰA TRÊN SỰ TỐI ƯU
HÓA KHOẢNG CÁCH NHỎ NHẤT KẾT HỢP

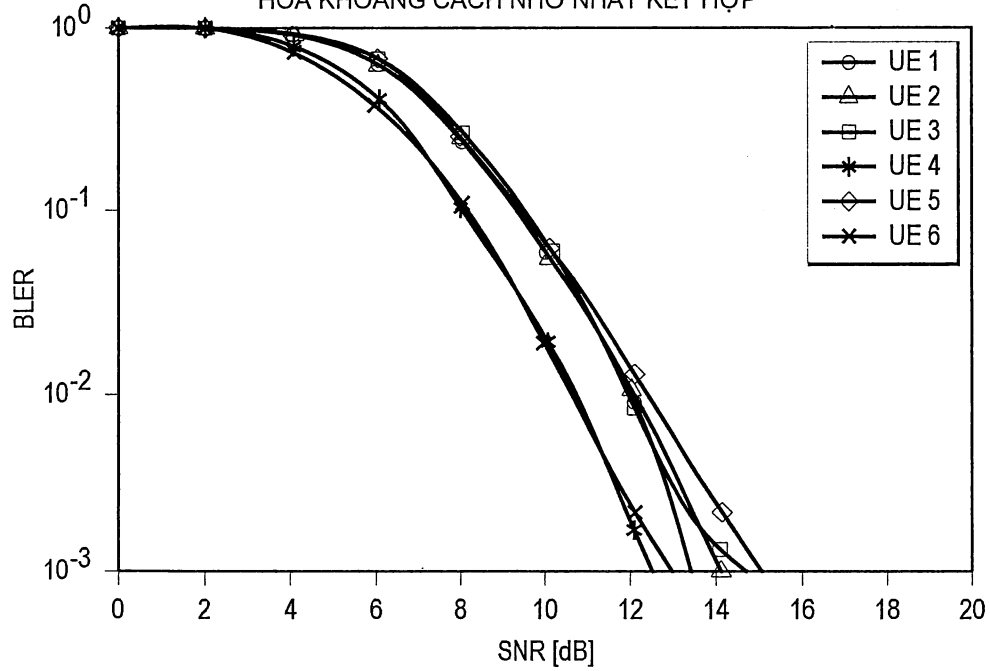


