



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

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

(11)



1-0035019

(51)<sup>7</sup> H04L 27/34; H04L 1/00

(13) B

(21) 1-2016-03055

(22) 05/02/2015

(86) PCT/KR2015/001191 05/02/2015

(87) WO 2015/119441 A1 13/08/2015

(30) 61/936,029 05/02/2014 US; 61/945,868 28/02/2014 US; 10-2015-0017971  
05/02/2015 KR

(45) 27/03/2023 420

(43) 25/10/2016 343A

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

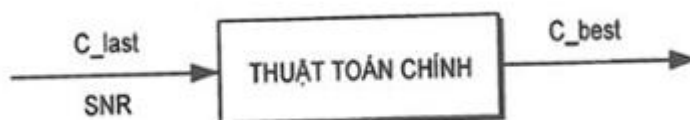
129, Samsung-ro, Yeongtong-gu Suwon-si, Gyeonggi-do 16677, Republic of Korea

(72) MYUNG, Se-ho (KR); MOUHOUCHE, Belkacem (FR); LOBETE, Ansoerregui  
Daniel (ES); KIM, Kyung-joong (KR); JEONG, Hong-sil (KR).

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

(54) THIẾT BỊ TRUYỀN TÍN HIỆU VÀ THIẾT BỊ THU TÍN HIỆU

(57) Sáng chế đề cập đến thiết bị truyền tín hiệu và thiết bị thu tín hiệu. Thiết bị truyền tín hiệu này bao gồm bộ mã hoá để thực hiện bước mã hoá kênh trên các bit và tạo ra từ mã, bộ đan xen để đan xen từ mã, và bộ điều biến để ánh xạ từ mã đã được đan xen lên một chòm điểm không đồng đều theo một sơ đồ điều biến, trong đó chòm điểm này có thể chứa các điểm được xác định dựa vào các bảng theo sơ đồ điều biến.



### **Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập**

Sáng chế liên quan đến lĩnh vực truyền và thu dữ liệu sử dụng kỹ thuật phát rộng, cụ thể hơn, sáng chế đề cập đến thiết bị truyền tín hiệu để thiết kế các chòm điểm không đồng đều dùng cho các bit ánh xạ điều biến mã hoá đan xen bit (Bit Interleaved Coded Modulation, BICM) ở tín hiệu đầu ra của bộ mã hoá và bộ đan xen thành các chòm điểm phức.

### **Tình trạng kỹ thuật của sáng chế**

Các hệ thống phát rộng hiện nay theo tiêu chuẩn hệ thống truyền hình mặt đất kỹ thuật số thế hệ thứ hai (Digital Video Broadcasting Second Generation Terrestrial, DVB-T2) sử dụng chuỗi điều biến mã hoá đan xen bit (BICM) để mã hoá các bit cần truyền. Chuỗi BICM gồm có bộ mã hoá kênh như bộ mã hoá kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (Low Density Parity Check, LDPC) kế tiếp là bộ đan xen bit và bộ ánh xạ điều biến biên độ vuông góc (Quadrature Amplitude Modulation, QAM). Vai trò của bộ ánh xạ QAM là để ánh xạ các bit khác nhau xuất ra từ bộ mã hoá kênh và đã được đan xen bằng bộ đan xen bit lên các ô QAM. Mỗi ô biểu diễn một số phức có phần thực và phần ảo. Bộ ánh xạ QAM nhóm M bit thành một ô. Mỗi ô được coi là một số phức. M, là số lượng bit trong mỗi ô, bằng 2 đối với chòm điểm điều biến dịch pha vuông góc (Quaternary Phase Shift Keying, QPSK), bằng 4 đối với chòm điểm điều biến 16QAM, bằng 6 đối với chòm điểm điều biến 64QAM, và bằng 8 đối với chòm điểm điều biến 256QAM. Có thể sử dụng chòm điểm điều biến QAM có kích thước lớn hơn để nâng cao năng suất truyền. Ví dụ, chòm điểm điều biến 1K QAM là chòm điểm chứa 1024 điểm có thể có và được dùng để ánh xạ  $M = 10$  bit. Tiêu chuẩn DVB-T2 và các tiêu chuẩn trước đó sử dụng chòm điểm điều biến QAM đồng đều. Chòm điểm điều biến QAM đồng đều có hai đặc trưng quan trọng: các điểm có thể có trong chòm điểm này tạo thành dạng hình chữ nhật, và khoảng cách giữa mỗi cặp điểm liên tiếp là đồng đều. Chòm điểm điều biến QAM đồng đều rất dễ ánh xạ và khử ánh xạ.

Chòm điểm điều biến QAM cũng dễ sử dụng vì không cần phải được tối ưu hoá dưới dạng là hàm số phụ thuộc vào tỷ số tín hiệu/tạp nhiễu (Signal to Noise Ratio, SNR) hoặc tỷ lệ mã hoá của mã kênh giống như mã LDPC.

Tuy nhiên, năng suất của chòm điểm điều biến QAM đồng đều vẫn còn cách xa giới hạn theo lý thuyết, thường gọi là giới hạn Shannon. Hiệu suất tính theo tỷ lệ lỗi bit (Bit Error Rate, BER) hoặc tỷ lệ lỗi khung (Frame Error Rate, FER) có thể vẫn còn cách xa mức tối ưu.

Để rút ngắn khoảng cách so với giới hạn Shannon và tạo ra hiệu suất BER/FER cao hơn, thì chòm điểm không đồng đều (Non-Uniform Constellation, NUC) được tạo ra bằng cách bỏ đi hai đặc trưng của chòm điểm điều biến QAM đồng đều, đó là: tạo thành dạng hình vuông và khoảng cách đồng đều giữa các điểm trong chòm điểm.

### **Bản chất kỹ thuật của sáng chế**

Mục đích của sáng chế là nhằm giải quyết, khắc phục và/hoặc giảm bớt, ít nhất một phần, ít nhất một trong số các vấn đề và/hoặc nhược điểm liên quan đến các giải pháp kỹ thuật đã biết, ví dụ ít nhất một trong số các vấn đề và/hoặc nhược điểm được nêu trên đây. Mục đích của sáng chế là nhằm tạo ra ít nhất một ưu điểm so với các giải pháp kỹ thuật đã biết, ví dụ ít nhất một trong số các ưu điểm được nêu dưới đây.

Sáng chế đề xuất thiết bị truyền tín hiệu. Thiết bị truyền tín hiệu này bao gồm bộ mã hoá để thực hiện bước mã hoá kênh trên các bit và tạo ra từ mã, bộ đan xen để đan xen từ mã, và bộ điều biến để ánh xạ từ mã đã được đan xen lên một chòm điểm không đồng đều theo một sơ đồ điều biến, trong đó chòm điểm này có thể chứa các điểm được xác định dựa vào các bảng theo sơ đồ điều biến.

Các khía cạnh, ưu điểm và dấu hiệu nổi bật khác của sáng chế sẽ trở nên rõ ràng hơn đối với người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng sau khi xem phần mô tả chi tiết sáng chế dưới đây, kết hợp với các hình vẽ kèm theo, phần này mô tả các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế.

### **Mô tả vắn tắt các hình vẽ**

Các khía cạnh nêu trên và/hoặc các khía cạnh khác của sáng chế sẽ trở nên dễ hiểu hơn sau khi xem phần mô tả chi tiết sáng chế dưới đây, kết hợp với các hình vẽ kèm theo, trong đó:

Fig.1 là sơ đồ thể hiện thuật toán thứ nhất theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.2 là lưu đồ thể hiện các bước thực hiện trong thuật toán thứ nhất theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.3 thể hiện sự hội tụ của chòm điểm  $C_{last}$  với một trong số các thông số khi thuật toán thứ nhất trên Fig.1 và Fig.2 được thực hiện theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.4 là sơ đồ thể hiện thuật toán thứ hai để xác định chòm điểm tối ưu với giá trị SNR cho trước bằng  $S$  trên kênh có tạp nhiễu Gauss trắng cộng (Additive White Gaussian Noise, AWGN) theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.5 thể hiện sự hội tụ của chòm điểm  $C_{best}$  khi thuật toán thứ hai trên Fig.4 được thực hiện theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.6 là sơ đồ thể hiện thuật toán thứ ba để xác định chòm điểm tối ưu với giá trị SNR cho trước bằng  $S$  trên kênh có fading Rice với hệ số Rice mong muốn  $K_{rice}$  theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.7 là sơ đồ thể hiện thuật toán thứ tư để xác định chòm điểm tối ưu với giá trị SNR cho trước bằng  $S$  trên kênh có fading Rayleigh theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.8 là sơ đồ thể hiện thuật toán thứ năm để xác định chòm điểm tối ưu theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.9 thể hiện quy trình thu được chòm điểm tối ưu với một hệ thống cụ thể theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.10 là đồ thị biểu diễn hiệu suất BER theo giá trị SNR với sơ đồ điều biến 64-QAM sử dụng tỷ lệ mã hoá (Coding Rate, CR) kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp, LDPC, bằng 2/3 theo tiêu chuẩn DVB-T2 trên kênh AWGN theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.11 là sơ đồ thể hiện thuật toán thứ sáu để xác định chòm điểm tối ưu theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.12 cũng là sơ đồ thể hiện thuật toán thứ sáu được thể hiện trên Fig.11 theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;



Fig.13 thể hiện quy trình thu được giá trị SNR hình thác với một kiểu kênh nhất định theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.14 là sơ đồ thể hiện quy trình thu được hàm số đại lượng đo hiệu suất có trọng số với chòm điểm đầu vào dựa trên các điều kiện truyền khác nhau theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.15 thể hiện quy trình thu được chòm điểm tối ưu theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.16a và Fig.16b thể hiện các sơ đồ thay thế để tạo ra chòm điểm dự bị từ một chòm điểm trước theo các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.17 thể hiện kỹ thuật làm giảm độ phức tạp của thuật toán theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.18 thể hiện thiết bị thực hiện thuật toán theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.19 đến Fig.34 thể hiện các chòm điểm không đồng đều theo các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.35 là sơ đồ khối thể hiện cấu hình của thiết bị truyền tín hiệu theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế;

Fig.36 là sơ đồ khối thể hiện cấu hình của thiết bị thu tín hiệu theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế; và

Fig.37 là lưu đồ thể hiện phương pháp điều biến theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế.

### **Mô tả chi tiết sáng chế**

Phần mô tả sáng chế dưới đây sẽ mô tả chi tiết các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế dựa vào các hình vẽ kèm theo.

Trong phần mô tả sáng chế dưới đây, các số chỉ dẫn giống nhau được dùng để thể hiện các bộ phận giống nhau trên các hình vẽ khác nhau. Những thông tin chi tiết được nêu trong phần mô tả sáng chế, như cấu hình và các bộ phận chi tiết, được dùng để giúp cho người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng hiểu rõ về sáng chế. Vì

vậy, rõ ràng là, các phương án làm ví dụ có thể được thực hiện mà không cần dùng đến những thông tin chi tiết cụ thể đó. Ngoài ra, trong sáng chế sẽ không mô tả chi tiết các chức năng hoặc cấu trúc đã biết để tránh làm mờ nhạt các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế vì những chi tiết không cần thiết.

Phần mô tả các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế dưới đây có dựa vào các hình vẽ kèm theo được nêu ra để giúp hiểu rõ về ý tưởng sáng tạo của sáng chế này, như được xác định dựa vào các điểm yêu cầu bảo hộ. Sáng chế mô tả một số thông tin chi tiết cụ thể để giúp hiểu rõ về sáng chế, nhưng các thông tin chi tiết cụ thể đó chỉ được coi là ví dụ minh họa. Vì vậy, người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng phải hiểu rằng có nhiều phương án thay đổi và cải biến có thể được tìm ra dựa trên các phương án được mô tả trong sáng chế mà vẫn không bị coi là vượt ra ngoài phạm vi của sáng chế này.

Các bộ phận giống hoặc tương tự với nhau có thể được ký hiệu bằng các số chỉ dẫn giống hoặc tương tự với nhau mặc dù các bộ phận đó có thể được thể hiện trên các hình vẽ khác nhau.

Trong sáng chế có thể không mô tả chi tiết các kỹ thuật, cấu trúc, cấu hình, chức năng hoặc quy trình đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này vì để làm cho bản mô tả sáng chế rõ ràng và ngắn gọn, và để tránh làm mờ nhạt đối tượng yêu cầu bảo hộ của sáng chế theo các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế.

Các thuật ngữ và từ ngữ được dùng trong sáng chế không bị giới hạn ở nghĩa theo từ điển hoặc nghĩa chuẩn, những nghĩa đó chỉ được tác giả sáng chế sử dụng để giúp cho việc hiểu rõ ràng và thống nhất về các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế.

Trong toàn bộ phần mô tả sáng chế và yêu cầu bảo hộ của sáng chế này, các từ “bao gồm”, “có chứa” và “gồm có”, cùng với biến thể của các từ này, ví dụ như “gồm”, “chứa” và “có”, được hiểu là “bao gồm, nhưng không chỉ giới hạn ở đó”, và không nhằm (và không) loại trừ các dấu hiệu, phần tử, bộ phận, trị số, bước, thao tác, quy trình, chức năng, đặc trưng khác, và các dạng tương tự khác.

Trong toàn bộ phần mô tả sáng chế và yêu cầu bảo hộ của sáng chế này, khi đề cập đến “một” bộ phận thì cũng có nghĩa là đề cập đến nhiều bộ phận như vậy, trừ trường

hợp ngữ cảnh có quy định khác một cách rõ ràng. Ví dụ, khi đề cập đến “một đối tượng” thì cũng có nghĩa là đề cập đến một hoặc nhiều đối tượng như vậy.

Trong toàn bộ phần mô tả sáng chế và yêu cầu bảo hộ của sáng chế này, dạng tổng quát “bộ phận X để thực hiện Y” (trong đó Y là thao tác, quy trình, chức năng, hoạt động hoặc bước nào đó, và X là phương tiện nào đó để thực hiện thao tác, quy trình, chức năng, hoạt động hoặc bước kia) có nghĩa là phương tiện X được làm thích ứng, được tạo cấu hình hoặc được bố trí theo một cách cụ thể, nhưng không chỉ giới hạn ở đó, để thực hiện Y.

Cần phải hiểu rằng, các dấu hiệu, phần tử, bộ phận, trị số, bước, thao tác, quy trình, chức năng, đặc trưng, và các dạng tương tự khác, được mô tả liên quan đến một khía cạnh, phương án, ví dụ hoặc điểm yêu cầu bảo hộ cụ thể của sáng chế, có thể áp dụng được cho mọi khía cạnh, phương án, ví dụ hoặc điểm yêu cầu bảo hộ khác được nêu trong sáng chế, trừ trường hợp nó không tương thích.

Các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế có thể được thực hiện dưới dạng phương pháp, hệ thống và/hoặc thiết bị phù hợp bất kỳ để sử dụng trong hệ thống phát rộng kỹ thuật số, ví dụ dưới dạng thiết bị đầu cuối di động/cầm tay (như máy điện thoại di động), thiết bị cầm tay, máy tính cá nhân, thiết bị thu và/hoặc phát sóng phát thanh kỹ thuật số và/hoặc truyền hình kỹ thuật số, bộ giải mã để bàn, v.v.. Hệ thống và/hoặc thiết bị như vậy có thể tương thích với mọi hệ thống và/hoặc tiêu chuẩn phát rộng kỹ thuật số phù hợp đang có ở hiện tại hoặc sẽ có trong tương lai, ví dụ như một hoặc nhiều hệ thống và/hoặc tiêu chuẩn phát rộng kỹ thuật số được đề cập trong sáng chế.

Chòm điểm không đồng đều (NUC) theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế có thể được tạo ra hoặc thu được bằng cách sử dụng mọi phương pháp hoặc thuật toán phù hợp bao gồm các bước (hoặc thao tác) để tạo ra hoặc thu được chòm điểm không đồng đều đó. Chòm điểm không đồng đều theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế có thể được tạo ra hoặc thu được bằng mọi thiết bị hoặc hệ thống được bố trí theo cách phù hợp bao gồm phương tiện để tạo ra hoặc thu được chòm điểm không đồng đều đó. Các phương pháp hoặc thuật toán được mô tả trong sáng chế có thể được thực hiện trong mọi thiết bị hoặc hệ thống được bố trí theo cách phù hợp bao gồm phương tiện để thực hiện các bước trong các phương pháp hoặc thuật toán đó.

Theo một số phương án làm ví dụ, sáng chế đề xuất thuật toán để thu được chòm điểm không đồng đều. Chòm điểm không đồng đều thu được theo các phương án làm ví dụ này có thể đạt được năng suất cao hơn so với chòm điểm đồng đều tương đương (ví dụ chòm điểm đồng đều có cùng thứ tự sắp xếp). Theo một số phương án làm ví dụ, sáng chế có thể thu được chòm điểm không đồng đều tối ưu bằng cách áp dụng thuật toán với độ phức tạp tương đối thấp và hiệu quả tính toán tương đối cao. Ví dụ, thuật toán theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế có thể thu được chòm điểm không đồng đều tối ưu nhanh hơn nhiều so với thuật toán áp dụng phương pháp thô bạo (brute force) để tìm kiếm tất cả (hoặc phần lớn) các chòm điểm dự bị có thể có. Theo một số phương án làm ví dụ, sáng chế đề xuất thuật toán để thu được các chòm điểm không đồng đều tối ưu phù hợp với chòm điểm có kích thước rất lớn (ví dụ có trên 1024 điểm trong chòm điểm). Một số phương án thực hiện sáng chế được mô tả dưới đây, theo các phương án đó sẽ thu được các chòm điểm điều biến biên độ vuông góc (QAM) không đồng đều (Non-Uniform, NU). Tuy nhiên, người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng sẽ hiểu rằng, sáng chế không chỉ giới hạn ở các chòm điểm điều biến QAM, mà sáng chế có thể được áp dụng cho các kiểu chòm điểm khác.

Như đã nêu trên, một chòm điểm có thể được xác định đặc trưng dựa vào nhiều thông số, ví dụ thông số xác định khoảng cách giữa các điểm trong chòm điểm, hoặc thông số xác định vị trí của mỗi giá trị phần thực dương (có thể thu được các chòm điểm hoàn chỉnh dựa vào các thông số này vì các chòm điểm có cùng giá trị trên trục thực và trục ảo và có cùng giá trị dương và giá trị âm). Để thu được chòm điểm tối ưu, có thể thực hiện phương pháp thô bạo, trong đó các tổ hợp của các giá trị với mỗi thông số được tìm kiếm với một cỡ bước nhất định cho đến khi đạt tới một giá trị tối đa nào đó. Mỗi tổ hợp của các giá trị với mỗi thông số sẽ tương ứng với một chòm điểm riêng biệt. Chòm điểm có hiệu suất cao nhất sẽ được chọn.

Tuy nhiên, theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, số lượng thông số có thể giảm xuống bằng cách giữ lại một hoặc một số điều kiện ràng buộc liên quan đến sơ đồ hình học và/hoặc tính đối xứng nhất định áp dụng cho chòm điểm. Ví dụ, chòm điểm có thể có một điều kiện ràng buộc là chòm điểm phải có tính đối xứng giữa bốn góc phần tư. Ngoài ra, chòm điểm có thể còn có điều kiện ràng buộc là các điểm trong chòm

điểm được sắp xếp thành một mẫu kiểu QAM ở trong mỗi góc phần tư, (i) các điểm trong chòm điểm được sắp xếp thành các hàng ngang và các hàng dọc, (ii) số lượng hàng ngang bằng số lượng hàng dọc, (iii) số lượng điểm trong chòm điểm được sắp xếp trong mỗi hàng ngang là bằng nhau, và (iv) số lượng điểm trong chòm điểm được sắp xếp trong mỗi hàng dọc là bằng nhau. Ví dụ khác, chòm điểm có thể có điều kiện ràng buộc là chòm điểm có dạng hình tròn (ví dụ chòm điểm có tính đối xứng vòng). Ngoài ra, các chòm điểm có sự sắp xếp tương đối giống nhau, chỉ khác nhau về kích thước, có thể được coi là tương đương với nhau. Trong trường hợp này, một trong số các thông số có thể được đặt bằng một giá trị cố định. Người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng sẽ hiểu rằng sáng chế không bị giới hạn ở các ví dụ nêu trên, và có thể sử dụng một hoặc một số điều kiện ràng buộc khác hoặc điều kiện ràng buộc bổ sung.

Theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, chòm điểm điều biến QAM không đồng đều (Non-Uniform QAM, NU-QAM) có thể là chòm điểm tuân theo một hoặc một số điều kiện ràng buộc liên quan đến sơ đồ hình học và/hoặc tính đối xứng, ví dụ tuân theo một hoặc một số điều kiện ràng buộc hoặc tất cả các điều kiện ràng buộc nêu trên, hoặc là chòm điểm thu được bằng phép xoay và/hoặc thay đổi tỷ lệ chòm điểm. Chòm điểm điều biến N-QAM không đồng đều có thể là chòm điểm điều biến QAM không đồng đều chứa N điểm trong chòm điểm.

Khi áp dụng các điều kiện ràng buộc nêu trên, số lượng thông số có thể giảm xuống chỉ còn, ví dụ 1, 3, 7, 15, 31 và 63 thông số lần lượt tương ứng với các chòm điểm chứa 16, 64, 256, 1024, 4096 và 16384 điểm. Số lượng thông số trong tập hợp thông số đã rút gọn có thể được ký hiệu là  $b$ . Ví dụ,  $b = 1$  với chòm điểm điều biến 16-QAM (trong đó có 16 vị trí đối xứng với nhau qua trục thực/trục ảo và trục dương/trục âm). Do đó chỉ có 2 điểm cần phải xác định. Vì tổng số bậc của chòm điểm thường được chuẩn hoá bằng một, cho nên việc giữ cố định một thông số sẽ giữ cố định thông số kia. Vì vậy,  $b = 1$  với chòm điểm điều biến 16QAM có dạng hình vuông.

Theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, các tổ hợp của các giá trị với mỗi thông số trong số  $b$  thông số được tìm kiếm với cỡ bước  $d$  tăng lên đến giá trị tối đa bằng  $A$ . Do đó, số lần tìm kiếm lặp lại bằng  $(A/d)^b$ .

Thuật toán thứ nhất để thu được chòm điểm không đồng đều tối ưu với một giá trị

SNR cho trước sẽ được mô tả dưới đây dựa vào một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Thuật toán này sử dụng sơ đồ lặp để sửa đổi dần dần chòm điểm ban đầu cho đến khi chòm điểm hội tụ. Ví dụ, chòm điểm ban đầu có thể là chòm điểm đồng đều, chòm điểm này có thể được sửa đổi bằng cách thay đổi giá trị của các thông số giữa các lần lặp, và sự hội tụ xuất hiện khi giá trị của tất cả các thông số thay đổi với một lượng nhỏ hơn mức ngưỡng giữa các lần lặp. Chòm điểm tối ưu có thể được định nghĩa là chòm điểm có hiệu suất cao nhất theo một đại lượng đo phù hợp bất kỳ. Ví dụ, đại lượng đo này có thể là năng suất điều biến mã hoá (Coded Modulation, CM) hoặc năng suất BICM. Trong ví dụ dưới đây sẽ thu được chòm điểm điều biến 64-QAM không đồng đều, trong đó số lượng thông số thay đổi (đã giảm), b, bằng 3.

Fig.1 là sơ đồ thể hiện thuật toán thứ nhất theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, và Fig.2 là lưu đồ thể hiện các bước thực hiện trong thuật toán thứ nhất theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Trong thuật toán này có sử dụng các thông số thay đổi sau đây. Thông số  $C\_last$  biểu thị một chòm điểm cụ thể, tương ứng với một tập hợp giá trị cụ thể của b thông số. Thông số  $C\_last$  được thiết lập giá trị ban đầu bằng một chòm điểm ban đầu nhất định, ví dụ chòm điểm đồng đều. Thông số SNR biểu thị tỷ số tín hiệu/tạp nhiễu. Thông số SNR được thiết lập ở một giá trị mong muốn bằng giá trị SNR cho chòm điểm tối ưu mong muốn. Thông số  $C\_best$  biểu thị chòm điểm có hiệu suất cao nhất, ví dụ có năng suất CM hoặc năng suất BICM cao nhất, với một giá trị SNR cho trước. Thông số d biểu thị cỡ bước thứ nhất được dùng trong thuật toán. Thông số d (hoặc Step) được thiết lập giá trị ban đầu bằng một giá trị phù hợp có thể được xác định theo lý thuyết và/hoặc thực nghiệm. Thông số Min\_Step biểu thị giá trị nhỏ nhất cho phép của d, và được đặt bằng một giá trị cố định.

Ở bước S201,  $C\_last$  được thiết lập giá trị ban đầu bằng chòm điểm đầu vào. Ở bước tiếp theo S203, bước d được thiết lập giá trị ban đầu bằng giá trị Ini\_Step. Ở bước S205, tập hợp chòm điểm dự bị được tạo ra. Tập hợp chòm điểm dự bị này gồm có chòm điểm  $C\_last$  và một hoặc nhiều chòm điểm sửa đổi, trong đó mỗi chòm điểm sửa đổi thu được bằng cách thay đổi một hoặc nhiều giá trị của các thông số tạo nên chòm điểm  $C\_last$  sử dụng một sơ đồ phù hợp bất kỳ. Trong ví dụ được thể hiện trên hình vẽ, tập hợp chòm điểm dự bị được tạo ra dựa vào các thông số  $C\_last$  và d, được ký hiệu bằng hàm

số  $\text{CreateSet}(C\_last, d)$ . Ví dụ, với mỗi chòm điểm đầu vào, có ba chòm điểm được tạo ra  $[C\_last, C\_last + d, C\_last - d]$ . Cụ thể, một tập hợp chòm điểm được tạo ra với giá trị của mỗi thông số trong số  $b$  thông số của chòm điểm  $C\_last$  được đặt bằng một trong số  $n$  giá trị mới thay đổi xung quanh giá trị thông số hiện thời. Ví dụ, có thể sử dụng ba giá trị mới ( $n = 3$ ), gồm có (i) giá trị thông số hiện thời, (ii) giá trị lớn hơn giá trị thông số hiện thời với mức chênh lệch bằng  $d$ , và (iii) giá trị nhỏ hơn giá trị thông số hiện thời với mức chênh lệch bằng  $d$ . Ví dụ, nếu có hai mức chòm điểm cần xác định thì số lượng chòm điểm cần kiểm thử là  $3 \times 3$  (tương ứng với ba vị trí cho mỗi mức). Tất cả các tổ hợp của các giá trị thông số mới đều được sử dụng để tạo ra tập hợp chòm điểm. Do đó, tập hợp chòm điểm có tổng số là  $n^b$  chòm điểm. Mặc dù theo phương án nêu trên, có ba giá trị mới cho mỗi thông số được sử dụng, nhưng theo phương án khác, mọi số lượng giá trị mới phù hợp đều có thể được sử dụng. Tập hợp giá trị mới có thể chứa giá trị cũ (hoặc giá trị hiện thời), hoặc có thể không chứa giá trị cũ.

Theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, vì có ba giá trị cho mỗi mức được chọn cho nên tổng số chòm điểm có thể có cần kiểm thử là  $3^b$ , trong đó  $b$  là số lượng mức (số lượng thông số) cần tối ưu hoá. Đối với các chòm điểm có bậc rất cao, ví dụ trên  $1K$ , thì  $3^b$  có thể là một giá trị rất lớn. Trong trường hợp đó, tất cả các mức có thể được giữ cố định, ngoại trừ một mức, vì vậy ba chòm điểm có thể có tương ứng với mức đó sẽ được kiểm thử,  $C\_last$ ,  $C\_last + d$  và  $C\_last - d$ , cho đến khi đạt được sự hội tụ. Sau đó, thao tác này có thể được lặp lại với các mức khác. Khối lượng tính toán cho thao tác này là một hàm số nhân và không phải là một hàm số mũ (ví dụ, nếu giả sử rằng mỗi mức hội tụ trong một lần lặp thì khối lượng tính toán sẽ là  $3 \times b$  lần lặp, thay vì là  $3^b$  lần lặp).

Ở bước S207, hiệu suất của mỗi chòm điểm trong tập hợp chòm điểm (dự bị) đã tạo ra được tính hoặc được xác định bằng cách sử dụng một đại lượng đo hiệu suất phù hợp bất kỳ (ví dụ năng suất). Ở bước S209, chòm điểm dự bị có hiệu suất cao nhất (ví dụ chòm điểm dự bị có năng suất cao nhất) được chọn làm  $C\_best$ . Ở bước S211, xác định xem có phải là mức chênh lệch giữa  $C\_best$  và  $C\_last$  lớn hơn mức ngưỡng hay không. Chẳng hạn như, trong ví dụ được thể hiện trên hình vẽ, mức ngưỡng này bằng không, cho nên sẽ xác định xem có phải là  $C\_best = C\_last$  hay không. Nghĩa là, xác định xem có sự

chênh lệch giữa chòm điểm  $C\_best$  và chòm điểm  $C\_last$  hay không (ví dụ trong phạm vi độ phân giải nhất định). Mức chênh lệch có thể là một đại lượng đo mức chênh lệch phù hợp bất kỳ, ví dụ đó là mức chênh lệch dựa trên sơ đồ hình học (như mức chênh lệch về vị trí của các điểm trong chòm điểm giữa các chòm điểm này) và/hoặc một đại lượng đo hiệu suất (như mức chênh lệch về một đại lượng đo hiệu suất nhất định giữa các chòm điểm này). Nếu ở bước S211 xác định thấy rằng  $C\_best \neq C\_last$ , thì ở bước S213, thông số  $C\_last$  nhận giá trị  $C\_best$  (tức là giá trị của thông số  $C\_last$  trong lần lặp kế tiếp bằng giá trị  $C\_best$  trong lần lặp hiện thời) và quy trình này quay lại bước S205, ở đó một tập hợp chòm điểm dự bị được tạo ra dựa vào các thông số  $C\_last$  và  $d$ ,  $CreateSet(C\_last, d)$ . Mặt khác, nếu ở bước S211 xác định thấy rằng  $C\_best = C\_last$ , thì ở bước S215, thông số  $C\_last$  nhận giá trị  $C\_best$  và quy trình này chuyển đến bước S217.

Ở bước S217, xác định xem có phải là  $d < Min\_Step$  hay không. Nếu ở bước S217 xác định thấy rằng  $d \geq Min\_Step$ , thì quy trình này chuyển đến bước S219, ở đó cỡ bước  $d$  sẽ giảm xuống. Ví dụ, lấy  $d$  chia cho một hệ số nhất định (ví dụ chia cho 2). Sau bước S219, quy trình này quay lại bước S205, ở đó một tập hợp chòm điểm dự bị được tạo ra dựa vào các thông số  $C\_last$  và  $d$  (tức là,  $d$  đã giảm),  $CreateSet(C\_last, d)$ . Mặt khác, nếu ở bước S217 xác định thấy rằng  $d < Min\_Step$ , thì giá trị  $C\_best$  được lưu trữ và thuật toán này kết thúc.

Fig.3 thể hiện sự hội tụ của chòm điểm  $C\_last$  với một trong số các thông số khi thuật toán thứ nhất thể hiện trên Fig.1 và Fig.2 được thực hiện. Ban đầu, giá trị của thông số hội tụ đến một giá trị nhất định. Khi giá trị của thông số đã hội tụ trong phạm vi độ phân giải nhất định, thì cỡ bước  $d$  sẽ giảm xuống và giá trị của thông số vẫn tiếp tục hội tụ, quy trình này cứ tiếp diễn cho đến khi cỡ bước  $d$  đạt tới giá trị cỡ bước nhỏ nhất.

Trong ví dụ được thể hiện trên Fig.3, với mỗi lần lặp, ba giá trị thông số mới được kiểm thử, như được biểu diễn bằng cột dọc gồm các chấm tròn. Thông số mới phù hợp nhất trong mỗi lần lặp được biểu diễn trên Fig.3 dưới dạng chấm tròn đen. Giá trị thông số phù hợp nhất trong một lần lặp được dùng làm giá trị thông số mới trong lần lặp kế tiếp. Do đó, trong ví dụ được thể hiện trên Fig.3, ba giá trị thông số mới được kiểm thử (gồm có thông số hiện thời và các thông số lớn hơn và nhỏ hơn thông số hiện thời với mức chênh lệch bằng  $d$ ), chấm tròn đen trong lần lặp này tương ứng với chấm tròn ở giữa



trong số ba chấm tròn sắp xếp thành một cột trong lần lặp kế tiếp.

Theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, các bước S217 và S219 trong thuật toán được thể hiện trên Fig.2 có thể được loại bỏ, vì vậy các bước S205, S207, S209, S211, S213 và S215 được thực hiện bằng cách sử dụng cỡ bước ban đầu. Trong trường hợp đó, nếu ở bước S215 xác định thấy rằng  $C_{best} = C_{last}$ , thì cỡ bước sẽ không giảm nữa, giá trị  $C_{best}$  sẽ được lưu trữ và thuật toán này kết thúc. Nhờ việc loại bỏ các bước S217 và S219, thuật toán có thể có khả năng kết thúc nhanh hơn. Tuy nhiên, nếu so sánh với chòm điểm tối ưu đích thực thì mức độ khác biệt của chòm điểm đầu ra  $C_{best}$  thu được trong trường hợp đó có thể lớn hơn mức độ khác biệt của chòm điểm đầu ra  $C_{best}$  thu được theo thuật toán được thể hiện trên Fig.2, trong đó cỡ bước  $d$  có giảm xuống. Nhìn vào Fig.3 có thể thấy rằng giá trị thông số phù hợp nhất trong lần lặp cuối cùng nằm cách giá trị tối ưu (được thể hiện bằng đường nằm ngang) gần hơn so với giá trị thông số phù hợp nhất khi hội tụ với cỡ bước ban đầu.

Thuật toán thứ nhất nêu trên xác định chòm điểm tối ưu dựa trên một đại lượng đo hiệu suất nhất định (ví dụ năng suất). Trong phần mô tả sáng chế dưới đây, một số thuật toán để xác định chòm điểm tối ưu cho hệ thống truyền dữ liệu được xác định bằng một tập hợp gồm một hoặc nhiều giá trị thông số hệ thống, trong đó chòm điểm được tối ưu hoá với một giá trị mong muốn nhất định của một thông số hệ thống (ví dụ giá trị SNR nhất định hoặc hệ số Rice nhất định). Theo các phương án này, giá trị thông số hệ thống được thiết lập bằng một giá trị ban đầu (ví dụ bằng một giá trị tương đối lớn) và chòm điểm tối ưu được tạo ra bằng cách áp dụng thuật toán nêu trên (ví dụ thuật toán được thể hiện trên Fig.2), trong đó đại lượng đo hiệu suất được xác định dựa trên hệ thống truyền dữ liệu đã xác định có giá trị thông số hệ thống đã thiết lập. Sau đó, giá trị thông số hệ thống được thiết lập lại bằng một giá trị sửa đổi (ví dụ bằng cách giảm giá trị đó với một cỡ bước nhất định) và thuật toán này được thực hiện lại. Các giá trị thông số hệ thống khác có thể vẫn giữ cố định. Quy trình này được lặp lại cho đến khi giá trị thông số hệ thống đạt tới một giá trị mong muốn nhất định.

Ví dụ, Fig.4 là sơ đồ thể hiện thuật toán thứ hai để xác định chòm điểm tối ưu với giá trị SNR cho trước bằng  $S$  trên kênh có tạp nhiễu Gauss trắng cộng (AWGN). Ở bước S401, thuật toán này được thiết lập giá trị ban đầu bằng cách gán cho thông số SNR một

giá trị lớn  $N$ , trong đó  $N$  có giá trị lớn. Ví dụ, giá trị SNR ban đầu có thể được đặt bằng giá trị SNR mà với giá trị này thì chòm điểm không đồng đều tạo ra hiệu suất không cao hơn so với chòm điểm đồng đều tương đương. Giá trị này có thể được xác định, ví dụ theo lý thuyết và/hoặc thực nghiệm. Ở bước S401, thông số  $C\_last$  cũng được thiết lập giá trị ban đầu bằng một chòm điểm nhất định, ví dụ chòm điểm đồng đều.

Ở bước S403, thuật toán thứ nhất nêu trên được thực hiện bằng cách sử dụng chòm điểm ban đầu  $C\_last$  làm chòm điểm đầu vào và sử dụng giá trị SNR ban đầu. Khi áp dụng thuật toán thứ nhất, chòm điểm  $C\_last$  sẽ hội tụ đến chòm điểm tối ưu  $C\_best$  với một giá trị SNR đầu vào cụ thể. Giá trị đầu ra của bước S403 là giá trị  $C\_best$  thu được sau khi áp dụng thuật toán thứ nhất. Ở bước S405, giá trị SNR được giảm đi một lượng nhất định, ví dụ một đơn vị hoặc một cỡ bước. Ở bước S405, thông số  $C\_last$  nhận giá trị  $C\_best$  (tức là giá trị của thông số  $C\_last$  trong lần lặp kế tiếp bằng giá trị  $C\_best$  trong lần lặp hiện thời). Ở bước S407, xác định xem có phải là  $SNR < S$  hay không. Nếu ở bước S407 xác định thấy rằng  $SNR \geq S$ , thì quy trình này quay lại bước S403, ở đó thuật toán thứ nhất được thực hiện với các giá trị mới của các thông số  $C\_last$  và SNR. Mặt khác, nếu ở bước S407 xác định thấy rằng  $SNR < S$ , thì giá trị  $C\_best$  được lưu trữ và thuật toán này kết thúc. Khi áp dụng thuật toán thứ hai, chòm điểm  $C\_best$  thu được là chòm điểm tối ưu với giá trị SNR mong muốn bằng  $S$ .

Fig.5 thể hiện sự hội tụ của chòm điểm  $C\_best$  khi thuật toán thứ hai trên Fig.4 được thực hiện. Mỗi đường cong trong số ba đường cong biểu diễn sự thay đổi giá trị của một thông số tương ứng trong số ba thông số thay đổi. Đường nét liền có giá trị không đổi biểu diễn giá trị cố định của thông số được giữ cố định. Như được thể hiện trên Fig.5, lúc bắt đầu thực hiện thuật toán thứ hai, bắt đầu từ phía bên phải trên Fig.5, giá trị SNR có giá trị lớn và chòm điểm là chòm điểm đồng đều, như được xác định dựa vào giá trị của các thông số ở phía bên phải trên Fig.5, được gọi là “Điều kiện ban đầu”. Với mỗi lần lặp, chòm điểm tối ưu được tạo ra với giá trị SNR cụ thể (được thể hiện bằng các ký hiệu trên Fig.5). Sau đó, giá trị SNR được giảm xuống và chòm điểm tối ưu được tạo ra với giá trị SNR mới (quy trình này được thể hiện bằng đường có dạng bậc thang trên Fig.5 với một trong số các thông số). Như được thể hiện trên Fig.5, giá trị của các thông số tương ứng với chòm điểm tối ưu thay đổi trơn tru theo sự thay đổi của giá trị SNR. Quy

trình này được lặp lại cho đến khi giá trị SNR đạt tới giá trị SNR mong muốn bằng S.

Sau khi thực hiện thuật toán thứ hai được thể hiện trên Fig.4, chòm điểm tối ưu được tìm ra dựa vào mỗi giá trị trong một tập hợp giá trị SNR. Các chòm điểm này có thể được lưu trữ kèm theo các giá trị SNR tương ứng, ví dụ vào trong bảng dò tìm.

Fig.6 là sơ đồ thể hiện thuật toán thứ ba để xác định chòm điểm tối ưu với giá trị SNR cho trước bằng S trên kênh có fading Rice với hệ số Rice mong muốn  $K_{rice}$ . Kênh có fading Rice được biểu diễn bằng biểu thức sau đây:

$$\sqrt{\frac{K}{K+1}} + \sqrt{\frac{1}{K+1}}h \quad (1)$$

Trong biểu thức 1, K là hệ số Rice và h là phân bố Rayleigh (đã định tâm và chuẩn hoá). Ban đầu, thuật toán thứ ba sử dụng thuật toán thứ hai nêu trên để thu được chòm điểm tối ưu  $C_{best}$  ở giá trị SNR bằng S cho kênh AWGN,  $C_{best}(AWGN)$ . Ở bước S601, thông số  $C_{last}$  được thiết lập giá trị ban đầu bằng giá trị  $C_{best}(AWGN)$ . Ở bước S601, hệ số Rice K được thiết lập giá trị ban đầu bằng một giá trị lớn, giá trị này có thể được xác định theo lý thuyết và/hoặc thực nghiệm. Ví dụ, K có thể được thiết lập giá trị ban đầu bằng giá trị  $K_{rice} + N$ , trong đó N có giá trị lớn.

Ở bước S603, thuật toán thứ nhất nêu trên được thực hiện bằng cách sử dụng chòm điểm ban đầu  $C_{last}$  làm chòm điểm đầu vào và sử dụng hệ số Rice ban đầu K để thu được chòm điểm tối ưu  $C_{best}$ . Ở bước S605, hệ số Rice K được giảm đi một lượng nhất định, ví dụ giảm đi một đơn vị. Ở bước S605, thông số  $C_{last}$  nhận giá trị  $C_{best}$  (tức là giá trị của thông số  $C_{last}$  trong lần lặp kế tiếp bằng giá trị  $C_{best}$  trong lần lặp hiện thời). Ở bước S607, xác định xem có phải là  $K < K_{rice}$  hay không. Nếu ở bước S607 xác định thấy rằng  $K \geq K_{rice}$ , thì quy trình này quay lại bước S603, ở đó thuật toán thứ nhất được thực hiện với các giá trị mới của các thông số  $C_{last}$  và K. Mặt khác, nếu ở bước S607 xác định thấy rằng  $K < K_{rice}$ , thì giá trị  $C_{best}$  được lưu trữ và thuật toán này kết thúc. Sau khi áp dụng thuật toán thứ ba, chòm điểm  $C_{best}$  thu được là chòm điểm tối ưu với hệ số Rice mong muốn  $K_{rice}$ .

Fig.7 là sơ đồ thể hiện thuật toán thứ tư để xác định chòm điểm tối ưu với giá trị SNR cho trước bằng S trên kênh có fading Rayleigh. Kênh có fading Rayleigh là một

trường hợp đặc biệt của kênh có fading Rice với hệ số Rice  $K = 0$ . Do đó, thuật toán thứ tư giống như thuật toán thứ ba nêu trên, ngoại trừ  $K_{\text{rice}}$  được đặt bằng không.

Bảng 1 dưới đây so sánh số lần gọi hàm số tính năng suất để thu được các chòm điểm tối ưu với các kích thước chòm điểm khác nhau (16-QAM, 64-QAM và 256-QAM) khi áp dụng thuật toán tìm kiếm toàn bộ, thuật toán tìm kiếm toàn bộ thu hẹp và thuật toán tìm kiếm theo sáng chế. Các giá trị trong bảng 1 được xác định dựa vào cỡ bước bằng 0,0125 và giá trị tối đa của các thông số bằng 10. Bảng 1 còn thể hiện hệ số tăng ích so sánh khi áp dụng thuật toán tìm kiếm toàn bộ thu hẹp và khi áp dụng thuật toán tìm kiếm theo sáng chế. Như có thể thấy, thuật toán tìm kiếm theo sáng chế đạt được hiệu quả cao hơn nhiều, ví dụ có hệ số tăng ích bằng  $1,15 \times 10^{10}$  đối với chòm điểm điều biến 256-QAM.

Bảng 1

|        | Thuật toán tìm kiếm toàn bộ | Thuật toán tìm kiếm toàn bộ thu hẹp | Thuật toán tìm kiếm theo sáng chế | Hệ số tăng ích của thuật toán tìm kiếm theo sáng chế so với thuật toán tìm kiếm toàn bộ thu hẹp |
|--------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 16QAM  | 800                         | 800                                 | 21                                | 38                                                                                              |
| 64QAM  | 5,1e9                       | 1,9e8                               | 1701                              | 117577                                                                                          |
| 256QAM | 2,1e21                      | 2,5e15                              | 216513                            | 1,15e10                                                                                         |

Trong bảng 1, thuật toán tìm kiếm toàn bộ và thuật toán tìm kiếm toàn bộ thu hẹp có sự khác nhau như sau. Trong phần mô tả sáng chế dưới đây, giả sử có 4 mức (thông số) nằm trong khoảng từ 0 đến 10. Đối với thuật toán tìm kiếm toàn bộ, mỗi thông số trong số 4 thông số được tìm kiếm trên toàn bộ khoảng giá trị  $[0 - 10]$  với một cỡ bước nhất định. Đối với thuật toán tìm kiếm toàn bộ thu hẹp, mỗi mức sẽ nằm ở trong một khoảng giá trị được giữ cố định. Ví dụ, mức 1 (thông số thứ nhất) nằm trong khoảng  $[0 - 2,5]$ , mức 2 nằm trong khoảng  $[2,5 - 5]$ , mức 3 nằm trong khoảng  $[5 - 7,5]$ , mức 4 nằm trong khoảng  $[7,5 - 10]$ . Theo cách này, số lượng trường hợp có thể xảy ra sẽ giảm xuống.

Fig.8 là sơ đồ thể hiện thuật toán thứ năm để xác định chòm điểm tối ưu. Thuật toán này tương ứng và gần giống với thuật toán được thể hiện trên Fig.2, tuy nhiên thuật toán này có sửa đổi để nâng cao hiệu quả chung. Thuật toán này có vòng lặp trong gồm các

bước (từ bước S803 đến bước S819) tương ứng với các bước từ bước S203 đến bước S219 trên Fig.2. Tuy nhiên, bước S805 để tạo ra tập hợp chòm điểm dự bị có sửa đổi so với bước S205 tương ứng trên Fig.2. Cụ thể, trong thuật toán trên Fig.8, thay vì thay đổi mỗi thông số trong số b thông số và kiểm thử tất cả các tổ hợp của các thông số mới như trong thuật toán trên Fig.2, thì mỗi lần chỉ thay đổi duy nhất một thông số. Ví dụ, trong một lần lặp của vòng lặp trong gồm các bước S803-S819, chỉ thay đổi một thông số (thông số i) để tạo ra một tập hợp chòm điểm dự bị. Hiệu suất của các chòm điểm này được tính và chòm điểm có hiệu suất cao nhất được chọn, như được thể hiện trên Fig.2.

Trong thuật toán trên Fig.8, giá trị của thông số i thay đổi trong khoảng từ 1 đến b bằng cách sử dụng vòng lặp ngoài (gồm các bước từ bước S821 đến bước S825). Thuật toán trên Fig.8 được thiết lập giá trị ban đầu ở bước S801, tương ứng với bước S201 trong thuật toán trên Fig.2. Có thể nhận thấy rằng, khi áp dụng thuật toán trên Fig.8, thay cho thuật toán trên Fig.2, thì tổng số chòm điểm dự bị được kiểm thử (tức là tổng số phép tính hiệu suất) giảm đi đáng kể. Tuy nhiên, trong các mô hình, chòm điểm tối ưu thu được khi áp dụng thuật toán trên Fig.8 rất giống với chòm điểm tối ưu thu được khi áp dụng thuật toán trên Fig.2, mà chòm điểm tối ưu thu được khi áp dụng thuật toán trên Fig.2 lại rất giống với chòm điểm tối ưu đích thực thu được khi áp dụng thuật toán tìm kiếm toàn bộ. Hiệu quả tính toán khi áp dụng các thuật toán theo các phương án nêu trên của sáng chế, so với khi áp dụng thuật toán tìm kiếm toàn bộ, được nâng cao càng nhiều khi bậc của chòm điểm càng tăng.

Cũng giống như thuật toán được thể hiện trên Fig.2, theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, các bước S817 và S819 trong thuật toán được thể hiện trên Fig.8 có thể được loại bỏ.

Theo các phương án nêu trên, các chòm điểm tối ưu có thể thu được với các thông số cụ thể, ví dụ giá trị SNR, hệ số Rice, v.v.. Các chòm điểm tối ưu này thu được không phụ thuộc vào việc sử dụng bất cứ hệ thống cụ thể nào, ví dụ không phụ thuộc vào sơ đồ mã hoá cụ thể. Phần mô tả sáng chế dưới đây sẽ mô tả các phương án khác nhau để thu được chòm điểm tối ưu với một hệ thống truyền dữ liệu cụ thể.

Hệ thống truyền dữ liệu có thể có một số quy trình ảnh hưởng đến chòm điểm tối ưu, ví dụ như các quy trình mã hoá sửa lỗi trước (Forward Error Correction, FEC), đan

xen bit, phân kênh các bit ra thành các ô, ánh xạ các ô lên các chòm điểm, đan xen ô, phép xoay chòm điểm, đan xen các thành phần đồng pha với các thành phần có pha vuông góc (In-phase and Quadrature phase component interleaving, I/Q), tích chập giữa các khung và đan xen khối giữa các khung, và mã hoá trước theo sơ đồ có nhiều đầu vào một đầu ra (Multiple-Input-Single-Output, MISO). Bộ ánh xạ QAM được sử dụng trong chuỗi điều biến mã hoá đan xen bit (BICM) để ánh xạ từ các bit lên các ký hiệu. Bộ ánh xạ QAM có thể sử dụng một chòm điểm đồng đều để ánh xạ từ các bit lên các ô (ví dụ như được thực hiện trong hệ thống theo tiêu chuẩn DVB-T2). Tuy nhiên, có thể đạt được hiệu quả nâng cao năng suất khi sử dụng một chòm điểm không đồng đều cố định. Chòm điểm không đồng đều không cố định (ví dụ chòm điểm điều biến QAM) có thể được sử dụng để nâng cao năng suất hơn nữa. Năng suất BICM phụ thuộc vào ánh xạ từ các bit lên các ô được sử dụng. Điều mong muốn là tối ưu hoá thiết kế mã LDPC, ánh xạ QAM và ánh xạ từ các bit lên các ô.

Theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, các chòm điểm khác nhau được tạo ra bằng cách sử dụng một cỡ bước nhất định. Tỷ lệ lỗi bit (BER), tỷ lệ lỗi khối và/hoặc tỷ lệ lỗi gói tương ứng với các chòm điểm được tìm ra, và chòm điểm có hiệu suất cao nhất được chọn dựa vào một hoặc nhiều loại tỷ lệ lỗi nêu trên.

Theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, quy trình được thể hiện trên Fig.9 có thể được thực hiện để thu được chòm điểm tối ưu với một hệ thống cụ thể. Ở bước S901, chòm điểm đồng đều (ví dụ chòm điểm điều biến QAM đồng đều) được chọn. Ở bước S903, các giá trị BER của chòm điểm đồng đều đã chọn được tìm ra với một khoảng giá trị SNR (ví dụ bằng cách sử dụng mô hình hoặc bằng cách thu được các giá trị BER theo lý thuyết hoặc thực nghiệm). Các giá trị này có thể được tìm ra dựa trên một hệ thống cụ thể, ví dụ sử dụng một sơ đồ mã hoá cụ thể (như mã hoá LDPC với một ma trận kiểm tra chẵn lẻ nhất định) có tỷ lệ mã hoá nhất định và một bộ đan xen bit và đan xen ô nhất định. Fig.10 là đồ thị biểu diễn hiệu suất BER theo giá trị SNR với sơ đồ điều biến 64-QAM sử dụng tỷ lệ mã hoá LDPC bằng 2/3 theo tiêu chuẩn DVB-T2 trên kênh AWGN theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế.

Ở bước S905, giá trị SNR mà ở đó đường cong BER giảm xuống thấp hơn giá trị ngưỡng (ví dụ 0,001) được xác định. Giá trị ngưỡng có thể được chọn sao cho giá trị

SNR thu được rơi vào “vùng hình thác” của đường cong BER (tức là vùng mà ở đó đường cong BER đi xuống tương đối nhanh theo chiều tăng giá trị SNR). Giá trị SNR đã xác định có thể được ký hiệu là  $S$  và được gọi là giá trị SNR “hình thác”.

Sau đó, có thể thu được chòm điểm tối ưu với giá trị SNR bằng  $S$  đã xác định ở bước S905.

Ví dụ, theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, ở bước S907a, một chòm điểm tối ưu có thể được chọn trong số các chòm điểm tối ưu thu được khi thực hiện các thuật toán đã được mô tả ở trên dựa vào các hình vẽ từ Fig.1 đến Fig.8 (và đã được lưu trữ trong bảng dò tìm). Cụ thể, chòm điểm tối ưu được xác định trước đó với giá trị SNR bằng  $S$  có thể được tìm kiếm từ bảng dò tìm.

Theo cách khác, một quy trình lặp có thể được thực hiện để thu được chòm điểm (không đồng đều) tối ưu. Cụ thể, sau bước S905, quy trình này chuyển đến bước S907b, ở đó sẽ áp dụng các thuật toán đã mô tả ở trên dựa vào các hình vẽ từ Fig.1 đến Fig.8 để thu được chòm điểm tối ưu với giá trị SNR bằng  $S$  (hoặc gần bằng  $S$ ). Sau bước S907b, quy trình này quay lại bước S903, ở đó các giá trị BER được tìm ra với một khoảng giá trị SNR. Trong quy trình lặp này, các giá trị BER được tìm ra với chòm điểm tối ưu thu được ở bước S907b (chứ không phải là với chòm điểm đồng đều ban đầu giống như ở lần lặp thứ nhất).

Theo cách tương tự như đã nêu trên, giá trị SNR mà ở đó đường cong BER giảm xuống thấp hơn giá trị ngưỡng (sử dụng tập hợp giá trị BER mới với chòm điểm tối ưu) được xác định ở bước S905, và chòm điểm tối ưu mới với giá trị SNR mới xác định sẽ được tìm ra ở bước S907b. Các bước S903, S905, S907 đã mô tả ở trên có thể được lặp lại với số lần nhất định (ví dụ số lần định trước). Theo cách khác, thuật toán này có thể kết thúc khi giá trị SNR hình thác không còn giảm xuống nữa giữa các lần lặp, và thay vì giảm xuống thì lại bắt đầu tăng lên.

Fig.11 và Fig.12 thể hiện thuật toán thứ sáu để xác định chòm điểm tối ưu. Thuật toán này tương ứng và gần giống với thuật toán được thể hiện trên Fig.8, tuy nhiên thuật toán này có sửa đổi để nâng cao hiệu suất. Cụ thể, thuật toán này sử dụng thêm khái niệm hướng hội tụ của giá trị thông số. Ví dụ, bên trong vòng lặp trong của thuật toán này, thông số direction được thiết lập giá trị ban đầu bằng 0. Khi tạo ra một tập hợp chòm

điểm dự bị, thì tập hợp chòm điểm dự bị đó phụ thuộc vào thông số direction. Khi chòm điểm có hiệu suất cao nhất được chọn ở bước S1109, thì hướng hội tụ của giá trị thông số  $i$  được tìm ra. Ví dụ, nếu giá trị thông số này đang hội tụ hướng lên trên, thì thông số direction có thể được đặt bằng +1, nếu giá trị thông số này đang hội tụ hướng xuống dưới, thì thông số direction có thể được đặt bằng -1, còn nếu giá trị thông số này không thay đổi, thì thông số direction có thể được đặt bằng 0. Như được thể hiện trên Fig.12, số lượng chòm điểm dự bị có thể giảm xuống khi giá trị thông số hội tụ hướng lên trên hoặc hướng xuống dưới.

Như đã nêu trên, chòm điểm tối ưu có thể thu được với một hệ thống cụ thể, và/hoặc với các giá trị thông số hệ thống nhất định. Ví dụ, chòm điểm tối ưu (như chòm điểm có năng suất BICM tối ưu) có thể thu được với một kiểu kênh truyền nhất định (như kênh AWGN, kênh Rayleigh hoặc kênh Typical Urban, kênh TU6) và với một giá trị SNR nhất định. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, dữ liệu có thể được truyền trong các điều kiện truyền khác nhau. Ví dụ, dữ liệu có thể được truyền qua các kiểu kênh khác nhau và có thể được thu với các giá trị SNR khác nhau. Ngoài ra, có thể mong muốn hoặc yêu cầu là hệ thống truyền dữ liệu sử dụng cùng một chòm điểm, bất kể điều kiện truyền (như kiểu kênh hoặc giá trị SNR), ví dụ để làm giảm độ phức tạp của hệ thống. Trong một số trường hợp, hệ thống truyền dữ liệu có thể sử dụng một chòm điểm nhất định cho nhiều điều kiện truyền khác nhau (như các kiểu kênh khác nhau và các giá trị SNR khác nhau).

Fig.13 đến Fig.16 thể hiện thuật toán để thu được chòm điểm tối ưu (ví dụ đạt được năng suất cao nhất) với hai hoặc nhiều hơn hai điều kiện truyền khác nhau (ví dụ các kiểu kênh khác nhau và/hoặc các giá trị SNR khác nhau). Thuật toán này gồm nhiều phần khác nhau. Trước tiên, giá trị SNR hình thức với mỗi kiểu kênh (ví dụ kiểu kênh truyền) được tìm ra khi áp dụng thuật toán giống như thuật toán được thể hiện trên Fig.9. Hàm số đại lượng đo hiệu suất có trọng số (ví dụ năng suất có trọng số) với chòm điểm đầu vào được xác định dựa trên các điều kiện truyền khác nhau (ví dụ các kiểu kênh khác nhau và các giá trị SNR khác nhau). Khi đó, thuật toán giống như các thuật toán được thể hiện trên Fig.2, Fig.8 hoặc Fig.11 được áp dụng để xác định chòm điểm tối ưu, trong đó đại lượng đo hiệu suất được sử dụng là đại lượng đo hiệu suất có trọng số.



Fig.13 thể hiện quy trình thu được giá trị SNR hình thác với mỗi kiểu kênh. Mỗi kiểu kênh được xử lý riêng biệt để thu được giá trị SNR hình thác của kiểu kênh đó. Cụ thể, quy trình thể hiện trên Fig.13 được thực hiện lặp lại với mỗi kiểu kênh để thu được giá trị SNR hình thác tương ứng với kiểu kênh đó. Quy trình thể hiện trên Fig.13 được thực hiện theo cách gần giống như thuật toán được thể hiện trên Fig.9, và vì vậy để cho ngắn gọn thì ở đây sẽ không mô tả chi tiết nữa. Tuy nhiên, thay vì tạo ra chòm điểm tối ưu, như trong thuật toán được thể hiện trên Fig.9, quy trình được thể hiện trên Fig.13 tạo ra giá trị SNR hình thác được xác định trong lần lặp cuối cùng của quy trình này. Quy trình thể hiện trên Fig.13 (có bước lập mô hình giá trị BER và bước tối ưu hoá hiệu suất) được thực hiện dựa trên một kiểu kênh nhất định, và giá trị SNR hình thác tìm được được coi là giá trị SNR hình thác tương ứng với kiểu kênh đó.

Fig.14 là sơ đồ thể hiện quy trình thu được hàm số đại lượng đo hiệu suất có trọng số với chòm điểm đầu vào dựa trên các điều kiện truyền khác nhau. Trong ví dụ này, đại lượng đo hiệu suất có trọng số là năng suất có trọng số, và các điều kiện truyền khác nhau bao gồm các kiểu kênh khác nhau và các giá trị SNR hình thác tương ứng. Như được thể hiện trên Fig.14, một chòm điểm dự bị được dùng làm chòm điểm đầu vào. Với mỗi kiểu kênh và giá trị SNR hình thác tương ứng, năng suất BICM với chòm điểm đầu vào dựa trên kiểu kênh và giá trị SNR hình thác này được tìm ra. Sau đó, mỗi năng suất BICM tìm được sẽ được nhân với một trọng số tương ứng và các năng suất BICM sau khi nhân với trọng số sẽ được cộng lại để thu được năng suất BICM trung bình có trọng số đầu ra. Các trọng số có thể được chọn theo các tiêu chí phù hợp bất kỳ. Ví dụ, kiểu kênh tương đối phổ biến hoặc trọng yếu có thể được gán trọng số tương đối lớn.

Fig.15 thể hiện quy trình thu được chòm điểm tối ưu. Quy trình được thể hiện trên Fig.15 được thực hiện theo cách gần giống như thuật toán được thể hiện trên Fig.2, Fig.8 hoặc Fig.11, và vì vậy để cho ngắn gọn thì ở đây sẽ không mô tả chi tiết nữa. Tuy nhiên, khi xác định hiệu suất của chòm điểm dự bị trong quy trình được thể hiện trên Fig.15, hiệu suất được xác định dựa trên đại lượng đo hiệu suất có trọng số đã mô tả ở trên dựa vào Fig.14.

Theo quy trình được thể hiện trên Fig.15, trong một số trường hợp, một chòm điểm nhất định có thể đạt được hiệu suất cao nhất với đại lượng đo hiệu suất có trọng số, mặc

dù hiệu suất của chòm điểm đó với năng suất BICM chỉ dựa vào kiểu kênh và giá trị SNR thì có thể là tương đối thấp. Theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, để đảm bảo rằng chòm điểm thu được sau khi áp dụng thuật toán có khả năng đạt được ít nhất là một mức hiệu suất nhất định với một hoặc một số điều kiện truyền, hoặc với tất cả các điều kiện truyền, thì có thể cần phải áp dụng thêm một tiêu chí nữa khi kiểm thử mỗi chòm điểm dự bị để thu được chòm điểm  $C\_best$ . Cụ thể, bất cứ chòm điểm dự bị nào nếu không đạt được ít nhất là mức hiệu suất ngưỡng với một hoặc một số điều kiện truyền cụ thể nhất định, hoặc với tất cả các điều kiện truyền, thì đều bị loại bỏ và không thể được chọn làm chòm điểm  $C\_best$ , cho dù chòm điểm đó đạt được hiệu suất cao nhất với đại lượng đo hiệu suất có trọng số.

Trong quy trình được thể hiện trên Fig.15, tập hợp chòm điểm dự bị có thể được tạo ra bằng cách sử dụng một phương pháp phù hợp bất kỳ, ví dụ phương pháp đã được mô tả trên đây dựa vào Fig.9 với cỡ bước  $d$ . Fig.16a và Fig.16b thể hiện các sơ đồ thay thế để tạo ra chòm điểm dự bị từ một chòm điểm trước,  $C\_last$ , các sơ đồ này có thể được sử dụng trong một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Trên Fig.16a và Fig.16b, chấm tròn trắng biểu diễn chòm điểm trước,  $C\_last$ . Với mỗi chòm điểm trước, một tập hợp tương ứng gồm  $N$  chòm điểm sửa đổi được xác định, và được biểu diễn bằng các chấm tròn đen như được thể hiện trên Fig.16a và Fig.16b. Mỗi tập hợp chòm điểm sửa đổi tạo thành một mẫu gồm các chòm điểm nằm ở vị trí tương đối gần với chòm điểm trước tương ứng.

Ví dụ, như được thể hiện trên Fig.16a, mỗi tập hợp chòm điểm sửa đổi có thể tạo thành một mẫu có dạng hình vuông hoặc hình chữ nhật có  $N = 8$  chòm điểm bao quanh một chòm điểm trước tương ứng. Khoảng cách trong mẫu này bằng  $d$ . Theo cách khác, như được thể hiện trên Fig.16b, mỗi tập hợp chòm điểm sửa đổi tạo thành một vòng tròn có  $N = 8$  chòm điểm bao quanh một chòm điểm trước tương ứng. Bán kính của vòng tròn này bằng  $d$ .

Chòm điểm dự bị có thể thu được bằng cách chọn, với mỗi chòm điểm trước, hoặc là ngay chính chòm điểm trước này hoặc là một trong số các chòm điểm nằm trong tập hợp chòm điểm sửa đổi tương ứng.

Trong các ví dụ nêu trên, đại lượng đo hiệu suất có trọng số được xác định dựa trên

các điều kiện truyền khác nhau. Ví dụ, trong trường hợp được thể hiện trên Fig.14, mỗi điều kiện truyền có một kiểu kênh khác nhau và một giá trị SNR hình thác tương ứng. Do đó, chòm điểm tối ưu trong một khoảng xác định cho các kiểu kênh và các giá trị SNR tương ứng có thể được tìm ra. Theo phương án khác, chòm điểm tối ưu có thể được tìm ra với các điều kiện truyền khác nhau, trong đó mỗi điều kiện truyền có kiểu kênh giống nhau, nhưng có các giá trị SNR khác nhau (ví dụ một tập hợp gồm các giá trị SNR bằng  $S_1, S_1+d, S_1+2d, S_1+3d, \dots, S_2$ , trong đó  $d$  là cỡ bước). Nghĩa là, chòm điểm tối ưu có thể được tìm ra với một kiểu kênh cố định dự định sẽ sử dụng trên một khoảng giá trị SNR. Trong trường hợp này, thuật toán đã được mô tả ở trên dựa vào các hình vẽ từ Fig.13 đến Fig.16 có thể được áp dụng, trừ việc xác định đại lượng đo hiệu suất có trọng số như được thể hiện trên Fig.14, thay vào đó là xác định các giá trị năng suất BICM cụ thể dựa trên các kiểu kênh tương ứng và các giá trị SNR hình thác tương ứng, các giá trị năng suất BICM cụ thể đó được xác định dựa trên kiểu kênh cố định và các giá trị SNR tương ứng bằng  $S_1, S_1+d, S_1+2d, S_1+3d, \dots, S_2$ .

Trong các thuật toán nêu trên, một kỹ thuật có thể được áp dụng để làm giảm độ phức tạp của hệ thống. Cụ thể, khi một tập hợp chòm điểm dự bị được tạo ra và hiệu suất của các chòm điểm dự bị được kiểm thử, thì các chòm điểm dự bị đã được kiểm thử trước đó (tức là đã được kiểm thử trong một hoặc nhiều lần lặp trước) sẽ không được kiểm thử lại. Nghĩa là, chỉ những chòm điểm dự bị nào chưa được kiểm thử trong các lần lặp trước thì mới được kiểm thử trong lần lặp này.