FIG. 24b

SMAC - TỔNG GOODPUT

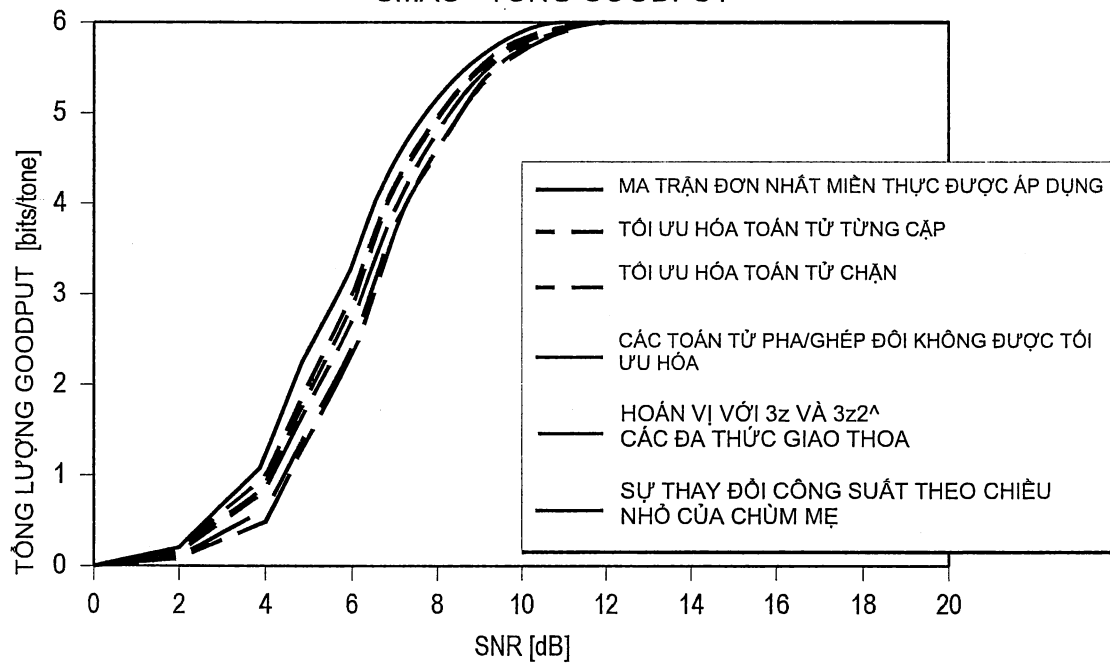


FIG. 25

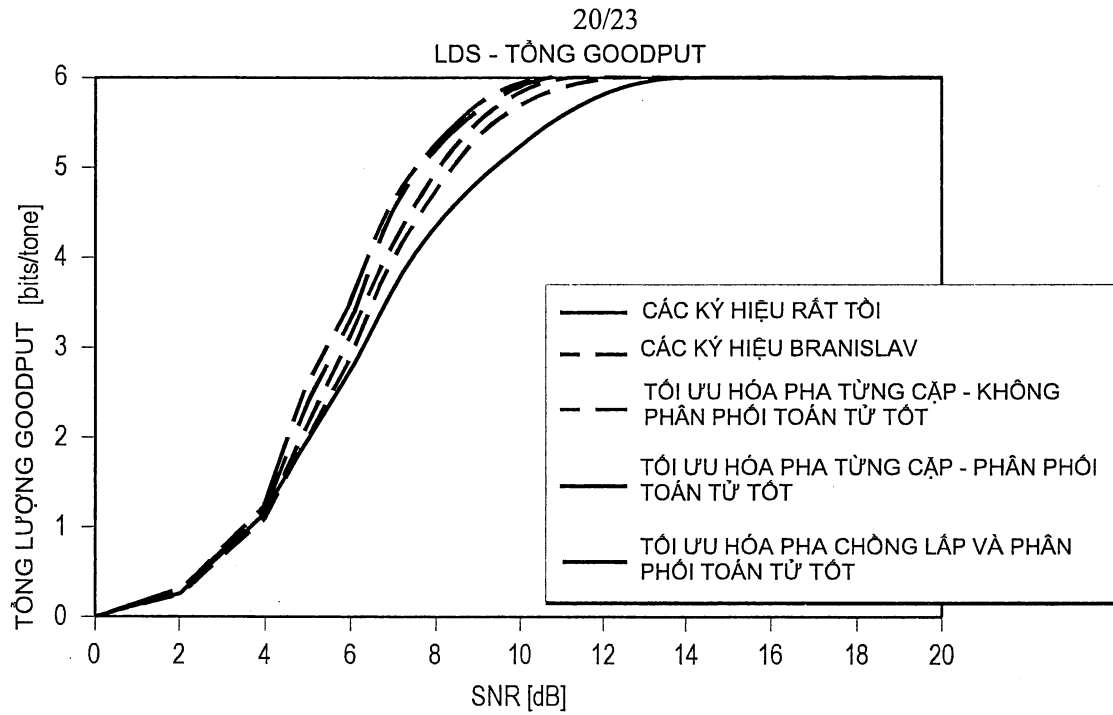


FIG. 26

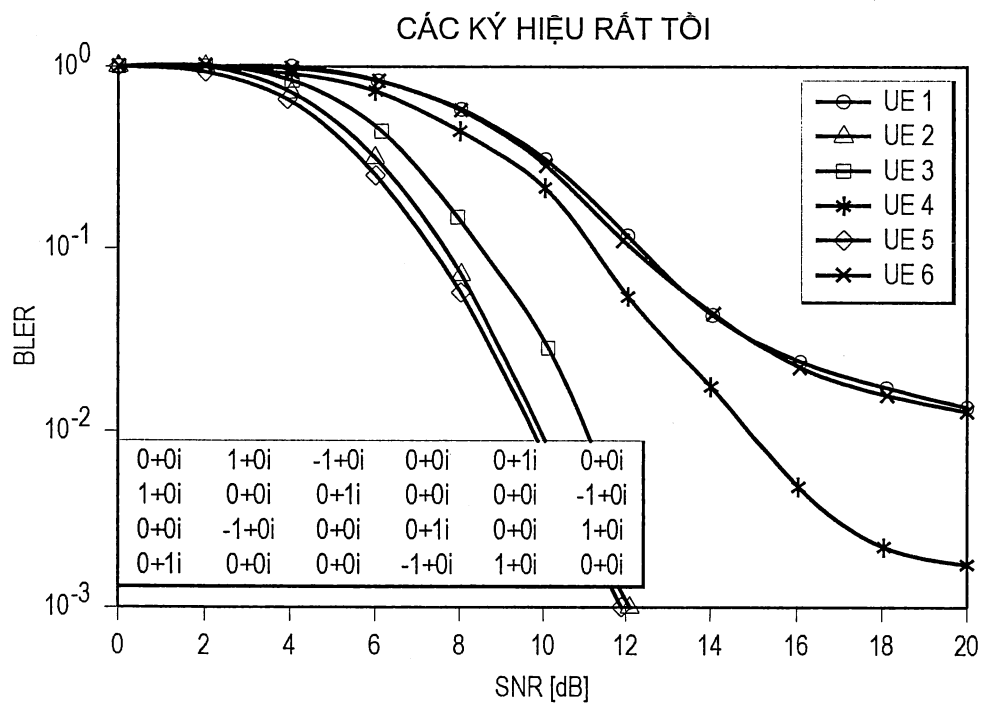


FIG. 27a