Ví dụ, như đã nêu trên, tập hợp chòm điểm dự bị thứ nhất,  $A$ , được tạo ra trong một lần lặp, và chòm điểm dự bị có hiệu suất cao nhất,  $a$  ( $a \in A$ ), được chọn từ tập hợp này. Trong lần lặp kế tiếp, tập hợp chòm điểm dự bị thứ hai,  $B$ , được tạo ra dựa trên chòm điểm được chọn trước đó  $a$  ( $a \in B$ ). Trong lần lặp kế tiếp này, chỉ cần xác định chòm điểm dự bị có hiệu suất cao nhất  $b$  ( $b \in B$ ) trong tập hợp  $B$ .

Thông thường, sẽ có ít nhất một phần trùng nhau nào đó giữa hai tập hợp chòm điểm dự bị  $A$  và  $B$ , tức là một hoặc nhiều chòm điểm dự bị thuộc cả hai tập hợp  $A$  và  $B$  (tức là  $A \cap B \neq \emptyset$ ), đó là chòm điểm  $a$ . Vì đã biết rằng chòm điểm  $a$  là chòm điểm có hiệu suất cao nhất trong số tất cả các chòm điểm trong tập hợp  $A$ , cho nên cũng sẽ biết rằng

chòm điểm  $a$  là chòm điểm có hiệu suất cao nhất trong số tất cả các chòm điểm thuộc phần trùng nhau giữa các tập hợp  $A$  và  $B$  (tức là  $A \cap B$ ).

Do đó, khi kiểm thử các chòm điểm trong tập hợp  $B$  để xác định chòm điểm có hiệu suất cao nhất,  $b$ , thì không cần phải kiểm thử lại các chòm điểm thuộc phần trùng nhau giữa các tập hợp  $A$  và  $B$  (tức là không cần phải kiểm thử lại các chòm điểm trong tập hợp  $A \cap B$ ). Đúng ra là, không phải kiểm thử tất cả các chòm điểm trong tập hợp  $B$ , mà chỉ kiểm thử các chòm điểm thuộc tập hợp chòm điểm  $B^*$  nhỏ hơn, tập hợp nhỏ hơn này gồm các chòm điểm thuộc tập hợp  $B$  nhưng loại trừ bất cứ chòm điểm nào cũng thuộc tập hợp  $A$  (tức là  $B^* = B - A$ ). Khi đó, chòm điểm có hiệu suất cao nhất trong tập hợp được tạo ra bằng cách hợp tập hợp  $B^*$  và chòm điểm có hiệu suất cao nhất trước đó,  $a$  (tức là chòm điểm có hiệu suất cao nhất trong tập hợp  $B^* \cup \{a\}$ ) sẽ được chọn làm chòm điểm có hiệu suất cao nhất,  $b$ , của tập hợp  $B$ .

Fig.17 thể hiện ví dụ về nguyên tắc nêu trên liên quan đến ví dụ được thể hiện trên Fig.16a. Trong ví dụ trên Fig.17, ở lần lặp  $i$ , đã tìm ra chòm điểm được biểu diễn bằng chấm tròn đen là chòm điểm có hiệu suất cao nhất. Ở lần lặp  $i+1$ , không cần kiểm thử tập hợp con chung (gồm các chấm tròn trắng và một chấm tròn đen), vì tập hợp con chung này đã được kiểm thử trước và đều có hiệu suất thấp. Nghĩa là, ở lần lặp  $i+1$ , chỉ cần kiểm thử các chấm tròn xám. Do đó, trong ví dụ được thể hiện trên hình vẽ này, có thể giảm bớt 44% ( $= 4/9$ ) khối lượng tính toán.

Fig.18 thể hiện thiết bị thực hiện thuật toán theo một hoặc nhiều phương án nêu trên. Thiết bị này được tạo cấu hình để tạo ra chòm điểm không đồng đều. Thiết bị này bao gồm phương tiện thực hiện quy trình thứ nhất. Phương tiện thực hiện quy trình thứ nhất bao gồm: phương tiện thu được chòm điểm thứ nhất được xác định dựa vào một hoặc nhiều giá trị thông số; và phương tiện tạo ra chòm điểm thứ hai dựa trên chòm điểm thứ nhất bằng cách sử dụng quy trình thứ hai. Phương tiện tạo ra chòm điểm thứ hai dựa trên chòm điểm thứ nhất bằng cách sử dụng quy trình thứ hai bao gồm: phương tiện thu được tập hợp chòm điểm dự bị, trong đó tập hợp chòm điểm dự bị này gồm có chòm điểm thứ nhất và một hoặc nhiều chòm điểm sửa đổi, trong đó mỗi chòm điểm sửa đổi được tìm ra bằng cách thay đổi giá trị của các thông số xác định chòm điểm thứ nhất;

phương tiện xác định hiệu suất của mỗi chòm điểm dự bị theo đại lượng đo hiệu suất định trước; và phương tiện chọn chòm điểm dự bị có hiệu suất cao nhất làm chòm điểm thứ hai. Phương tiện thực hiện quy trình thứ nhất còn bao gồm phương tiện xác định sự khác nhau giữa chòm điểm thứ nhất và chòm điểm thứ hai; và phương tiện để yêu cầu phương tiện thực hiện quy trình thứ nhất phải lặp lại quy trình thứ nhất bằng cách sử dụng chòm điểm thứ hai được tạo ra trong lần lặp hiện thời của quy trình thứ nhất làm chòm điểm thứ nhất trong lần lặp kế tiếp nếu chòm điểm thứ hai khác với chòm điểm thứ nhất với mức chênh lệch cao hơn mức ngưỡng.

Người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng sẽ hiểu rằng các chức năng của hai hoặc nhiều hơn hai phương tiện bất kỳ được thể hiện trên Fig.18 có thể được thực hiện bằng một phương tiện duy nhất, và các chức năng của một phương tiện bất kỳ được thể hiện trên Fig.18 có thể được thực hiện bằng hai hoặc nhiều hơn hai phương tiện. Phương tiện có thể được thực hiện với mọi cấu trúc phù hợp, ví dụ phần cứng, phần mềm, phần sụn, hoặc mọi dạng kết hợp phù hợp của phần cứng, phần mềm và phần sụn.

Chòm điểm thu được bằng phương pháp theo các phương án làm ví dụ nêu trên có thể được sử dụng trong hệ thống phát rộng kỹ thuật số để truyền dữ liệu từ thiết bị truyền đến thiết bị thu. Theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, hệ thống này bao gồm thiết bị truyền được tạo cấu hình để thu được dữ liệu (ví dụ dòng dữ liệu), thực hiện mọi quy trình mã hoá và/hoặc xử lý cần thiết khác trên dữ liệu, điều biến tín hiệu dữ liệu theo một sơ đồ điều biến tương ứng với chòm điểm, và truyền tín hiệu đã điều biến. Hệ thống này còn bao gồm thiết bị thu được tạo cấu hình để thu tín hiệu đã điều biến, giải điều biến tín hiệu này theo một sơ đồ giải điều biến tương ứng với chòm điểm (hay chòm điểm tương tự hoặc tương ứng), và thực hiện mọi quy trình giải mã và/hoặc xử lý cần thiết khác để khôi phục dữ liệu gốc. Theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, hệ thống này có thể chỉ có thiết bị truyền, chỉ có thiết bị thu, hoặc hệ thống này có cả thiết bị truyền lẫn thiết bị thu.

Đối với các chòm điểm không đồng đều, có thể thiết kế các chòm điểm bằng cách chỉ bỏ đi một điều kiện ràng buộc, tức là bằng cách giữ các chòm điểm có dạng hình vuông và thay đổi khoảng cách giữa các điểm trong chòm điểm. Các chòm điểm không

đồng đều (NUC) kiểu này có thể được gọi là chòm điểm NUC một chiều (1D). Các chòm điểm 1D-NUC có thể được mô tả với các mức mà ở đó các chòm điểm xuất hiện ở phần thực dương. Các điểm còn lại có thể được suy ra bằng cách sử dụng tính đối xứng của bốn góc phần tư cùng với tính đối xứng qua trục thực và trục ảo. Các chòm điểm 1D-NUC dễ giải mã vì có sự độc lập của phần thực và phần ảo. Hai (2) bộ khử ánh xạ điều biến biên độ xung (Pulse Amplitude Modulator, PAM) có thể được dùng để giải mã các chòm điểm 1D-NUC.

Có thể thiết kế một kiểu chòm điểm NUC khác bằng cách bỏ đi cả hai điều kiện ràng buộc: có dạng hình vuông và khoảng cách đồng đều giữa các điểm trong chòm điểm. Các chòm điểm tối ưu sẽ có xu hướng trông giống như là chòm điểm có dạng hình tròn. Chòm điểm NUC kiểu này có thể được gọi là chòm điểm 2D-NUC. Chòm điểm 2D-NUC có năng suất cao hơn so với chòm điểm 1D-NUC và có hiệu suất BER/FER cao hơn. Tuy nhiên, hiệu suất cao hơn của chòm điểm 2D-NUC sẽ tương ứng với cấu trúc phức tạp hơn của bộ khử ánh xạ trong thiết bị thu tín hiệu.

Vì chòm điểm không đối xứng qua trục thực và trục ảo, cho nên phải sử dụng bộ khử ánh xạ 2D để giải mã chòm điểm 2D-NUC. Đối với chòm điểm 2D-NUC, cần phải xác định một tập hợp điểm đầy đủ. Có thể chỉ xác định các điểm thuộc góc phần tư thứ nhất và suy ra các điểm còn lại bằng cách coi như chòm điểm này có tính đối xứng.

Việc tối ưu hoá các chòm điểm 1D-NUC và 2D-NUC phụ thuộc vào giá trị SNR mà ở đó cần phải tối ưu hoá hiệu suất. Đối với chuỗi BICM, giá trị SNR có thể được chọn là giá trị SNR hình thác trên đường cong BER/FER. Đường cong BER/FER hình thác có thể được xác định có giá trị SNR mà ở đó đường cong BER giảm xuống thấp hơn một mức nhất định, ví dụ  $10e-6$ . Giá trị SNR hình thác phụ thuộc vào tỷ lệ mã hoá của bộ mã hoá/giải mã LDPC. Khi tỷ lệ mã hoá tăng, thì giá trị SNR hình thác tăng. Vì lý do này cho nên chòm điểm NUC khác nhau tương ứng với mỗi tỷ lệ mã hoá của bộ mã hoá LDPC. Giá trị SNR hình thác cũng tăng theo kích thước của chòm điểm QAM (M). Sở dĩ như vậy là do thiết bị thu tín hiệu cần có giá trị SNR cao hơn để giải mã chòm điểm điều biến QAM có bậc cao hơn. Do đó, kích thước của chòm điểm và tỷ lệ mã hoá xác định giá trị SNR hình thác. Giá trị SNR hình thác được dùng để tối ưu hoá các chòm điểm. Ở đây, các tỷ lệ mã hoá bằng: 2/15, 3/15 và 4/15. Chòm điểm NUC có các kích thước như

sau: 16QAM, 64QAM, 256QAM và 1K QAM. Đối với ba kích thước đầu của chòm điểm điều biến QAM, chỉ sử dụng các chòm điểm 2D. Đối với chòm điểm điều biến 1K QAM, cần sử dụng cả các chòm điểm 1D lẫn các chòm điểm 2D.

Một ví dụ về các điểm trong chòm điểm thu được bằng cách áp dụng các thuật toán nêu trên với các tỷ lệ mã hoá sẽ được mô tả dưới đây.

Theo phương án làm ví dụ dưới đây, có thêm một điều kiện ràng buộc áp dụng cho quy trình xác định năng suất theo giá trị SNR đối với phương pháp tạo ra chòm điểm NUC hiện có.

Khi đã biết giá trị SNR, thường là sẽ tính được năng suất truyền tối đa mà dữ liệu có thể được truyền không có lỗi. Nói cách khác, khi tính năng suất bằng cách chọn giá trị SNR dựa vào đường cong BER/FER hình thác, thì giá trị SNR này cho biết vùng mà ở đó sẽ có lỗi bit hoặc lỗi khung, tuy nhiên năng suất thực tế lại cho biết năng suất truyền trong những trường hợp không có lỗi, và do đó có thể sẽ có mâu thuẫn.

Vì vậy, theo sáng chế, khi tính năng suất dựa vào giá trị SNR, thì sẽ bổ sung hệ số hiệu chỉnh.

Ví dụ, khi giá trị SNR1 được chọn cho CH1 trên Fig.14, nếu giá trị năng suất trong trường hợp không có lỗi là  $C1$ , thì giá trị  $C1$  đã hiệu chỉnh, ký hiệu là  $C1'$ , được xác định bằng biểu thức sau đây:

$$C1' = C1 \times (1 - H(P_b)) \quad (2)$$

Trong đó,  $P_b$  là giá trị BER xác định vùng hình thác, và hàm  $H(x)$  là hàm entropy nhị phân,  $H(x) = -x \times \log_2(x) - (1-x) \times \log_2(1-x)$ .

Trong trường hợp này, lý do tại sao giá trị  $(1 - H(P_b))$  nhỏ hơn hoặc bằng 1 được nhân với giá trị năng suất hiện thời như được biểu diễn trong biểu thức 2 sẽ được giải thích dưới đây.

Với trường hợp  $P_b$  là xác suất xuất hiện lỗi bit trên kênh truyền, nếu giả sử rằng lỗi bit đúng bằng  $P_b$  đã xuất hiện trước khi truyền thông tin nguồn, và lỗi bit không xuất hiện trong lúc truyền thông tin nguồn, thì thông tin nguồn sẽ không có sự khác biệt do lỗi bit giữa các đầu truyền/thu cuối cùng. Như đã nêu trên, khi xác suất xuất hiện lỗi liên quan đến một kênh được coi là làm tổn hao thông tin nguồn, thì sẽ có kết quả giống như khi áp

dụng phương pháp nén có tổn hao với tỷ lệ bằng  $H(P_b)$  so với dữ liệu cho trước, theo lý thuyết Shannon về tỷ lệ lỗi-méo tín hiệu. Tóm lại, có thể coi là lượng dữ liệu truyền trên kênh cho trước ban đầu, gọi là năng suất, sẽ giảm đi  $(1-H(P_b))$  so với kênh truyền không có lỗi hoặc không có tổn hao.

Khi cùng một giá trị được áp dụng cho tất cả các kênh có xác suất  $P_b$  trên Fig.14, thì cùng một hệ số nhân  $(1-H(P_b))$  sẽ được áp dụng, và vì vậy, hệ số  $(1-H(P_b))$  này được nhân với giá trị năng suất có trọng số. Do đó, không có sự khác nhau giữa các điểm trong chòm điểm NUC tối ưu. Tuy nhiên, giá trị BER đích có thể là khác nhau đối với mỗi kênh, và vì vậy, thứ tự sắp xếp theo giá trị năng suất có trọng số có thể là khác nhau. Do đó, các điểm trong chòm điểm NUC tối ưu có thể là khác nhau. Ví dụ, kênh AWGN thường được dùng cho thiết bị cố định, và do đó cần có giá trị BER rất thấp. Vì vậy, khi tính năng suất, giá trị  $BER = 1e-8$  có thể được xem xét. Vì kênh Rayleigh chủ yếu được dùng làm kênh di động có fading, cho nên cần có giá trị BER cao hơn so với giá trị BER của kênh AWGN. Do đó, giá trị  $BER = 1e-6$  có thể được xem xét. Như đã nêu trên, nếu đặt ra các yêu cầu khác nhau liên quan đến giá trị BER cho các kênh tương ứng, thì các giá trị hệ số áp dụng cho năng suất cuối cùng cũng sẽ khác nhau, và vì vậy, giá trị BER này có thể là khác nhau với các điểm trong chòm điểm NUC thu được khi xem xét năng suất mà không để ý đến giá trị BER.

Cụ thể, bảng 2 thể hiện giá trị của các điểm trong chòm điểm chuẩn hoá 2D NU 16-QAM (gọi tắt là chòm điểm 2D 16NUC) thu được bằng cách áp dụng các thuật toán nêu trên sử dụng các tỷ lệ mã hoá tương ứng bằng 2/15, 3/15 và 4/15 với một giá trị SNR.

Bảng 2

| w/hình dạng | Tỷ lệ mã hoá          |                       |                      |
|-------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
|             | 2/15                  | 3/15                  | 4/15                 |
| w0          | 0,707316 + 0,707473i  | 0,709789 + 0,710216i  | 1,10696 + 0,580648i  |
| w1          | 0,707333 + 0,707367i  | 0,705044 + 0,710131i  | 0,581442 + 1,10703i  |
| w2          | 0,706049 + 0,707738i  | 0,709276 + 0,70389i   | 0,552546 + 0,362564i |
| w3          | 0,706475 + 0,707102i  | 0,704489 + 0,703976i  | 0,362944 + 0,55265i  |
| w4          | -0,707316 + 0,707473i | -0,709789 + 0,710216i | -1,10696 + 0,580648i |
| w5          | -0,707333 + 0,707367i | -0,705044 + 0,710131i | -0,581442 + 1,10703i |



|     |                         |                         |                         |
|-----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| w6  | $-0,706049 + 0,707738i$ | $-0,709276 + 0,70389i$  | $-0,552546 + 0,362564i$ |
| w7  | $-0,706475 + 0,707102i$ | $-0,704489 + 0,703976i$ | $-0,362944 + 0,55265i$  |
| w8  | $0,707316 - 0,707473i$  | $0,709789 - 0,710216i$  | $1,10696 - 0,580648i$   |
| w9  | $0,707333 - 0,707367i$  | $0,705044 - 0,710131i$  | $0,581442 - 1,10703i$   |
| w10 | $0,706049 - 0,707738i$  | $0,709276 - 0,70389i$   | $0,552546 - 0,362564i$  |
| w11 | $0,706475 - 0,707102i$  | $0,704489 - 0,703976i$  | $0,362944 - 0,55265i$   |
| w12 | $-0,707316 - 0,707473i$ | $-0,709789 - 0,710216i$ | $-1,10696 - 0,580648i$  |
| w13 | $-0,707333 - 0,707367i$ | $-0,705044 - 0,710131i$ | $-0,581442 - 1,10703i$  |
| w14 | $-0,706049 - 0,707738i$ | $-0,709276 - 0,70389i$  | $-0,552546 - 0,362564i$ |
| w15 | $-0,706475 - 0,707102i$ | $-0,704489 - 0,703976i$ | $-0,362944 - 0,55265i$  |

Trong trường hợp này, các điểm trong chòm điểm 2D NU 16-QAM với các tỷ lệ mã hoá tương ứng bằng 2/15, 3/15 và 4/15 được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.19 đến Fig.21.

Bảng 3 thể hiện giá trị của các điểm trong chòm điểm chuẩn hoá 2D NU 64-QAM (gọi tắt là chòm điểm 2D 64NUC) thu được bằng cách áp dụng các thuật toán nêu trên sử dụng các tỷ lệ mã hoá tương ứng bằng 2/15, 3/15 và 4/15 với một giá trị SNR.