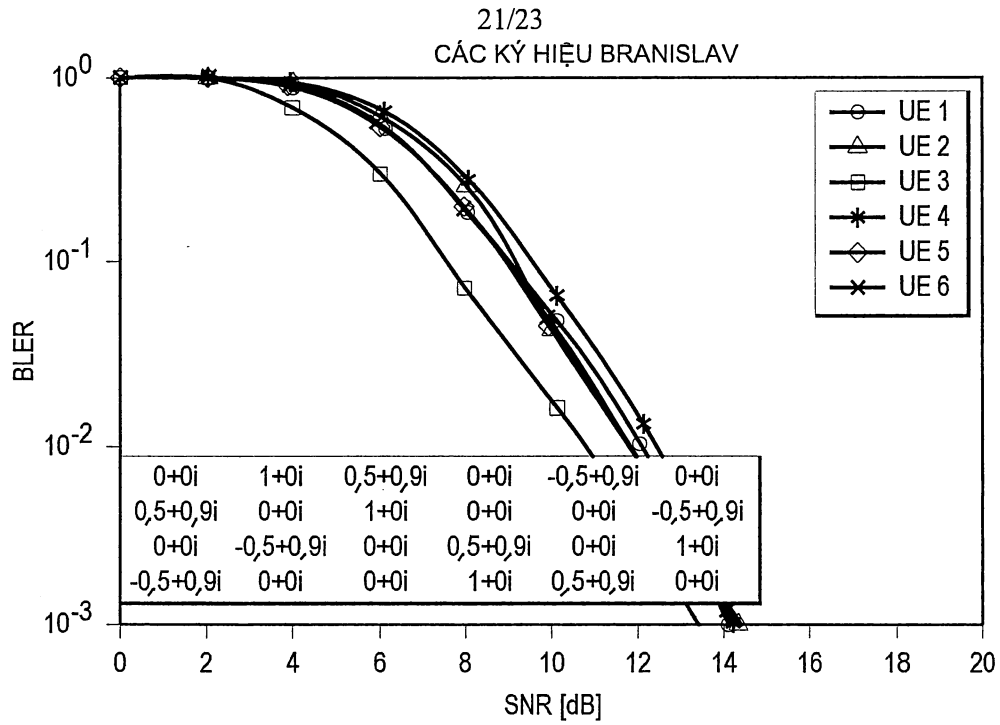


FIG. 27b

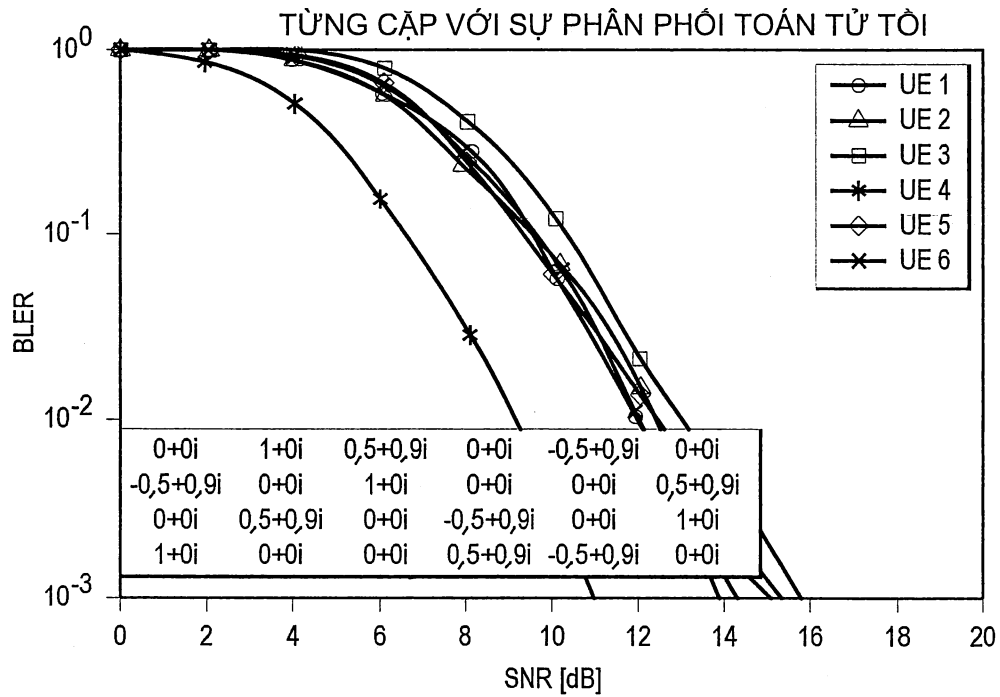


FIG. 28a

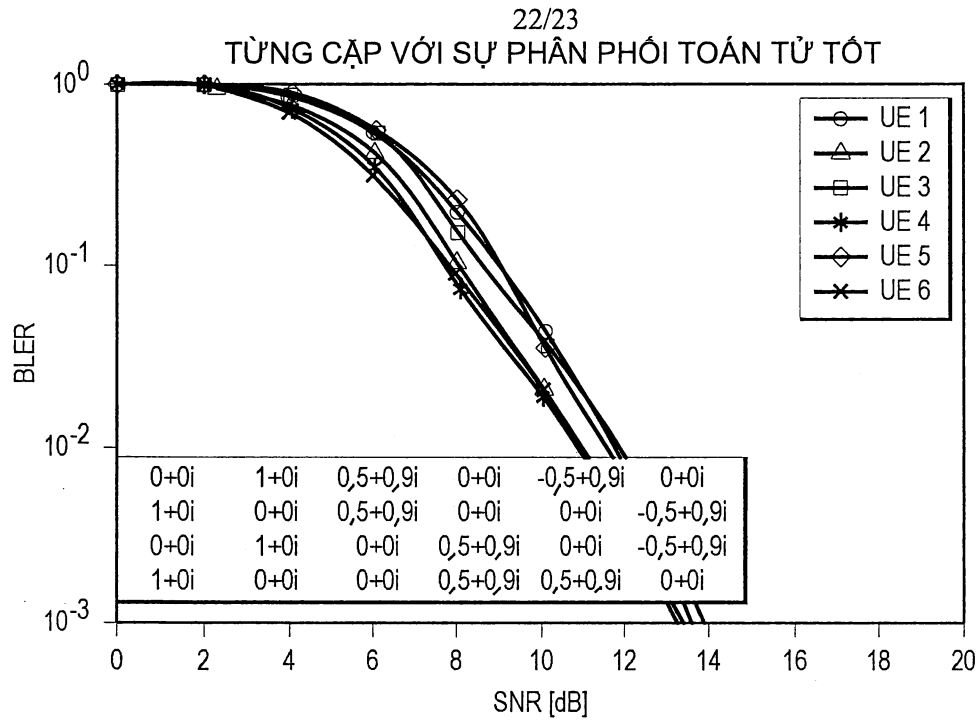


FIG. 28b

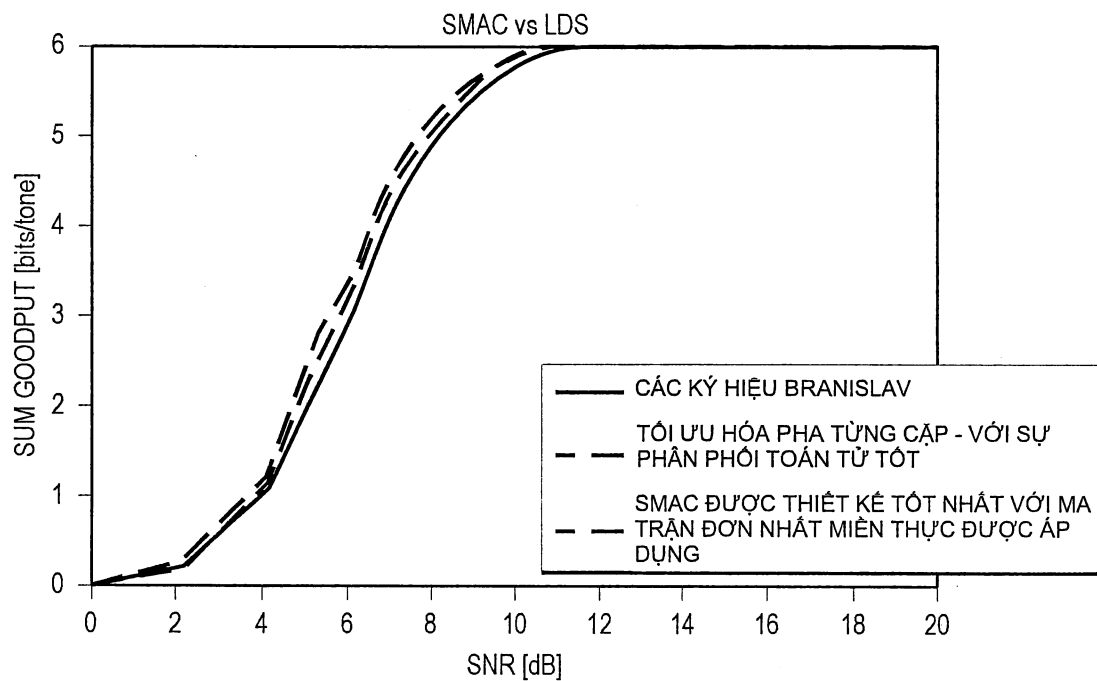


FIG. 29