Bảng 3

| w/hình dạng | Tỷ lệ mã hoá           |                        |                        |
|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|             | 2/15                   | 3/15                   | 4/15                   |
| w0          | $0,647424 + 0,983083i$ | $0,547191 + 1,15913i$  | $0,500831 + 1,21361i$  |
| w1          | $0,643837 + 0,982885i$ | $0,54734 + 1,15734i$   | $0,499379 + 1,21941i$  |
| w2          | $0,647063 + 0,97668i$  | $0,546743 + 1,15987i$  | $0,531316 + 1,17151i$  |
| w3          | $0,644354 + 0,976223i$ | $0,547937 + 1,15853i$  | $0,529865 + 1,17877i$  |
| w4          | $0,983862 + 0,647524i$ | $1,15778 + 0,547787i$  | $1,2107 + 0,503734i$   |
| w5          | $0,977782 + 0,647422i$ | $1,15763 + 0,547489i$  | $1,22087 + 0,500831i$  |
| w6          | $0,983498 + 0,643369i$ | $1,15913 + 0,547489i$  | $1,17151 + 0,529865i$  |
| w7          | $0,977678 + 0,643265i$ | $1,15913 + 0,547489i$  | $1,18022 + 0,526961i$  |
| w8          | $0,465916 + 0,639338i$ | $0,316261 + 0,507211i$ | $0,274368 + 0,476152i$ |
| w9          | $0,464253 + 0,63861i$  | $0,316261 + 0,507211i$ | $0,272917 + 0,476152i$ |
| w10         | $0,466124 + 0,635284i$ | $0,316261 + 0,507211i$ | $0,277272 + 0,479056i$ |
| w11         | $0,463941 + 0,634972i$ | $0,316261 + 0,507211i$ | $0,277272 + 0,479056i$ |

|     |                         |                         |                         |
|-----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| w12 | $0,637769 + 0,46706i$   | $0,508702 + 0,316261i$  | $0,476152 + 0,272917i$  |
| w13 | $0,635171 + 0,467267i$  | $0,508702 + 0,316261i$  | $0,476152 + 0,272917i$  |
| w14 | $0,638497 + 0,465604i$  | $0,508702 + 0,316261i$  | $0,479056 + 0,277272i$  |
| w15 | $0,635275 + 0,465293i$  | $0,508702 + 0,316261i$  | $0,479056 + 0,27582i$   |
| w16 | $-0,647424 + 0,983083i$ | $-0,547191 + 1,15913i$  | $-0,500831 + 1,21361i$  |
| w17 | $-0,643837 + 0,982885i$ | $-0,54734 + 1,15734i$   | $-0,499379 + 1,21941i$  |
| w18 | $-0,647063 + 0,97668i$  | $-0,546743 + 1,15987i$  | $-0,531316 + 1,17151i$  |
| w19 | $-0,644354 + 0,976223i$ | $-0,547937 + 1,15853i$  | $-0,529865 + 1,17877i$  |
| w20 | $-0,983862 + 0,647524i$ | $-1,15778 + 0,547787i$  | $-1,2107 + 0,503734i$   |
| w21 | $-0,977782 + 0,647422i$ | $-1,15763 + 0,547489i$  | $-1,22087 + 0,500831i$  |
| w22 | $-0,983498 + 0,643369i$ | $-1,15913 + 0,547489i$  | $-1,17151 + 0,529865i$  |
| w23 | $-0,977678 + 0,643265i$ | $-1,15913 + 0,547489i$  | $-1,18022 + 0,526961i$  |
| w24 | $-0,465916 + 0,639338i$ | $-0,316261 + 0,507211i$ | $-0,274368 + 0,476152i$ |
| w25 | $-0,464253 + 0,63861i$  | $-0,316261 + 0,507211i$ | $-0,272917 + 0,476152i$ |
| w26 | $-0,466124 + 0,635284i$ | $-0,316261 + 0,507211i$ | $-0,277272 + 0,479056i$ |
| w27 | $-0,463941 + 0,634972i$ | $-0,316261 + 0,507211i$ | $-0,277272 + 0,479056i$ |
| w28 | $-0,637769 + 0,46706i$  | $-0,508702 + 0,316261i$ | $-0,476152 + 0,272917i$ |
| w29 | $-0,635171 + 0,467267i$ | $-0,508702 + 0,316261i$ | $-0,476152 + 0,272917i$ |
| w30 | $-0,638497 + 0,465604i$ | $-0,508702 + 0,316261i$ | $-0,479056 + 0,277272i$ |
| w31 | $-0,635275 + 0,465293i$ | $-0,508702 + 0,316261i$ | $-0,479056 + 0,27582i$  |
| w32 | $0,647424 - 0,983083i$  | $0,547191 - 1,15913i$   | $0,500831 - 1,21361i$   |
| w33 | $0,643837 - 0,982885i$  | $0,54734 - 1,15734i$    | $0,499379 - 1,21941i$   |
| w34 | $0,647063 - 0,97668i$   | $0,546743 - 1,15987i$   | $0,531316 - 1,17151i$   |
| w35 | $0,644354 - 0,976223i$  | $0,547937 - 1,15853i$   | $0,529865 - 1,17877i$   |
| w36 | $0,983862 - 0,647524i$  | $1,15778 - 0,547787i$   | $1,2107 - 0,503734i$    |
| w37 | $0,977782 - 0,647422i$  | $1,15763 - 0,547489i$   | $1,22087 - 0,500831i$   |
| w38 | $0,983498 - 0,643369i$  | $1,15913 - 0,547489i$   | $1,17151 - 0,529865i$   |
| w39 | $0,977678 - 0,643265i$  | $1,15913 - 0,547489i$   | $1,18022 - 0,526961i$   |
| w40 | $0,465916 - 0,639338i$  | $0,316261 - 0,507211i$  | $0,274368 - 0,476152i$  |
| w41 | $0,464253 - 0,63861i$   | $0,316261 - 0,507211i$  | $0,272917 - 0,476152i$  |
| w42 | $0,466124 - 0,635284i$  | $0,316261 - 0,507211i$  | $0,277272 - 0,479056i$  |
| w43 | $0,463941 - 0,634972i$  | $0,316261 - 0,507211i$  | $0,277272 - 0,479056i$  |

|     |                         |                         |                         |
|-----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| w44 | $0,637769 - 0,46706i$   | $0,508702 - 0,316261i$  | $0,476152 - 0,272917i$  |
| w45 | $0,635171 - 0,467267i$  | $0,508702 - 0,316261i$  | $0,476152 - 0,272917i$  |
| w46 | $0,638497 - 0,465604i$  | $0,508702 - 0,316261i$  | $0,479056 - 0,277272i$  |
| w47 | $0,635275 - 0,465293i$  | $0,508702 - 0,316261i$  | $0,479056 - 0,27582i$   |
| w48 | $-0,647424 - 0,983083i$ | $-0,547191 - 1,15913i$  | $-0,500831 - 1,21361i$  |
| w49 | $-0,643837 - 0,982885i$ | $-0,54734 - 1,15734i$   | $-0,499379 - 1,21941i$  |
| w50 | $-0,647063 - 0,97668i$  | $-0,546743 - 1,15987i$  | $-0,531316 - 1,17151i$  |
| w51 | $-0,644354 - 0,976223i$ | $-0,547937 - 1,15853i$  | $-0,529865 - 1,17877i$  |
| w52 | $-0,983862 - 0,647524i$ | $-1,15778 - 0,547787i$  | $-1,2107 - 0,503734i$   |
| w53 | $-0,977782 - 0,647422i$ | $-1,15763 - 0,547489i$  | $-1,22087 - 0,500831i$  |
| w54 | $-0,983498 - 0,643369i$ | $-1,15913 - 0,547489i$  | $-1,17151 - 0,529865i$  |
| w55 | $-0,977678 - 0,643265i$ | $-1,15913 - 0,547489i$  | $-1,18022 - 0,526961i$  |
| w56 | $-0,465916 - 0,639338i$ | $-0,316261 - 0,507211i$ | $-0,274368 - 0,476152i$ |
| w57 | $-0,464253 - 0,63861i$  | $-0,316261 - 0,507211i$ | $-0,272917 - 0,476152i$ |
| w58 | $-0,466124 - 0,635284i$ | $-0,316261 - 0,507211i$ | $-0,277272 - 0,479056i$ |
| w59 | $-0,463941 - 0,634972i$ | $-0,316261 - 0,507211i$ | $-0,277272 - 0,479056i$ |
| w60 | $-0,637769 - 0,46706i$  | $-0,508702 - 0,316261i$ | $-0,476152 - 0,272917i$ |
| w61 | $-0,635171 - 0,467267i$ | $-0,508702 - 0,316261i$ | $-0,476152 - 0,272917i$ |
| w62 | $-0,638497 - 0,465604i$ | $-0,508702 - 0,316261i$ | $-0,479056 - 0,277272i$ |
| w63 | $-0,635275 - 0,465293i$ | $-0,508702 - 0,316261i$ | $-0,479056 - 0,27582i$  |

Trong trường hợp này, các điểm trong chòm điểm 2D NU 64-QAM với các tỷ lệ mã hoá tương ứng bằng 2/15, 3/15 và 4/15 được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.22 đến Fig.24.

Bảng 4 thể hiện giá trị của các điểm trong chòm điểm chuẩn hoá 2D NU 256-QAM (gọi tắt là chòm điểm 2D 256NUC) thu được bằng cách áp dụng các thuật toán nêu trên sử dụng các tỷ lệ mã hoá tương ứng bằng 2/15, 3/15 và 4/15 với một giá trị SNR.

Bảng 4

| w/hình dạng | Tỷ lệ mã hoá        |                     |                      |
|-------------|---------------------|---------------------|----------------------|
|             | 2/15                | 3/15                | 4/15                 |
| w0          | 0,555322 + 1,12624i | 0,522922 + 1,18101i | 0,297463 + 1,05643i  |
| w1          | 0,56728 + 1,13359i  | 0,538432 + 1,16254i | 0,586177 + 0,96165i  |
| w2          | 0,559308 + 1,12037i | 0,514797 + 1,1943i  | 0,290901 + 1,06955i  |
| w3          | 0,563576 + 1,13205i | 0,528831 + 1,1751i  | 0,579615 + 0,968941i |
| w4          | 0,552505 + 1,12494i | 0,498548 + 1,22015i | 0,295276 + 1,33567i  |
| w5          | 0,563704 + 1,13202i | 0,511105 + 1,19725i | 0,74876 + 1,23651i   |
| w6          | 0,559846 + 1,11805i | 0,488947 + 1,23566i | 0,300379 + 1,51137i  |
| w7          | 0,565901 + 1,1274i  | 0,504457 + 1,21129i | 0,815106 + 1,3816i   |
| w8          | 0,557904 + 1,1381i  | 0,522183 + 1,18174i | 0,300379 + 1,05351i  |
| w9          | 0,561681 + 1,14706i | 0,536955 + 1,16402i | 0,584718 + 0,963109i |
| w10         | 0,559343 + 1,13456i | 0,51332 + 1,19504i  | 0,293088 + 1,06591i  |
| w11         | 0,567186 + 1,14299i | 0,530308 + 1,1751i  | 0,582531 + 0,966754i |
| w12         | 0,553299 + 1,13551i | 0,497071 + 1,22163i | 0,295276 + 1,3189i   |
| w13         | 0,563201 + 1,14214i | 0,512582 + 1,19947i | 0,746573 + 1,21683i  |
| w14         | 0,556748 + 1,13251i | 0,488208 + 1,23714i | 0,296005 + 1,46544i  |
| w15         | 0,564101 + 1,13628i | 0,504457 + 1,21277i | 0,829688 + 1,35389i  |
| w16         | 1,13089 + 0,559658i | 1,17953 + 0,525138i | 1,06372 + 0,296005i  |
| w17         | 1,14052 + 0,565983i | 1,16254 + 0,538432i | 0,96165 + 0,581073i  |
| w18         | 1,13482 + 0,558817i | 1,19135 + 0,51332i  | 1,0732 + 0,293088i   |
| w19         | 1,14905 + 0,563844i | 1,17436 + 0,529569i | 0,968212 + 0,581802i |
| w20         | 1,12445 + 0,561493i | 1,22089 + 0,499287i | 1,36191 + 0,29965i   |
| w21         | 1,13332 + 0,562675i | 1,20021 + 0,514797i | 1,22485 + 0,754593i  |
| w22         | 1,12837 + 0,557788i | 1,23418 + 0,488208i | 1,54272 + 0,310586i  |
| w23         | 1,14364 + 0,563576i | 1,21424 + 0,505196i | 1,39691 + 0,852289i  |
| w24         | 1,11959 + 0,562018i | 1,18027 + 0,522922i | 1,06153 + 0,294546i  |
| w25         | 1,13468 + 0,566507i | 1,16402 + 0,53991i  | 0,963109 + 0,581802i |
| w26         | 1,13792 + 0,56113i  | 1,19208 + 0,51332i  | 1,07101 + 0,292359i  |
| w27         | 1,14396 + 0,563832i | 1,17584 + 0,530308i | 0,967483 + 0,582531i |
| w28         | 1,12214 + 0,559424i | 1,22089 + 0,497071i | 1,32546 + 0,297463i  |

|     |                        |                        |                        |
|-----|------------------------|------------------------|------------------------|
| w29 | $1,13182 + 0,568564i$  | $1,20243 + 0,514797i$  | $1,19787 + 0,749489i$  |
| w30 | $1,13018 + 0,56189i$   | $1,23492 + 0,488947i$  | $1,45596 + 0,304024i$  |
| w31 | $1,13855 + 0,566158i$  | $1,21498 + 0,504457i$  | $1,32692 + 0,841353i$  |
| w32 | $0,33943 + 0,53805i$   | $0,274017 + 0,477129i$ | $0,249344 + 0,558472i$ |
| w33 | $0,339746 + 0,53604i$  | $0,276233 + 0,480084i$ | $0,296005 + 0,534412i$ |
| w34 | $0,33867 + 0,532417i$  | $0,273278 + 0,475652i$ | $0,244969 + 0,541703i$ |
| w35 | $0,340014 + 0,533493i$ | $0,274756 + 0,477868i$ | $0,287256 + 0,519102i$ |
| w36 | $0,337373 + 0,530582i$ | $0,270324 + 0,474175i$ | $0,20487 + 0,392243i$  |
| w37 | $0,340506 + 0,534252i$ | $0,27254 + 0,476391i$  | $0,217264 + 0,380577i$ |
| w38 | $0,337911 + 0,532417i$ | $0,269585 + 0,472698i$ | $0,199038 + 0,375474i$ |
| w39 | $0,340014 + 0,531704i$ | $0,271801 + 0,474914i$ | $0,210703 + 0,364538i$ |
| w40 | $0,339652 + 0,536975i$ | $0,274017 + 0,477868i$ | $0,249344 + 0,55993i$  |
| w41 | $0,339968 + 0,53832i$  | $0,275494 + 0,479345i$ | $0,297463 + 0,535141i$ |
| w42 | $0,338133 + 0,534696i$ | $0,27254 + 0,475652i$  | $0,244969 + 0,54389i$  |
| w43 | $0,338179 + 0,534743i$ | $0,274756 + 0,477868i$ | $0,288714 + 0,521289i$ |
| w44 | $0,337864 + 0,534158i$ | $0,271063 + 0,473436i$ | $0,205599 + 0,393701i$ |
| w45 | $0,338939 + 0,533177i$ | $0,27254 + 0,476391i$  | $0,218723 + 0,382035i$ |
| w46 | $0,34019 + 0,534696i$  | $0,269585 + 0,471959i$ | $0,199767 + 0,376203i$ |
| w47 | $0,338449 + 0,533983i$ | $0,271063 + 0,474175i$ | $0,212161 + 0,366725i$ |
| w48 | $0,534965 + 0,33943i$  | $0,477129 + 0,274017i$ | $0,560659 + 0,248615i$ |
| w49 | $0,536309 + 0,339746i$ | $0,478607 + 0,276233i$ | $0,538058 + 0,296005i$ |
| w50 | $0,534205 + 0,338939i$ | $0,476391 + 0,27254i$  | $0,54389 + 0,24424i$   |
| w51 | $0,538366 + 0,337957i$ | $0,477129 + 0,274756i$ | $0,522018 + 0,286527i$ |
| w52 | $0,532907 + 0,336344i$ | $0,473436 + 0,270324i$ | $0,390784 + 0,20487i$  |
| w53 | $0,532955 + 0,338717i$ | $0,475652 + 0,27254i$  | $0,381306 + 0,217264i$ |
| w54 | $0,53112 + 0,338939i$  | $0,473436 + 0,269585i$ | $0,374016 + 0,199767i$ |
| w55 | $0,533223 + 0,337957i$ | $0,474175 + 0,271063i$ | $0,365267 + 0,209974i$ |
| w56 | $0,531342 + 0,339652i$ | $0,477129 + 0,274017i$ | $0,564304 + 0,248615i$ |
| w57 | $0,532417 + 0,339968i$ | $0,477868 + 0,276233i$ | $0,540974 + 0,296734i$ |
| w58 | $0,533936 + 0,34019i$  | $0,476391 + 0,27254i$  | $0,547536 + 0,243511i$ |
| w59 | $0,53604 + 0,340506i$  | $0,477129 + 0,274756i$ | $0,525663 + 0,287985i$ |
| w60 | $0,528525 + 0,339652i$ | $0,474175 + 0,270324i$ | $0,393701 + 0,20487i$  |

|     |                        |                        |                         |
|-----|------------------------|------------------------|-------------------------|
| w61 | $0,531658 + 0,337911i$ | $0,474914 + 0,27254i$  | $0,384952 + 0,218723i$  |
| w62 | $0,531879 + 0,338133i$ | $0,473436 + 0,269585i$ | $0,376203 + 0,199767i$  |
| w63 | $0,532686 + 0,339477i$ | $0,474914 + 0,271063i$ | $0,368912 + 0,211432i$  |
| w64 | $-0,555322 + 1,12624i$ | $-0,522922 + 1,18101i$ | $-0,297463 + 1,05643i$  |
| w65 | $-0,56728 + 1,13359i$  | $-0,538432 + 1,16254i$ | $-0,586177 + 0,96165i$  |
| w66 | $-0,559308 + 1,12037i$ | $-0,514797 + 1,1943i$  | $-0,290901 + 1,06955i$  |
| w67 | $-0,563576 + 1,13205i$ | $-0,528831 + 1,1751i$  | $-0,579615 + 0,96894i$  |
| w68 | $-0,552505 + 1,12494i$ | $-0,498548 + 1,22015i$ | $-0,295276 + 1,33567i$  |
| w69 | $-0,563704 + 1,13202i$ | $-0,511105 + 1,19725i$ | $-0,74876 + 1,23651i$   |
| w70 | $-0,559846 + 1,11805i$ | $-0,488947 + 1,23566i$ | $-0,300379 + 1,51137i$  |
| w71 | $-0,565901 + 1,1274i$  | $-0,504457 + 1,21129i$ | $-0,815106 + 1,3816i$   |
| w72 | $-0,557904 + 1,1381i$  | $-0,522183 + 1,18174i$ | $-0,300379 + 1,05351i$  |
| w73 | $-0,561681 + 1,14706i$ | $-0,536955 + 1,16402i$ | $-0,584718 + 0,963109i$ |
| w74 | $-0,559343 + 1,13456i$ | $-0,51332 + 1,19504i$  | $-0,293088 + 1,06591i$  |
| w75 | $-0,567186 + 1,14299i$ | $-0,530308 + 1,1751i$  | $-0,582531 + 0,966754i$ |
| w76 | $-0,553299 + 1,13551i$ | $-0,497071 + 1,22163i$ | $-0,295276 + 1,3189i$   |
| w77 | $-0,563201 + 1,14214i$ | $-0,512582 + 1,19947i$ | $-0,746573 + 1,21683i$  |
| w78 | $-0,556748 + 1,13251i$ | $-0,488208 + 1,23714i$ | $-0,296005 + 1,46544i$  |
| w79 | $-0,564101 + 1,13628i$ | $-0,504457 + 1,21277i$ | $-0,829688 + 1,35389i$  |
| w80 | $-1,13089 + 0,559658i$ | $-1,17953 + 0,525138i$ | $-1,06372 + 0,296005i$  |
| w81 | $-1,14052 + 0,565983i$ | $-1,16254 + 0,538432i$ | $-0,96165 + 0,581073i$  |
| w82 | $-1,13482 + 0,558817i$ | $-1,19135 + 0,51332i$  | $-1,0732 + 0,293088i$   |
| w83 | $-1,14905 + 0,563844i$ | $-1,17436 + 0,529569i$ | $-0,968212 + 0,581802i$ |
| w84 | $-1,12445 + 0,561493i$ | $-1,22089 + 0,499287i$ | $-1,36191 + 0,29965i$   |
| w85 | $-1,13332 + 0,562675i$ | $-1,20021 + 0,514797i$ | $-1,22485 + 0,754593i$  |
| w86 | $-1,12837 + 0,557788i$ | $-1,23418 + 0,488208i$ | $-1,54272 + 0,310586i$  |
| w87 | $-1,14364 + 0,563576i$ | $-1,21424 + 0,505196i$ | $-1,39691 + 0,852289i$  |
| w88 | $-1,11959 + 0,562018i$ | $-1,18027 + 0,522922i$ | $-1,06153 + 0,294546i$  |
| w89 | $-1,13468 + 0,566507i$ | $-1,16402 + 0,53991i$  | $-0,963109 + 0,581802i$ |
| w90 | $-1,13792 + 0,56113i$  | $-1,19208 + 0,51332i$  | $-1,07101 + 0,292359i$  |
| w91 | $-1,14396 + 0,563832i$ | $-1,17584 + 0,530308i$ | $-0,967483 + 0,582531i$ |
| w92 | $-1,12214 + 0,559424i$ | $-1,22089 + 0,497071i$ | $-1,32546 + 0,297463i$  |

|      |                         |                         |                         |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| w93  | $-1,13182 + 0,568564i$  | $-1,20243 + 0,514797i$  | $-1,19787 + 0,749489i$  |
| w94  | $-1,13018 + 0,56189i$   | $-1,23492 + 0,488947i$  | $-1,45596 + 0,304024i$  |
| w95  | $-1,13855 + 0,566158i$  | $-1,21498 + 0,504457i$  | $-1,32692 + 0,841353i$  |
| w96  | $-0,33943 + 0,53805i$   | $-0,274017 + 0,477129i$ | $-0,249344 + 0,558472i$ |
| w97  | $-0,339746 + 0,53604i$  | $-0,276233 + 0,480084i$ | $-0,296005 + 0,534412i$ |
| w98  | $-0,33867 + 0,532417i$  | $-0,273278 + 0,475652i$ | $-0,244969 + 0,541703i$ |
| w99  | $-0,340014 + 0,533493i$ | $-0,274756 + 0,477868i$ | $-0,287256 + 0,519102i$ |
| w100 | $-0,337373 + 0,530582i$ | $-0,270324 + 0,474175i$ | $-0,20487 + 0,392243i$  |
| w101 | $-0,340506 + 0,534252i$ | $-0,27254 + 0,476391i$  | $-0,217264 + 0,380577i$ |
| w102 | $-0,337911 + 0,532417i$ | $-0,269585 + 0,472698i$ | $-0,199038 + 0,375474i$ |
| w103 | $-0,340014 + 0,531704i$ | $-0,271801 + 0,474914i$ | $-0,210703 + 0,364538i$ |
| w104 | $-0,339652 + 0,536975i$ | $-0,274017 + 0,477868i$ | $-0,249344 + 0,55993i$  |
| w105 | $-0,339968 + 0,53832i$  | $-0,275494 + 0,479345i$ | $-0,297463 + 0,535141i$ |
| w106 | $-0,338133 + 0,534696i$ | $-0,27254 + 0,475652i$  | $-0,244969 + 0,54389i$  |
| w107 | $-0,338179 + 0,534743i$ | $-0,274756 + 0,477868i$ | $-0,288714 + 0,521289i$ |
| w108 | $-0,337864 + 0,534158i$ | $-0,271063 + 0,473436i$ | $-0,205599 + 0,393701i$ |
| w109 | $-0,338939 + 0,533177i$ | $-0,27254 + 0,476391i$  | $-0,218723 + 0,382035i$ |
| w110 | $-0,34019 + 0,534696i$  | $-0,269585 + 0,471959i$ | $-0,199767 + 0,376203i$ |
| w111 | $-0,338449 + 0,533983i$ | $-0,271063 + 0,474175i$ | $-0,212161 + 0,366725i$ |
| w112 | $-0,534965 + 0,33943i$  | $-0,477129 + 0,274017i$ | $-0,560659 + 0,248615i$ |
| w113 | $-0,536309 + 0,339746i$ | $-0,478607 + 0,276233i$ | $-0,538058 + 0,296005i$ |
| w114 | $-0,534205 + 0,338939i$ | $-0,476391 + 0,27254i$  | $-0,54389 + 0,24424i$   |
| w115 | $-0,538366 + 0,337957i$ | $-0,477129 + 0,274756i$ | $-0,522018 + 0,286527i$ |
| w116 | $-0,532907 + 0,336344i$ | $-0,473436 + 0,270324i$ | $-0,390784 + 0,20487i$  |
| w117 | $-0,532955 + 0,338717i$ | $-0,475652 + 0,27254i$  | $-0,381306 + 0,217264i$ |
| w118 | $-0,53112 + 0,338939i$  | $-0,473436 + 0,269585i$ | $-0,374016 + 0,199767i$ |
| w119 | $-0,533223 + 0,337957i$ | $-0,474175 + 0,271063i$ | $-0,365267 + 0,209974i$ |
| w120 | $-0,531342 + 0,339652i$ | $-0,477129 + 0,274017i$ | $-0,564304 + 0,248615i$ |
| w121 | $-0,532417 + 0,339968i$ | $-0,477868 + 0,276233i$ | $-0,540974 + 0,296734i$ |
| w122 | $-0,533936 + 0,34019i$  | $-0,476391 + 0,27254i$  | $-0,547536 + 0,243511i$ |
| w123 | $-0,53604 + 0,340506i$  | $-0,477129 + 0,274756i$ | $-0,525663 + 0,287985i$ |
| w124 | $-0,528525 + 0,339652i$ | $-0,474175 + 0,270324i$ | $-0,393701 + 0,20487i$  |

|      |                         |                         |                         |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| w125 | $-0,531658 + 0,337911i$ | $-0,474914 + 0,27254i$  | $-0,384952 + 0,218723i$ |
| w126 | $-0,531879 + 0,338133i$ | $-0,473436 + 0,269585i$ | $-0,376203 + 0,199767i$ |
| w127 | $-0,532686 + 0,339477i$ | $-0,474914 + 0,271063i$ | $-0,368912 + 0,211432i$ |
| w128 | $0,555322 - 1,12624i$   | $0,522922 - 1,18101i$   | $0,297463 - 1,05643i$   |
| w129 | $0,56728 - 1,13359i$    | $0,538432 - 1,16254i$   | $0,586177 - 0,96165i$   |
| w130 | $0,559308 - 1,12037i$   | $0,514797 - 1,1943i$    | $0,290901 - 1,06955i$   |
| w131 | $0,563576 - 1,13205i$   | $0,528831 - 1,1751i$    | $0,579615 - 0,968941i$  |
| w132 | $0,552505 - 1,12494i$   | $0,498548 - 1,22015i$   | $0,295276 - 1,33567i$   |
| w133 | $0,563704 - 1,13202i$   | $0,511105 - 1,19725i$   | $0,74876 - 1,23651i$    |
| w134 | $0,559846 - 1,11805i$   | $0,488947 - 1,23566i$   | $0,300379 - 1,51137i$   |
| w135 | $0,565901 - 1,1274i$    | $0,504457 - 1,21129i$   | $0,815106 - 1,3816i$    |
| w136 | $0,557904 - 1,1381i$    | $0,522183 - 1,18174i$   | $0,300379 - 1,05351i$   |
| w137 | $0,561681 - 1,14706i$   | $0,536955 - 1,16402i$   | $0,584718 - 0,963109i$  |
| w138 | $0,559343 - 1,13456i$   | $0,51332 - 1,19504i$    | $0,293088 - 1,06591i$   |
| w139 | $0,567186 - 1,14299i$   | $0,530308 - 1,1751i$    | $0,582531 - 0,966754i$  |
| w140 | $0,553299 - 1,13551i$   | $0,497071 - 1,22163i$   | $0,295276 - 1,3189i$    |
| w141 | $0,563201 - 1,14214i$   | $0,512582 - 1,19947i$   | $0,746573 - 1,21683i$   |
| w142 | $0,556748 - 1,13251i$   | $0,488208 - 1,23714i$   | $0,296005 - 1,46544i$   |
| w143 | $0,564101 - 1,13628i$   | $0,504457 - 1,21277i$   | $0,829688 - 1,35389i$   |
| w144 | $1,13089 - 0,559658i$   | $1,17953 - 0,525138i$   | $1,06372 - 0,296005i$   |
| w145 | $1,14052 - 0,565983i$   | $1,16254 - 0,538432i$   | $0,96165 - 0,581073i$   |
| w146 | $1,13482 - 0,558817i$   | $1,19135 - 0,51332i$    | $1,0732 - 0,293088i$    |
| w147 | $1,14905 - 0,563844i$   | $1,17436 - 0,529569i$   | $0,968212 - 0,581802i$  |
| w148 | $1,12445 - 0,561493i$   | $1,22089 - 0,499287i$   | $1,36191 - 0,29965i$    |
| w149 | $1,13332 - 0,562675i$   | $1,20021 - 0,514797i$   | $1,22485 - 0,754593i$   |
| w150 | $1,12837 - 0,557788i$   | $1,23418 - 0,488208i$   | $1,54272 - 0,310586i$   |
| w151 | $1,14364 - 0,563576i$   | $1,21424 - 0,505196i$   | $1,39691 - 0,852289i$   |
| w152 | $1,11959 - 0,562018i$   | $1,18027 - 0,522922i$   | $1,06153 - 0,294546i$   |
| w153 | $1,13468 - 0,566507i$   | $1,16402 - 0,53991i$    | $0,963109 - 0,581802i$  |
| w154 | $1,13792 - 0,56113i$    | $1,19208 - 0,51332i$    | $1,07101 - 0,292359i$   |
| w155 | $1,14396 - 0,563832i$   | $1,17584 - 0,530308i$   | $0,967483 - 0,582531i$  |
| w156 | $1,12214 - 0,559424i$   | $1,22089 - 0,497071i$   | $1,32546 - 0,297463i$   |



|      |                      |                      |                      |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|
| w157 | 1,13182 – 0,568564i  | 1,20243 – 0,514797i  | 1,19787 – 0,749489i  |
| w158 | 1,13018 – 0,56189i   | 1,23492 – 0,488947i  | 1,45596 – 0,304024i  |
| w159 | 1,13855 – 0,566158i  | 1,21498 – 0,504457i  | 1,32692 – 0,841353i  |
| w160 | 0,33943 – 0,53805i   | 0,274017 – 0,477129i | 0,249344 – 0,558472i |
| w161 | 0,339746 – 0,53604i  | 0,276233 – 0,480084i | 0,296005 – 0,534412i |
| w162 | 0,33867 – 0,532417i  | 0,273278 – 0,475652i | 0,244969 – 0,541703i |
| w163 | 0,340014 – 0,533493i | 0,274756 – 0,477868i | 0,287256 – 0,519102i |
| w164 | 0,337373 – 0,530582i | 0,270324 – 0,474175i | 0,20487 – 0,392243i  |
| w165 | 0,340506 – 0,534252i | 0,27254 – 0,476391i  | 0,217264 – 0,380577i |
| w166 | 0,337911 – 0,532417i | 0,269585 – 0,472698i | 0,199038 – 0,375474i |
| w167 | 0,340014 – 0,531704i | 0,271801 – 0,474914i | 0,210703 – 0,364538i |
| w168 | 0,339652 – 0,536975i | 0,274017 – 0,477868i | 0,249344 – 0,55993i  |
| w169 | 0,339968 – 0,53832i  | 0,275494 – 0,479345i | 0,297463 – 0,535141i |
| w170 | 0,338133 – 0,534696i | 0,27254 – 0,475652i  | 0,244969 – 0,54389i  |
| w171 | 0,338179 – 0,534743i | 0,274756 – 0,477868i | 0,288714 – 0,521289i |
| w172 | 0,337864 – 0,534158i | 0,271063 – 0,473436i | 0,205599 – 0,393701i |
| w173 | 0,338939 – 0,533177i | 0,27254 – 0,476391i  | 0,218723 – 0,382035i |
| w174 | 0,34019 – 0,534696i  | 0,269585 – 0,471959i | 0,199767 – 0,376203i |
| w175 | 0,338449 – 0,533983i | 0,271063 – 0,474175i | 0,212161 – 0,366725i |
| w176 | 0,534965 – 0,33943i  | 0,477129 – 0,274017i | 0,560659 – 0,248615i |
| w177 | 0,536309 – 0,339746i | 0,478607 – 0,276233i | 0,538058 – 0,296005i |
| w178 | 0,534205 – 0,338939i | 0,476391 – 0,27254i  | 0,54389 – 0,24424i   |
| w179 | 0,538366 – 0,337957i | 0,477129 – 0,274756i | 0,522018 – 0,286527i |
| w180 | 0,532907 – 0,336344i | 0,473436 – 0,270324i | 0,390784 – 0,20487i  |
| w181 | 0,532955 – 0,338717i | 0,475652 – 0,27254i  | 0,381306 – 0,217264i |
| w182 | 0,53112 – 0,338939i  | 0,473436 – 0,269585i | 0,374016 – 0,199767i |
| w183 | 0,533223 – 0,337957i | 0,474175 – 0,271063i | 0,365267 – 0,209974i |
| w184 | 0,531342 – 0,339652i | 0,477129 – 0,274017i | 0,564304 – 0,248615i |
| w185 | 0,532417 – 0,339968i | 0,477868 – 0,276233i | 0,540974 – 0,296734i |
| w186 | 0,533936 – 0,34019i  | 0,476391 – 0,27254i  | 0,547536 – 0,243511i |
| w187 | 0,53604 – 0,340506i  | 0,477129 – 0,274756i | 0,525663 – 0,287985i |
| w188 | 0,528525 – 0,339652i | 0,474175 – 0,270324i | 0,393701 – 0,20487i  |

|      |                        |                        |                         |
|------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| w189 | $0,531658 - 0,337911i$ | $0,474914 - 0,27254i$  | $0,384952 - 0,218723i$  |
| w190 | $0,531879 - 0,338133i$ | $0,473436 - 0,269585i$ | $0,376203 - 0,199767i$  |
| w191 | $0,532686 - 0,339477i$ | $0,474914 - 0,271063i$ | $0,368912 - 0,211432i$  |
| w192 | $-0,555322 - 1,12624i$ | $-0,522922 - 1,18101i$ | $-0,297463 - 1,05643i$  |
| w193 | $-0,56728 - 1,13359i$  | $-0,538432 - 1,16254i$ | $-0,586177 - 0,96165i$  |
| w194 | $-0,559308 - 1,12037i$ | $-0,514797 - 1,1943i$  | $-0,290901 - 1,06955i$  |
| w195 | $-0,563576 - 1,13205i$ | $-0,528831 - 1,1751i$  | $-0,579615 - 0,96894i$  |
| w196 | $-0,552505 - 1,12494i$ | $-0,498548 - 1,22015i$ | $-0,295276 - 1,33567i$  |
| w197 | $-0,563704 - 1,13202i$ | $-0,511105 - 1,19725i$ | $-0,74876 - 1,23651i$   |
| w198 | $-0,559846 - 1,11805i$ | $-0,488947 - 1,23566i$ | $-0,300379 - 1,51137i$  |
| w199 | $-0,565901 - 1,1274i$  | $-0,504457 - 1,21129i$ | $-0,815106 - 1,3816i$   |
| w200 | $-0,557904 - 1,1381i$  | $-0,522183 - 1,18174i$ | $-0,300379 - 1,05351i$  |
| w201 | $-0,561681 - 1,14706i$ | $-0,536955 - 1,16402i$ | $-0,584718 - 0,963109i$ |
| w202 | $-0,559343 - 1,13456i$ | $-0,51332 - 1,19504i$  | $-0,293088 - 1,06591i$  |
| w203 | $-0,567186 - 1,14299i$ | $-0,530308 - 1,1751i$  | $-0,582531 - 0,966754i$ |
| w204 | $-0,553299 - 1,13551i$ | $-0,497071 - 1,22163i$ | $-0,295276 - 1,3189i$   |
| w205 | $-0,563201 - 1,14214i$ | $-0,512582 - 1,19947i$ | $-0,746573 - 1,21683i$  |
| w206 | $-0,556748 - 1,13251i$ | $-0,488208 - 1,23714i$ | $-0,296005 - 1,46544i$  |
| w207 | $-0,564101 - 1,13628i$ | $-0,504457 - 1,21277i$ | $-0,829688 - 1,35389i$  |
| w208 | $-1,13089 - 0,559658i$ | $-1,17953 - 0,525138i$ | $-1,06372 - 0,296005i$  |
| w209 | $-1,14052 - 0,565983i$ | $-1,16254 - 0,538432i$ | $-0,96165 - 0,581073i$  |
| w210 | $-1,13482 - 0,558817i$ | $-1,19135 - 0,51332i$  | $-1,0732 - 0,293088i$   |
| w211 | $-1,14905 - 0,563844i$ | $-1,17436 - 0,529569i$ | $-0,968212 - 0,581802i$ |
| w212 | $-1,12445 - 0,561493i$ | $-1,22089 - 0,499287i$ | $-1,36191 - 0,29965i$   |
| w213 | $-1,13332 - 0,562675i$ | $-1,20021 - 0,514797i$ | $-1,22485 - 0,754593i$  |
| w214 | $-1,12837 - 0,557788i$ | $-1,23418 - 0,488208i$ | $-1,54272 - 0,310586i$  |
| w215 | $-1,14364 - 0,563576i$ | $-1,21424 - 0,505196i$ | $-1,39691 - 0,852289i$  |
| w216 | $-1,11959 - 0,562018i$ | $-1,18027 - 0,522922i$ | $-1,06153 - 0,294546i$  |
| w217 | $-1,13468 - 0,566507i$ | $-1,16402 - 0,53991i$  | $-0,963109 - 0,581802i$ |
| w218 | $-1,13792 - 0,56113i$  | $-1,19208 - 0,51332i$  | $-1,07101 - 0,292359i$  |
| w219 | $-1,14396 - 0,563832i$ | $-1,17584 - 0,530308i$ | $-0,967483 - 0,582531i$ |
| w220 | $-1,12214 - 0,559424i$ | $-1,22089 - 0,497071i$ | $-1,32546 - 0,297463i$  |

|      |                         |                         |                         |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| w221 | $-1,13182 - 0,568564i$  | $-1,20243 - 0,514797i$  | $-1,19787 - 0,749489i$  |
| w222 | $-1,13018 - 0,56189i$   | $-1,23492 - 0,488947i$  | $-1,45596 - 0,304024i$  |
| w223 | $-1,13855 - 0,566158i$  | $-1,21498 - 0,504457i$  | $-1,32692 - 0,841353i$  |
| w224 | $-0,33943 - 0,53805i$   | $-0,274017 - 0,477129i$ | $-0,249344 - 0,558472i$ |
| w225 | $-0,339746 - 0,53604i$  | $-0,276233 - 0,480084i$ | $-0,296005 - 0,534412i$ |
| w226 | $-0,33867 - 0,532417i$  | $-0,273278 - 0,475652i$ | $-0,244969 - 0,541703i$ |
| w227 | $-0,340014 - 0,533493i$ | $-0,274756 - 0,477868i$ | $-0,287256 - 0,519102i$ |
| w228 | $-0,337373 - 0,530582i$ | $-0,270324 - 0,474175i$ | $-0,20487 - 0,392243i$  |
| w229 | $-0,340506 - 0,534252i$ | $-0,27254 - 0,476391i$  | $-0,217264 - 0,380577i$ |
| w230 | $-0,337911 - 0,532417i$ | $-0,269585 - 0,472698i$ | $-0,199038 - 0,375474i$ |
| w231 | $-0,340014 - 0,531704i$ | $-0,271801 - 0,474914i$ | $-0,210703 - 0,364538i$ |
| w232 | $-0,339652 - 0,536975i$ | $-0,274017 - 0,477868i$ | $-0,249344 - 0,55993i$  |
| w233 | $-0,339968 - 0,53832i$  | $-0,275494 - 0,479345i$ | $-0,297463 - 0,535141i$ |
| w234 | $-0,338133 - 0,534696i$ | $-0,27254 - 0,475652i$  | $-0,244969 - 0,54389i$  |
| w235 | $-0,338179 - 0,534743i$ | $-0,274756 - 0,477868i$ | $-0,288714 - 0,521289i$ |
| w236 | $-0,337864 - 0,534158i$ | $-0,271063 - 0,473436i$ | $-0,205599 - 0,393701i$ |
| w237 | $-0,338939 - 0,533177i$ | $-0,27254 - 0,476391i$  | $-0,218723 - 0,382035i$ |
| w238 | $-0,34019 - 0,534696i$  | $-0,269585 - 0,471959i$ | $-0,199767 - 0,376203i$ |
| w239 | $-0,338449 - 0,533983i$ | $-0,271063 - 0,474175i$ | $-0,212161 - 0,366725i$ |
| w240 | $-0,534965 - 0,33943i$  | $-0,477129 - 0,274017i$ | $-0,560659 - 0,248615i$ |
| w241 | $-0,536309 - 0,339746i$ | $-0,478607 - 0,276233i$ | $-0,538058 - 0,296005i$ |
| w242 | $-0,534205 - 0,338939i$ | $-0,476391 - 0,27254i$  | $-0,54389 - 0,24424i$   |
| w243 | $-0,538366 - 0,337957i$ | $-0,477129 - 0,274756i$ | $-0,522018 - 0,286527i$ |
| w244 | $-0,532907 - 0,336344i$ | $-0,473436 - 0,270324i$ | $-0,390784 - 0,20487i$  |
| w245 | $-0,532955 - 0,338717i$ | $-0,475652 - 0,27254i$  | $-0,381306 - 0,217264i$ |
| w246 | $-0,53112 - 0,338939i$  | $-0,473436 - 0,269585i$ | $-0,374016 - 0,199767i$ |
| w247 | $-0,533223 - 0,337957i$ | $-0,474175 - 0,271063i$ | $-0,365267 - 0,209974i$ |
| w248 | $-0,531342 - 0,339652i$ | $-0,477129 - 0,274017i$ | $-0,564304 - 0,248615i$ |
| w249 | $-0,532417 - 0,339968i$ | $-0,477868 - 0,276233i$ | $-0,540974 - 0,296734i$ |
| w250 | $-0,533936 - 0,34019i$  | $-0,476391 - 0,27254i$  | $-0,547536 - 0,243511i$ |
| w251 | $-0,53604 - 0,340506i$  | $-0,477129 - 0,274756i$ | $-0,525663 - 0,287985i$ |
| w252 | $-0,528525 - 0,339652i$ | $-0,474175 - 0,270324i$ | $-0,393701 - 0,20487i$  |

|      |                         |                         |                         |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| w253 | $-0,531658 - 0,337911i$ | $-0,474914 - 0,27254i$  | $-0,384952 - 0,218723i$ |
| w254 | $-0,531879 - 0,338133i$ | $-0,473436 - 0,269585i$ | $-0,376203 - 0,199767i$ |
| w255 | $-0,532686 - 0,339477i$ | $-0,474914 - 0,271063i$ | $-0,368912 - 0,211432i$ |

Trong trường hợp này, các điểm trong chòm điểm 2D NU 256-QAM với các tỷ lệ mã hoá tương ứng bằng 2/15, 3/15 và 4/15 được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.25 đến Fig.27.

Trong khi đó, dựa vào các bảng từ bảng 2 đến bảng 4, khi giá trị của các điểm trong chòm điểm được xác định ở trong một góc phần tư, thì giá trị của các điểm trong chòm điểm ở trong các góc phần tư còn lại có thể được suy ra dựa vào tính đối xứng. Ví dụ, với mỗi điểm A nằm ở góc phần tư phía trên bên phải của chòm điểm, các điểm tương ứng của chòm điểm có thể lần lượt nằm ở ba góc phần tư còn lại (góc phía dưới bên phải, góc phía dưới bên trái và góc phía trên bên trái), và các điểm này có thể được biểu diễn dưới dạng  $A^*$ ,  $-A^*$  và  $-A$ , trong đó  $*$  là liên hợp phức.

Bảng 5 thể hiện giá trị của các điểm trong chòm điểm chuẩn hoá 1D NU 1024-QAM (gọi tắt là chòm điểm 1D 1024NUC) thu được bằng cách áp dụng các thuật toán nêu trên sử dụng các tỷ lệ mã hoá tương ứng bằng 2/15, 3/15 và 4/15 với một giá trị SNR.

Bảng 5

| Mức | Tỷ lệ mã hoá |             |             |
|-----|--------------|-------------|-------------|
|     | 2/15         | 3/15        | 4/15        |
| 1   | 1            | 1           | 1           |
| 2   | 1,000988842  | 1,073113208 | 1,008229665 |
| 3   | 1,001438042  | 1,153930818 | 1,075789474 |
| 4   | 1,001284289  | 1,073899371 | 1,065263158 |
| 5   | 1,002909247  | 1,153459119 | 1,588516746 |
| 6   | 1,00312028   | 1,238050314 | 1,608803828 |
| 7   | 1,00152547   | 1,153930818 | 1,502200957 |
| 8   | 1,0015315    | 1,073742138 | 1,483062201 |
| 9   | 2,824341802  | 3,982232704 | 3,724784689 |
| 10  | 2,839150319  | 3,504402516 | 3,826411483 |
| 11  | 2,868001604  | 3,278616352 | 3,897799043 |
| 12  | 2,855026063  | 3,504559748 | 3,807272727 |
| 13  | 2,848080048  | 3,972484277 | 5,023923445 |
| 14  | 2,861384198  | 3,499371069 | 5,023349282 |
| 15  | 2,831923931  | 3,970754717 | 5,88937799  |
| 16  | 2,818221832  | 6,002830189 | 7,67138756  |

Trong trường hợp này, các điểm trong chòm điểm 1D NU 1K QAM với các tỷ lệ mã hoá tương ứng bằng 2/15, 3/15 và 4/15 có thể được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.28 đến Fig.30.

Ví dụ, Fig.28 thể hiện ví dụ về chòm điểm 1D NU 1024-QAM thu được bằng cách áp dụng các thuật toán nêu trên sử dụng tỷ lệ mã hoá bằng 2/15.

Dựa vào Fig.28, tập hợp đầy đủ của các điểm trong chòm điểm được biểu diễn trên sơ đồ chòm điểm ở phía bên phải của hình vẽ này. Giá trị của các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư phía trên bên phải được biểu diễn ở góc phía trên bên trái của hình vẽ này.