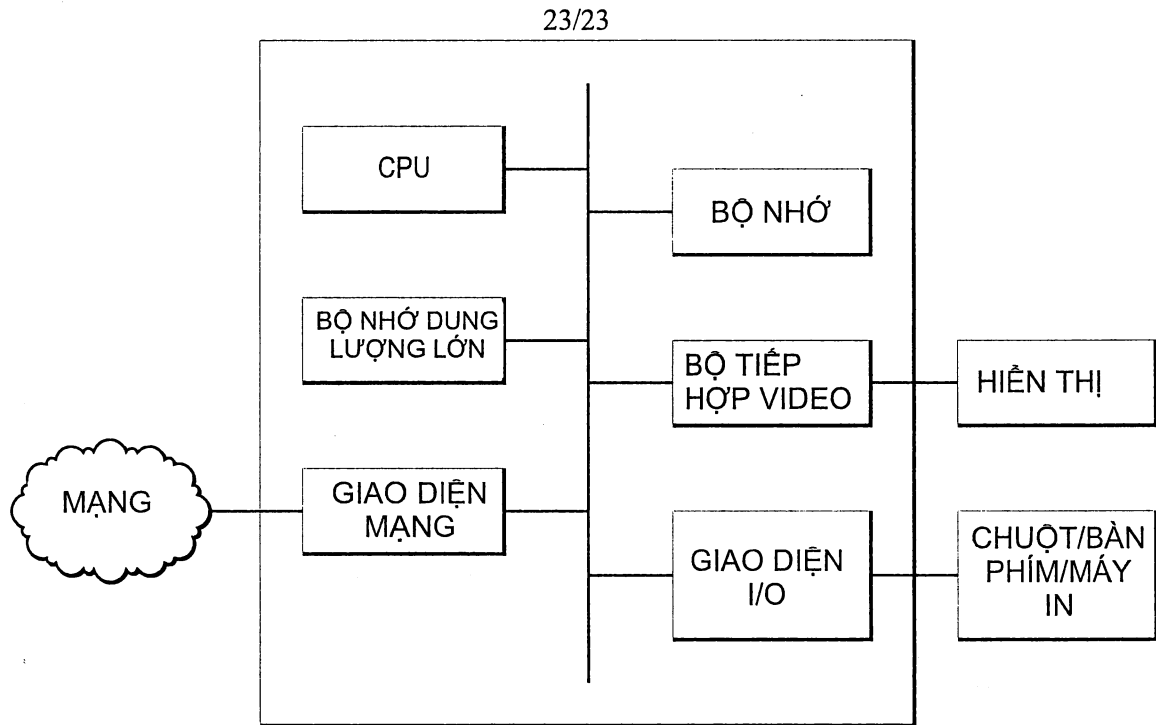


FIG. 30

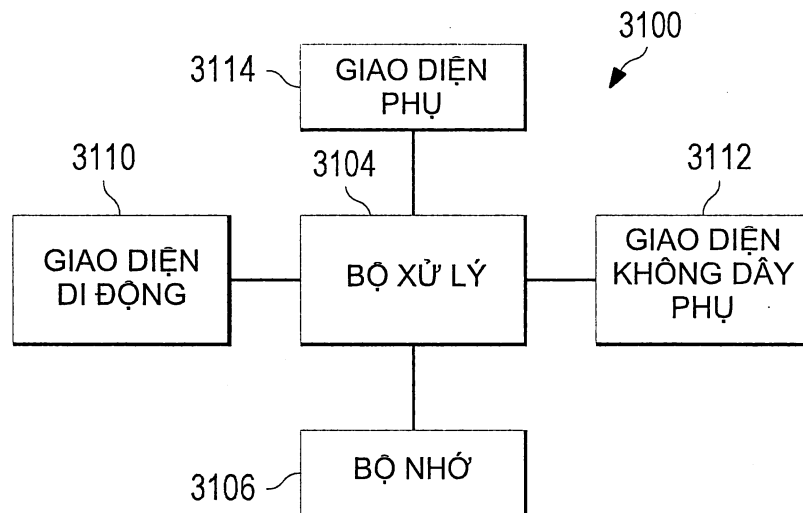


FIG. 31