Đối với chòm điểm 1D NU 1K QAM, không biểu diễn rõ ràng giá trị của các điểm trong chòm điểm, thay vào đó chỉ biểu diễn tập hợp mức của các điểm trong chòm điểm, để từ đó có thể tìm ra giá trị thực tế của các điểm trong chòm điểm. Cụ thể, với một tập

hợp cho trước gồm  $m$  mức  $A = [A_1, A_2, \dots, A_m]$ , có thể tìm ra một tập hợp gồm  $m^2$  giá trị  $C + Di$  của các điểm trong chòm điểm. Trong đó, mỗi thông số  $C$  và  $D$  có thể nhận một giá trị được chọn từ tập hợp mức  $A$ . Tập hợp đầy đủ của các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư phía trên bên phải có thể thu được bằng cách xem xét tất cả các cặp giá trị  $C$  và  $D$  có thể có. Dựa vào Fig.28, giá trị của các điểm trong chòm điểm ở trong ba góc phần tư còn lại có thể được suy ra theo cách tương tự dựa vào tính đối xứng. Ví dụ, trong bảng 5, khi tỷ lệ mã hoá bằng  $2/15$ ,  $A = \{1, 1,000988842, \dots, 2,818221832\}$ , và một nhóm  $C + Di$  tương ứng với một tập hợp điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất có 256 phần tử như  $\{1 + i, 1 + 1,000988842 \times i, 1,000988842 + i, \dots, 2,818221832 + 2,818221832 \times i\}$ , thì tập hợp đầy đủ của các điểm trong chòm điểm 1D NU 1024-QAM có thể thu được bằng cách biểu diễn một phần tử tuỳ ý  $a$  trong nhóm này dưới dạng  $a^*$ ,  $-a^*$  và  $-a$ , trong đó  $*$  là liên hợp phức.

Bảng 6 thể hiện giá trị của các điểm trong chòm điểm chuẩn hoá 1D NU 4096-QAM (gọi tắt là chòm điểm 1D 4096NUC) thu được bằng cách áp dụng các thuật toán nêu trên sử dụng các tỷ lệ mã hoá tương ứng bằng  $2/15$ ,  $3/15$ ,  $4/15$  và  $5/15$  với một giá trị SNR.

Bảng 6

| Mức | Tỷ lệ mã hoá |             |             |             |
|-----|--------------|-------------|-------------|-------------|
|     | 2/15         | 3/15        | 4/15        | 5/15        |
| 1   | 1            | 1           | 1           | 1           |
| 2   | 1,020833333  | 1           | 0,973180077 | 1           |
| 3   | 1,041666667  | 1,057142857 | 0,965517241 | 1           |
| 4   | 1,020833333  | 1,057142857 | 0,980842912 | 1           |
| 5   | 1,041666667  | 1,057142857 | 0,988505747 | 1           |
| 6   | 1,0625       | 1,057142857 | 0,957854406 | 1           |
| 7   | 1,041666667  | 1,028571429 | 0,988505747 | 1           |
| 8   | 1,020833333  | 1           | 1           | 1           |
| 9   | 1,041666667  | 1,371428571 | 2,233716475 | 2,863636364 |
| 10  | 1,0625       | 1,428571429 | 2,233716475 | 2,863636364 |
| 11  | 1,0625       | 1,485714286 | 2,210727969 | 2,772727273 |
| 12  | 1,0625       | 1,457142857 | 2,229885057 | 2,772727273 |

|    |             |             |             |             |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 13 | 1,041666667 | 1,457142857 | 2,245210728 | 2,772727273 |
| 14 | 1,0625      | 1,485714286 | 2,22605364  | 2,772727273 |
| 15 | 1,041666667 | 1,371428571 | 2,214559387 | 2,863636364 |
| 16 | 1,020833333 | 1,371428571 | 2,237547893 | 2,863636364 |
| 17 | 3,4375      | 3,542857143 | 4,275862069 | 4,863636364 |
| 18 | 3,041666667 | 3,628571429 | 4,356321839 | 4,863636364 |
| 19 | 2,791666667 | 3,657142857 | 4,708812261 | 5,545454545 |
| 20 | 3           | 3,6         | 4,62835249  | 5,590909091 |
| 21 | 2,916666667 | 3,628571429 | 4,624521073 | 5,545454545 |
| 22 | 2,75        | 3,685714286 | 4,724137931 | 5,545454545 |
| 23 | 2,958333333 | 3,657142857 | 4,360153257 | 4,863636364 |
| 24 | 3,25        | 3,6         | 4,287356322 | 4,863636364 |
| 25 | 4,125       | 6,4         | 8,98467433  | 11,18181818 |
| 26 | 3,354166667 | 5,314285714 | 7,911877395 | 9,772727273 |
| 27 | 2,979166667 | 4,8         | 6,708812261 | 8           |
| 28 | 3,291666667 | 4,971428571 | 6,536398467 | 7,545454545 |
| 29 | 3,520833333 | 4,857142857 | 6,425287356 | 7,5         |
| 30 | 3,083333333 | 4,714285714 | 6,609195402 | 7,909090909 |
| 31 | 3,604166667 | 5,228571429 | 7,747126437 | 9,454545455 |
| 32 | 5,1875      | 8,057142857 | 10,8697318  | 13,18181818 |

Trong trường hợp này, các điểm trong chòm điểm 1D NU 4096-QAM với các tỷ lệ mã hoá tương ứng bằng 2/15, 3/15, 4/15 và 5/15 có thể được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.31 đến Fig.34.

Đối với chòm điểm 1D NU 4K QAM, không biểu diễn rõ ràng giá trị của các điểm trong chòm điểm, thay vào đó chỉ biểu diễn tập hợp mức của các điểm trong chòm điểm, để từ đó có thể tìm ra giá trị thực tế của các điểm trong chòm điểm. Cụ thể, với một tập hợp cho trước gồm  $m$  mức  $A = [A_1, A_2, \dots, A_m]$ , có thể tìm ra một tập hợp gồm  $m^2$  giá trị  $C + Di$  của các điểm trong chòm điểm. Trong đó, mỗi giá trị  $C$  và  $D$  có thể nhận một giá trị được chọn từ tập hợp mức  $A$ . Tập hợp đầy đủ của các điểm trong chòm điểm ở trong góc phần tư phía trên bên phải có thể thu được bằng cách xem xét tất cả các cặp giá trị  $C$  và  $D$  có thể có. Tức là, giá trị của các điểm trong chòm điểm ở trong ba góc phần tư còn

lại có thể được suy ra theo cách tương tự dựa vào tính đối xứng. Ví dụ, trong bảng 6, khi tỷ lệ mã hoá bằng  $2/15$ ,  $A = \{1, 1,020833333, \dots, 5,1875\}$ , và một nhóm  $C + Di$  tương ứng với một tập hợp điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất có 256 phần tử như  $\{1 + i, 1 + 1,020833333 \times i, 1,020833333 + i, \dots, 5,1875 + 5,1875 \times i\}$ , thì tập hợp đầy đủ của các điểm trong chòm điểm 1D NU 4096-QAM có thể thu được bằng cách biểu diễn một phần tử tùy ý  $a$  trong nhóm dưới dạng  $a^*$ ,  $-a^*$  và  $-a$ , trong đó  $*$  là liên hợp phức.

Như đã nêu trên, trong chòm điểm 1D-NUC được thể hiện trong bảng 5 và bảng 6, chòm điểm này có thể được biểu diễn bằng các mức mà ở đó các chòm điểm xuất hiện ở phần thực dương. Các điểm trong chòm điểm có thể được suy ra bằng cách sử dụng tính đối xứng qua trục thực/trục ảo cùng với tính đối xứng của bốn góc phần tư.

Sáng chế không bị giới hạn ở các chòm điểm được xác định dựa vào các bảng từ bảng 2 đến bảng 6. Ví dụ, khi các kích thước khác nhau do phương pháp chuẩn hoá và làm tròn được áp dụng cho giá trị của các điểm trong chòm điểm được xác định dựa vào các bảng từ bảng 2 đến bảng 6, thì các giá trị có thể được thể hiện trong các bảng từ bảng 7 đến bảng 11. Trong trường hợp này, chòm điểm được xác định dựa vào các bảng từ bảng 7 đến bảng 11 có thể là một phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế.

Bảng 7 đến bảng 11 thể hiện tập hợp điểm trong chòm điểm chỉ ở trong một góc phần tư, nhưng rõ ràng là có thể thu được tập hợp đầy đủ của các điểm trong chòm điểm bằng cách lần lượt biểu diễn điểm  $a$  trong chòm điểm ở trong một góc phần tư dưới dạng  $a^*$ ,  $-a^*$  và  $-a$ , trong đó  $*$  là liên hợp phức.

Cụ thể, bảng 7 thể hiện giá trị của các điểm trong chòm điểm 2D NU 16-QAM (gọi tắt là chòm điểm 2D 16NUC) thu được bằng cách áp dụng phương pháp chuẩn hoá và làm tròn cho giá trị của các điểm trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng 2.

Bảng 7

| w/hình dạng | NUC_16_2/15      | NUC_16_3/15      | NUC_16_4/15      |
|-------------|------------------|------------------|------------------|
| w0          | 0,7073 + 0,7075i | 0,7098 + 0,7102i | 1,1070 + 0,5806i |
| w1          | 0,7073 + 0,7074i | 0,7050 + 0,7101i | 0,5814 + 1,1070i |
| w2          | 0,7060 + 0,7077i | 0,7093 + 0,7039i | 0,5525 + 0,3626i |
| w3          | 0,7065 + 0,7071i | 0,7045 + 0,7040i | 0,3629 + 0,5527i |



Trong trường hợp này, giá trị của các điểm trong chòm điểm ở trong các góc phần tư còn lại có thể được xác định dựa vào tính đối xứng.

Bảng 8 thể hiện giá trị của các điểm trong chòm điểm 2D NU 64-QAM (gọi tắt là chòm điểm 2D 64NUC) thu được bằng cách áp dụng phương pháp chuẩn hoá và làm tròn cho giá trị của các điểm trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng 3.

Bảng 8

| w/hình dạng | NUC_64_2/15      | NUC_64_3/15      | NUC_64_4/15      |
|-------------|------------------|------------------|------------------|
| w0          | 0,6474 + 0,9831i | 0,5472 + 1,1591i | 0,5008 + 1,2136i |
| w1          | 0,6438 + 0,9829i | 0,5473 + 1,1573i | 0,4994 + 1,2194i |
| w2          | 0,6471 + 0,9767i | 0,5467 + 1,1599i | 0,5313 + 1,1715i |
| w3          | 0,6444 + 0,9762i | 0,5479 + 1,1585i | 0,5299 + 1,1788i |
| w4          | 0,9839 + 0,6475i | 1,1578 + 0,5478i | 1,2107 + 0,5037i |
| w5          | 0,9778 + 0,6474i | 1,1576 + 0,5475i | 1,2209 + 0,5008i |
| w6          | 0,9835 + 0,6434i | 1,1591 + 0,5475i | 1,1715 + 0,5299i |
| w7          | 0,9777 + 0,6433i | 1,1591 + 0,5475i | 1,1802 + 0,5270i |
| w8          | 0,4659 + 0,6393i | 0,3163 + 0,5072i | 0,2744 + 0,4762i |
| w9          | 0,4643 + 0,6386i | 0,3163 + 0,5072i | 0,2729 + 0,4762i |
| w10         | 0,4661 + 0,6353i | 0,3163 + 0,5072i | 0,2773 + 0,4791i |
| w11         | 0,4639 + 0,6350i | 0,3163 + 0,5072i | 0,2773 + 0,4791i |
| w12         | 0,6378 + 0,4671i | 0,5087 + 0,3163i | 0,4762 + 0,2729i |
| w13         | 0,6352 + 0,4673i | 0,5087 + 0,3163i | 0,4762 + 0,2729i |
| w14         | 0,6385 + 0,4656i | 0,5087 + 0,3163i | 0,4791 + 0,2773i |
| w15         | 0,6353 + 0,4653i | 0,5087 + 0,3163i | 0,4791 + 0,2758i |

Trong trường hợp này, giá trị của các điểm trong chòm điểm ở trong các góc phần tư còn lại có thể được xác định dựa vào tính đối xứng.

Bảng 9 thể hiện giá trị của các điểm trong chòm điểm 2D NU 256-QAM (gọi tắt là chòm điểm 2D 256NUC) thu được bằng cách áp dụng phương pháp chuẩn hoá và làm tròn cho giá trị của các điểm trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng 4.

Bảng 9

| w/hình dạng | NUC_256_2/15     | NUC_256_3/15     | NUC_256_4/15     |
|-------------|------------------|------------------|------------------|
| w0          | 0,5553 + 1,1262i | 0,5229 + 1,1810i | 0,2975 + 1,0564i |
| w1          | 0,5673 + 1,1336i | 0,5384 + 1,1625i | 0,5862 + 0,9617i |
| w2          | 0,5593 + 1,1204i | 0,5148 + 1,1943i | 0,2909 + 1,0696i |
| w3          | 0,5636 + 1,1321i | 0,5288 + 1,1751i | 0,5796 + 0,9689i |
| w4          | 0,5525 + 1,1249i | 0,4985 + 1,2202i | 0,2953 + 1,3357i |
| w5          | 0,5637 + 1,1320i | 0,5111 + 1,1973i | 0,7488 + 1,2365i |
| w6          | 0,5598 + 1,1181i | 0,4889 + 1,2357i | 0,3004 + 1,5114i |
| w7          | 0,5659 + 1,1274i | 0,5045 + 1,2113i | 0,8151 + 1,3816i |
| w8          | 0,5579 + 1,1381i | 0,5222 + 1,1817i | 0,3004 + 1,0535i |
| w9          | 0,5617 + 1,1471i | 0,5370 + 1,1640i | 0,5847 + 0,9631i |
| w10         | 0,5593 + 1,1346i | 0,5133 + 1,1950i | 0,2931 + 1,0659i |
| w11         | 0,5672 + 1,1430i | 0,5303 + 1,1751i | 0,5825 + 0,9668i |
| w12         | 0,5533 + 1,1355i | 0,4971 + 1,2216i | 0,2953 + 1,3189i |
| w13         | 0,5632 + 1,1421i | 0,5126 + 1,1995i | 0,7466 + 1,2168i |
| w14         | 0,5567 + 1,1325i | 0,4882 + 1,2371i | 0,2960 + 1,4654i |
| w15         | 0,5641 + 1,1363i | 0,5045 + 1,2128i | 0,8297 + 1,3539i |
| w16         | 1,1309 + 0,5597i | 1,1795 + 0,5251i | 1,0637 + 0,2960i |
| w17         | 1,1405 + 0,5660i | 1,1625 + 0,5384i | 0,9617 + 0,5811i |
| w18         | 1,1348 + 0,5588i | 1,1914 + 0,5133i | 1,0732 + 0,2931i |
| w19         | 1,1491 + 0,5638i | 1,1744 + 0,5296i | 0,9682 + 0,5818i |
| w20         | 1,1245 + 0,5615i | 1,2209 + 0,4993i | 1,3619 + 0,2997i |
| w21         | 1,1333 + 0,5627i | 1,2002 + 0,5148i | 1,2249 + 0,7546i |
| w22         | 1,1284 + 0,5578i | 1,2342 + 0,4882i | 1,5427 + 0,3106i |
| w23         | 1,1436 + 0,5636i | 1,2142 + 0,5052i | 1,3969 + 0,8523i |
| w24         | 1,1196 + 0,5620i | 1,1803 + 0,5229i | 1,0615 + 0,2945i |
| w25         | 1,1347 + 0,5665i | 1,1640 + 0,5399i | 0,9631 + 0,5818i |
| w26         | 1,1379 + 0,5611i | 1,1921 + 0,5133i | 1,0710 + 0,2924i |
| w27         | 1,1440 + 0,5638i | 1,1758 + 0,5303i | 0,9675 + 0,5825i |
| w28         | 1,1221 + 0,5594i | 1,2209 + 0,4971i | 1,3255 + 0,2975i |
| w29         | 1,1318 + 0,5686i | 1,2024 + 0,5148i | 1,1979 + 0,7495i |

|     |                    |                    |                    |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| w30 | $1,1302 + 0,5619i$ | $1,2349 + 0,4889i$ | $1,4560 + 0,3040i$ |
| w31 | $1,1386 + 0,5662i$ | $1,2150 + 0,5045i$ | $1,3269 + 0,8414i$ |
| w32 | $0,3394 + 0,5381i$ | $0,2740 + 0,4771i$ | $0,2493 + 0,5585i$ |
| w33 | $0,3397 + 0,5360i$ | $0,2762 + 0,4801i$ | $0,2960 + 0,5344i$ |
| w34 | $0,3387 + 0,5324i$ | $0,2733 + 0,4757i$ | $0,2450 + 0,5417i$ |
| w35 | $0,3400 + 0,5335i$ | $0,2748 + 0,4779i$ | $0,2873 + 0,5191i$ |
| w36 | $0,3374 + 0,5306i$ | $0,2703 + 0,4742i$ | $0,2049 + 0,3922i$ |
| w37 | $0,3405 + 0,5343i$ | $0,2725 + 0,4764i$ | $0,2173 + 0,3806i$ |
| w38 | $0,3379 + 0,5324i$ | $0,2696 + 0,4727i$ | $0,1990 + 0,3755i$ |
| w39 | $0,3400 + 0,5317i$ | $0,2718 + 0,4749i$ | $0,2107 + 0,3645i$ |
| w40 | $0,3397 + 0,5370i$ | $0,2740 + 0,4779i$ | $0,2493 + 0,5599i$ |
| w41 | $0,3400 + 0,5383i$ | $0,2755 + 0,4793i$ | $0,2975 + 0,5351i$ |
| w42 | $0,3381 + 0,5347i$ | $0,2725 + 0,4757i$ | $0,2450 + 0,5439i$ |
| w43 | $0,3382 + 0,5347i$ | $0,2748 + 0,4779i$ | $0,2887 + 0,5213i$ |
| w44 | $0,3379 + 0,5342i$ | $0,2711 + 0,4734i$ | $0,2056 + 0,3937i$ |
| w45 | $0,3389 + 0,5332i$ | $0,2725 + 0,4764i$ | $0,2187 + 0,3820i$ |
| w46 | $0,3402 + 0,5347i$ | $0,2696 + 0,4720i$ | $0,1998 + 0,3762i$ |
| w47 | $0,3384 + 0,5340i$ | $0,2711 + 0,4742i$ | $0,2122 + 0,3667i$ |
| w48 | $0,5350 + 0,3394i$ | $0,4771 + 0,2740i$ | $0,5607 + 0,2486i$ |
| w49 | $0,5363 + 0,3397i$ | $0,4786 + 0,2762i$ | $0,5381 + 0,2960i$ |
| w50 | $0,5342 + 0,3389i$ | $0,4764 + 0,2725i$ | $0,5439 + 0,2442i$ |
| w51 | $0,5384 + 0,3380i$ | $0,4771 + 0,2748i$ | $0,5220 + 0,2865i$ |
| w52 | $0,5329 + 0,3363i$ | $0,4734 + 0,2703i$ | $0,3908 + 0,2049i$ |
| w53 | $0,5330 + 0,3387i$ | $0,4757 + 0,2725i$ | $0,3813 + 0,2173i$ |
| w54 | $0,5311 + 0,3389i$ | $0,4734 + 0,2696i$ | $0,3740 + 0,1998i$ |
| w55 | $0,5332 + 0,3380i$ | $0,4742 + 0,2711i$ | $0,3653 + 0,2100i$ |
| w56 | $0,5313 + 0,3397i$ | $0,4771 + 0,2740i$ | $0,5643 + 0,2486i$ |
| w57 | $0,5324 + 0,3400i$ | $0,4779 + 0,2762i$ | $0,5410 + 0,2967i$ |
| w58 | $0,5339 + 0,3402i$ | $0,4764 + 0,2725i$ | $0,5475 + 0,2435i$ |
| w59 | $0,5360 + 0,3405i$ | $0,4771 + 0,2748i$ | $0,5257 + 0,2880i$ |
| w60 | $0,5285 + 0,3397i$ | $0,4742 + 0,2703i$ | $0,3937 + 0,2049i$ |
| w61 | $0,5317 + 0,3379i$ | $0,4749 + 0,2725i$ | $0,3850 + 0,2187i$ |

|     |                    |                    |                    |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| w62 | $0,5319 + 0,3381i$ | $0,4734 + 0,2696i$ | $0,3762 + 0,1998i$ |
| w63 | $0,5327 + 0,3395i$ | $0,4749 + 0,2711i$ | $0,3689 + 0,2114i$ |

Trong trường hợp này, giá trị của các điểm trong chòm điểm ở trong các góc phần tư còn lại có thể được xác định dựa vào tính đối xứng.

Bảng 10 thể hiện giá trị của các điểm trong chòm điểm 1D NU 1024-QAM (gọi tắt là chòm điểm 1D 1024NUC) thu được bằng cách áp dụng phương pháp chuẩn hoá và làm tròn cho giá trị của các điểm trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng 5.

Bảng 10

| u/hình dạng | NUC_1k_2/15 | NUC_1k_3/15 | NUC_1k_4/15 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| u0          | 0,3317      | 0,2382      | 0,1924      |
| u1          | 0,3321      | 0,2556      | 0,1940      |
| u2          | 0,3322      | 0,2749      | 0,2070      |
| u3          | 0,3321      | 0,2558      | 0,2050      |
| u4          | 0,3327      | 0,2748      | 0,3056      |
| u5          | 0,3328      | 0,2949      | 0,3096      |
| u6          | 0,3322      | 0,2749      | 0,2890      |
| u7          | 0,3322      | 0,2558      | 0,2854      |
| u8          | 0,9369      | 0,9486      | 0,7167      |
| u9          | 0,9418      | 0,8348      | 0,7362      |
| u10         | 0,9514      | 0,7810      | 0,7500      |
| u11         | 0,9471      | 0,8348      | 0,7326      |
| u12         | 0,9448      | 0,9463      | 0,9667      |
| u13         | 0,9492      | 0,8336      | 0,9665      |
| u14         | 0,9394      | 0,9459      | 1,1332      |
| u15         | 0,9349      | 1,4299      | 1,4761      |

Bảng 11 thể hiện giá trị của các điểm trong chòm điểm 1D NU 4096-QAM (gọi tắt là chòm điểm 1D 4096NUC) thu được bằng cách áp dụng phương pháp chuẩn hoá và làm tròn cho giá trị của các điểm trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng 6.

Bảng 11

| u/hình dạng | NUC_4k_2/15 | NUC_4k_3/15 | NUC_4k_4/15 | NUC_4k_5/15 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| u0          | 0,2826      | 0,2038      | 0,1508      | 0,1257      |
| u1          | 0,2885      | 0,2038      | 0,1468      | 0,1257      |
| u2          | 0,2944      | 0,2155      | 0,1456      | 0,1257      |
| u3          | 0,2885      | 0,2155      | 0,1479      | 0,1257      |
| u4          | 0,2944      | 0,2155      | 0,1491      | 0,1257      |
| u5          | 0,3003      | 0,2155      | 0,1444      | 0,1257      |
| u6          | 0,2944      | 0,2097      | 0,1491      | 0,1257      |
| u7          | 0,2885      | 0,2038      | 0,1508      | 0,1257      |
| u8          | 0,2944      | 0,2796      | 0,3368      | 0,3599      |
| u9          | 0,3003      | 0,2912      | 0,3368      | 0,3599      |
| u10         | 0,3003      | 0,3029      | 0,3334      | 0,3484      |
| u11         | 0,3003      | 0,2970      | 0,3363      | 0,3484      |
| u12         | 0,2944      | 0,2970      | 0,3386      | 0,3484      |
| u13         | 0,3003      | 0,3029      | 0,3357      | 0,3484      |
| u14         | 0,2944      | 0,2796      | 0,3340      | 0,3599      |
| u15         | 0,2885      | 0,2796      | 0,3374      | 0,3599      |
| u16         | 0,9714      | 0,7222      | 0,6448      | 0,6112      |
| u17         | 0,8596      | 0,7397      | 0,6569      | 0,6112      |
| u18         | 0,7889      | 0,7455      | 0,7101      | 0,6969      |
| u19         | 0,8478      | 0,7339      | 0,6979      | 0,7026      |
| u20         | 0,8242      | 0,7397      | 0,6974      | 0,6969      |
| u21         | 0,7771      | 0,7513      | 0,7124      | 0,6969      |
| u22         | 0,8360      | 0,7455      | 0,6575      | 0,6112      |
| u23         | 0,9184      | 0,7339      | 0,6465      | 0,6112      |
| u24         | 1,1657      | 1,3046      | 1,3549      | 1,4052      |
| u25         | 0,9479      | 1,0833      | 1,1931      | 1,2281      |
| u26         | 0,8419      | 0,9785      | 1,0117      | 1,0054      |
| u27         | 0,9302      | 1,0134      | 0,9857      | 0,9482      |
| u28         | 0,9950      | 0,9901      | 0,9689      | 0,9425      |
| u29         | 0,8713      | 0,9610      | 0,9967      | 0,9939      |
| u30         | 1,0185      | 1,0658      | 1,1683      | 1,1882      |
| u31         | 1,4660      | 1,6424      | 1,6391      | 1,6566      |

Cần lưu ý rằng phương pháp thu được tập hợp đầy đủ của các điểm trong chòm điểm như được xác định dựa vào bảng 10 và bảng 11 hoàn toàn giống với phương pháp như được xác định dựa vào bảng 5 và bảng 6.

Ngoài ra, người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng có thể nhận thấy rằng phép xoay, thay đổi tỷ lệ (trong đó, hệ số tỷ lệ được áp dụng cho trục thực và trục ảo có thể là giống nhau hoặc khác nhau) hoặc phép biến đổi khác có thể được áp dụng cho chòm điểm nêu trên. Chòm điểm thể hiện vị trí tương đối giữa các điểm trong chòm điểm, và có thể tìm ra chòm điểm khác bằng phép xoay, thay đổi tỷ lệ, hoặc phép biến đổi khác.

Hơn nữa, người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng có thể nhận thấy rằng sáng chế không bị giới hạn ở chòm điểm được xác định dựa vào các bảng từ bảng 2 đến bảng 11 nêu trên.

Ví dụ, theo một số phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế, có thể sử dụng chòm điểm có thứ tự sắp xếp khác và/hoặc chòm điểm có sơ đồ bố trí khác hoặc có vị trí tương đối khác giữa các điểm trong chòm điểm. Ví dụ khác, có thể sử dụng chòm điểm tương tự như một trong số các chòm điểm được xác định dựa vào các bảng từ bảng 2 đến bảng 11.

Ví dụ, chòm điểm mà giá trị của các điểm trong chòm điểm có mức độ chênh lệch không vượt quá ngưỡng định trước (hoặc sai số) so với các giá trị được thể hiện trong các bảng từ bảng 2 đến bảng 11 có thể được sử dụng. Trong đó, giá trị ngưỡng có thể được biểu diễn dưới dạng các giá trị tương đối (ví dụ, 0,1%, 1%, 5%, v.v.), các giá trị tuyệt đối (ví dụ, 0,001, 0,01, 0,1, v.v.) hoặc phương pháp gần đúng (làm tròn, làm tròn xuống đến giá trị số nguyên gần nhất, làm tròn lên đến giá trị số nguyên gần nhất, hoặc các phương pháp tương tự khác). Lấy ví dụ về phương pháp làm tròn, điểm trong chòm điểm “0,707316 + 0,707473i” có thể lấy giá trị gần đúng bằng “0,7073 + 0,7075i” sau khi làm tròn ở hàng chữ số thập phân thứ năm.

Ngoài ra, thiết bị truyền tín hiệu và thiết bị thu tín hiệu có thể sử dụng các chòm điểm khác nhau. Ví dụ, thiết bị truyền tín hiệu và thiết bị thu tín hiệu có thể sử dụng các chòm điểm tương ứng có ít nhất một điểm trong chòm điểm có mức độ chênh lệch không vượt quá giá trị ngưỡng định trước. Ví dụ, thiết bị thu tín hiệu có thể sử dụng chòm điểm có ít nhất một điểm làm tròn/làm tròn xuống (ví dụ, A2) để khử ánh xạ các điểm trong

chòm điểm, trong khi thiết bị truyền tín hiệu có thể sử dụng chòm điểm có các điểm không làm tròn/làm tròn xuống (ví dụ, A1).

Ngoài ra, ngay cả khi thứ tự sắp xếp của các giá trị trong các bảng từ bảng 2 đến bảng 11 có thay đổi, thì bản thân tập hợp của các điểm trong chòm điểm vẫn không thay đổi, và vì vậy, có thể sắp xếp các giá trị bằng cách thay đổi thứ tự của các giá trị như được thể hiện trong các bảng từ bảng 2 đến bảng 11.

Một ví dụ về phương pháp chuẩn hoá và một phương án làm ví dụ về phương pháp tạo ra chòm điểm 2D từ tập hợp mức 1D sẽ được mô tả dưới đây.

Ví dụ, giả sử rằng giá trị của các điểm trong chòm điểm 1D NU 1K QAM với tỷ lệ mã hoá bằng 13/15 được thể hiện trong bảng 12 dưới đây.

Bảng 12

| Mức | Tỷ lệ mã hoá |
|-----|--------------|
|     | 13/15        |
| 1   | 1            |
| 2   | 2,975413     |
| 3   | 4,997551     |
| 4   | 7,018692     |
| 5   | 9,102872     |
| 6   | 11,22209     |
| 7   | 13,42392     |
| 8   | 15,69921     |
| 9   | 18,09371     |
| 10  | 20,61366     |
| 11  | 23,2898      |
| 12  | 26,15568     |
| 13  | 29,23992     |
| 14  | 32,59361     |
| 15  | 36,30895     |
| 16  | 40,58404     |

Trong đó, khi vector mức A được biểu diễn dưới dạng  $A = (a_i)$ , ( $i = 0, 1, 2, \dots, L-1$ ),

thì trước hết, vector A được chuẩn hoá bằng cách sử dụng biểu thức 3 dưới đây, và có thể thu được vector chuẩn hoá  $\bar{A}$ .

$$\bar{A} = \frac{A}{\sqrt{\frac{2}{L} \sum_i a_i^2}} \quad (3)$$

Trong biểu thức 3 nêu trên, L là số lượng mức (tức là hạng của vector A). Ví dụ, đối với các chòm điểm 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM và 4096-QAM, hạng của vector mức có thể lần lượt bằng 4, 6, 8, 10 và 12.

Trong ví dụ trên, vector chuẩn hoá  $\bar{A}$  có thể được thể hiện trong bảng 13 dưới đây.

Bảng 13

| Mức | Tỷ lệ mã hoá |
|-----|--------------|
|     | 13/15        |
| 1   | 0,0325       |
| 2   | 0,0967       |
| 3   | 0,1623       |
| 4   | 0,228        |
| 5   | 0,2957       |
| 6   | 0,3645       |
| 7   | 0,4361       |
| 8   | 0,51         |
| 9   | 0,5878       |
| 10  | 0,6696       |
| 11  | 0,7566       |
| 12  | 0,8497       |
| 13  | 0,9498       |
| 14  | 1,0588       |
| 15  | 1,1795       |
| 16  | 1,3184       |

Nếu phương pháp chuẩn hoá nêu trên lần lượt được áp dụng cho bảng 5 và bảng 6, thì có thể dễ dàng nhận thấy là sẽ lần lượt thu được bảng 10 và bảng 11.



Sau đó, chòm điểm cuối cùng được tạo ra với tất cả các tổ hợp có thể có của phần thực và phần ảo, giống như một trong số các mục (tức là các thành phần). Trong trường hợp này, phương pháp ánh xạ Gray có thể được áp dụng để làm ví dụ.

Trong ví dụ nêu trên, các điểm trong chòm điểm ở trong góc phần tư thứ nhất cuối cùng có thể được thể hiện trong bảng 14 dưới đây.

Bảng 14

| Nhãn<br>(nguyên) | Điểm trong<br>chòm điểm | Nhãn<br>(nguyên) | Điểm trong<br>chòm điểm | Nhãn<br>(nguyên) | Điểm trong<br>chòm điểm | Nhãn<br>(nguyên) | Điểm trong<br>chòm điểm |
|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|
| 1                | 1,3184+1,3184i          | 65               | 1,3184+0,0967i          | 129              | 0,0325+1,1795i          | 193              | 0,0325+0,0967i          |
| 2                | 1,3184+1,1795i          | 66               | 1,1795+0,0325i          | 130              | 0,0967+1,3184i          | 194              | 0,0967+0,0325i          |
| 3                | 1,1795+1,3184i          | 67               | 1,1795+0,0967i          | 131              | 0,0967+1,1795i          | 195              | 0,0967+0,0967i          |
| 4                | 1,1795+1,1795i          | 68               | 1,3184+0,2280i          | 132              | 0,0325+0,9498i          | 196              | 0,0325+0,2280i          |
| 5                | 1,3184+0,9498i          | 69               | 1,3184+0,1623i          | 133              | 0,0325+1,0588i          | 197              | 0,0325+0,1623i          |
| 6                | 1,3184+1,0588i          | 70               | 1,1795+0,2280i          | 134              | 0,0967+0,9498i          | 198              | 0,0967+0,2280i          |
| 7                | 1,1795+0,9498i          | 71               | 1,1795+0,1623i          | 135              | 0,0967+1,0588i          | 199              | 0,0967+0,1623i          |
| 8                | 1,1795+1,0588i          | 72               | 0,9498+0,0325i          | 136              | 0,2280+1,3184i          | 200              | 0,2280+0,0325i          |
| 9                | 0,9498+1,3184i          | 73               | 0,9498+0,0967i          | 137              | 0,2280+1,1795i          | 201              | 0,2280+0,0967i          |
| 10               | 0,9498+1,1795i          | 74               | 1,0588+0,0325i          | 138              | 0,1623+1,3184i          | 202              | 0,1623+0,0325i          |
| 11               | 1,0588+1,3184i          | 75               | 1,0588+0,0967i          | 139              | 0,1623+1,1795i          | 203              | 0,1623+0,0967i          |
| 12               | 1,0588+1,1795i          | 76               | 0,9498+0,2280i          | 140              | 0,2280+0,9498i          | 204              | 0,2280+0,2280i          |
| 13               | 0,9498+0,9498i          | 77               | 0,9498+0,1623i          | 141              | 0,2280+1,0588i          | 205              | 0,2280+0,1623i          |
| 14               | 0,9498+1,0588i          | 78               | 1,0588+0,2280i          | 142              | 0,1623+0,9498i          | 206              | 0,1623+0,2280i          |
| 15               | 1,0588+0,9498i          | 79               | 1,0588+0,1623i          | 143              | 0,1623+1,0588i          | 207              | 0,1623+0,1623i          |
| 16               | 1,0588+1,0588i          | 80               | 1,3184+0,5100i          | 144              | 0,0325+0,5878i          | 208              | 0,0325+0,5100i          |
| 17               | 1,3184+0,5878i          | 81               | 1,3184+0,4361i          | 145              | 0,0325+0,6696i          | 209              | 0,0325+0,4361i          |
| 18               | 1,3184+0,6696i          | 82               | 1,1795+0,5100i          | 146              | 0,0967+0,5878i          | 210              | 0,0967+0,5100i          |
| 19               | 1,1795+0,5878i          | 83               | 1,1795+0,4361i          | 147              | 0,0967+0,6696i          | 211              | 0,0967+0,4361i          |
| 20               | 1,1795+0,6696i          | 84               | 1,3184+0,2957i          | 148              | 0,0325+0,8497i          | 212              | 0,0325+0,2957i          |
| 21               | 1,3184+0,8497i          | 85               | 1,3184+0,3645i          | 149              | 0,0325+0,7566i          | 213              | 0,0325+0,3645i          |
| 22               | 1,3184+0,7566i          | 86               | 1,1795+0,2957i          | 150              | 0,0967+0,8497i          | 214              | 0,0967+0,2957i          |
| 23               | 1,1795+0,8497i          | 87               | 1,1795+0,3645i          | 151              | 0,0967+0,7566i          | 215              | 0,0967+0,3645i          |
| 24               | 1,1795+0,7566i          | 88               | 0,9498+0,5100i          | 152              | 0,2280+0,5878i          | 216              | 0,2280+0,5100i          |

|    |                |     |                |     |                |     |                |
|----|----------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|----------------|
| 25 | 0,9498+0,5878i | 89  | 0,9498+0,4361i | 153 | 0,2280+0,6696i | 217 | 0,2280+0,4361i |
| 26 | 0,9498+0,6696i | 90  | 1,0588+0,5100i | 154 | 0,1623+0,5878i | 218 | 0,1623+0,5100i |
| 27 | 1,0588+0,5878i | 91  | 1,0588+0,4361i | 155 | 0,1623+0,6696i | 219 | 0,1623+0,4361i |
| 28 | 1,0588+0,6696i | 92  | 0,9498+0,2957i | 156 | 0,2280+0,8497i | 220 | 0,2280+0,2957i |
| 29 | 0,9498+0,8497i | 93  | 0,9498+0,3645i | 157 | 0,2280+0,7566i | 221 | 0,2280+0,3645i |
| 30 | 0,9498+0,7566i | 94  | 1,0588+0,2957i | 158 | 0,1623+0,8497i | 222 | 0,1623+0,2957i |
| 31 | 1,0588+0,8497i | 95  | 1,0588+0,3645i | 159 | 0,1623+0,7566i | 223 | 0,1623+0,3645i |
| 32 | 1,0588+0,7566i | 96  | 0,5878+0,0325i | 160 | 0,5100+1,3184i | 224 | 0,5100+0,0325i |
| 33 | 0,5878+1,1795i | 97  | 0,5878+0,0967i | 161 | 0,5100+1,1795i | 225 | 0,5100+0,0967i |
| 34 | 0,6696+1,3184i | 98  | 0,6696+0,0325i | 162 | 0,4361+1,3184i | 226 | 0,4361+0,0325i |
| 35 | 0,6696+1,1795i | 99  | 0,6696+0,0967i | 163 | 0,4361+1,1795i | 227 | 0,4361+0,0967i |
| 36 | 0,5878+0,9498i | 100 | 0,5878+0,2280i | 164 | 0,5100+0,9498i | 228 | 0,5100+0,2280i |
| 37 | 0,5878+1,0588i | 101 | 0,5878+0,1623i | 165 | 0,5100+1,0588i | 229 | 0,5100+0,1623i |
| 38 | 0,6696+0,9498i | 102 | 0,6696+0,2280i | 166 | 0,4361+0,9498i | 230 | 0,4361+0,2280i |
| 39 | 0,6696+1,0588i | 103 | 0,6696+0,1623i | 167 | 0,4361+1,0588i | 231 | 0,4361+0,1623i |
| 40 | 0,8497+1,3184i | 104 | 0,8497+0,0325i | 168 | 0,2957+1,3184i | 232 | 0,2957+0,0325i |
| 41 | 0,8497+1,1795i | 105 | 0,8497+0,0967i | 169 | 0,2957+1,1795i | 233 | 0,2957+0,0967i |
| 42 | 0,7566+1,3184i | 106 | 0,7566+0,0325i | 170 | 0,3645+1,3184i | 234 | 0,3645+0,0325i |
| 43 | 0,7566+1,1795i | 107 | 0,7566+0,0967i | 171 | 0,3645+1,1795i | 235 | 0,3645+0,0967i |
| 44 | 0,8497+0,9498i | 108 | 0,8497+0,2280i | 172 | 0,2957+0,9498i | 236 | 0,2957+0,2280i |
| 45 | 0,8497+1,0588i | 109 | 0,8497+0,1623i | 173 | 0,2957+1,0588i | 237 | 0,2957+0,1623i |
| 46 | 0,7566+0,9498i | 110 | 0,7566+0,2280i | 174 | 0,3645+0,9498i | 238 | 0,3645+0,2280i |
| 47 | 0,7566+1,0588i | 111 | 0,7566+0,1623i | 175 | 0,3645+1,0588i | 239 | 0,3645+0,1623i |
| 48 | 0,5878+0,5878i | 112 | 0,5878+0,5100i | 176 | 0,5100+0,5878i | 240 | 0,5100+0,5100i |
| 49 | 0,5878+0,6696i | 113 | 0,5878+0,4361i | 177 | 0,5100+0,6696i | 241 | 0,5100+0,4361i |
| 50 | 0,6696+0,5878i | 114 | 0,6696+0,5100i | 178 | 0,4361+0,5878i | 242 | 0,4361+0,5100i |
| 51 | 0,6696+0,6696i | 115 | 0,6696+0,4361i | 179 | 0,4361+0,6696i | 243 | 0,4361+0,4361i |
| 52 | 0,5878+0,8497i | 116 | 0,5878+0,2957i | 180 | 0,5100+0,8497i | 244 | 0,5100+0,2957i |
| 53 | 0,5878+0,7566i | 117 | 0,5878+0,3645i | 181 | 0,5100+0,7566i | 245 | 0,5100+0,3645i |
| 54 | 0,6696+0,8497i | 118 | 0,6696+0,2957i | 182 | 0,4361+0,8497i | 246 | 0,4361+0,2957i |
| 55 | 0,6696+0,7566i | 119 | 0,6696+0,3645i | 183 | 0,4361+0,7566i | 247 | 0,4361+0,3645i |
| 56 | 0,8497+0,5878i | 120 | 0,8497+0,5100i | 184 | 0,2957+0,5878i | 248 | 0,2957+0,5100i |

|    |                  |     |                  |     |                  |     |                  |
|----|------------------|-----|------------------|-----|------------------|-----|------------------|
| 57 | $0,8497+0,6696i$ | 121 | $0,8497+0,4361i$ | 185 | $0,2957+0,6696i$ | 249 | $0,2957+0,4361i$ |
| 58 | $0,7566+0,5878i$ | 122 | $0,7566+0,5100i$ | 186 | $0,3645+0,5878i$ | 250 | $0,3645+0,5100i$ |
| 59 | $0,7566+0,6696i$ | 123 | $0,7566+0,4361i$ | 187 | $0,3645+0,6696i$ | 251 | $0,3645+0,4361i$ |
| 60 | $0,8497+0,8497i$ | 124 | $0,8497+0,2957i$ | 188 | $0,2957+0,8497i$ | 252 | $0,2957+0,2957i$ |
| 61 | $0,8497+0,7566i$ | 125 | $0,8497+0,3645i$ | 189 | $0,2957+0,7566i$ | 253 | $0,2957+0,3645i$ |
| 62 | $0,7566+0,8497i$ | 126 | $0,7566+0,2957i$ | 190 | $0,3645+0,8497i$ | 254 | $0,3645+0,2957i$ |
| 63 | $0,7566+0,7566i$ | 127 | $0,7566+0,3645i$ | 191 | $0,3645+0,7566i$ | 255 | $0,3645+0,3645i$ |
| 64 | $1,3184+0,0325i$ | 128 | $0,0325+1,3184i$ | 192 | $0,0325+0,0325i$ | 256 | $1,3184-1,3184i$ |

Fig.35 là sơ đồ khối thể hiện cấu hình của thiết bị truyền tín hiệu theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Dựa vào Fig.35, thiết bị truyền tín hiệu 3500 bao gồm bộ mã hoá 3510, bộ đan xen 3520 và bộ điều biến 3530 (hoặc ‘bộ ánh xạ chòm điểm’).

Bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá kênh trên các bit đầu vào và tạo ra từ mã.

Ví dụ, bộ mã hoá 3510 có thể thực hiện bước mã hoá LDPC trên các bit và tạo ra từ mã LDPC bằng cách sử dụng bộ mã hoá LDPC (không được thể hiện trên hình vẽ).

Cụ thể, bộ mã hoá 3510 có thể thực hiện bước mã hoá LDPC trên các bit đầu vào dưới dạng là các bit từ thông tin, và tạo ra từ mã LDPC bao gồm các bit từ thông tin và các bit chẵn lẻ (tức là các bit chẵn lẻ LDPC). Trong trường hợp này, mã LDPC là mã hệ thống, từ thông tin có thể được đưa nguyên vẹn vào trong từ mã LDPC.

Trong đó, từ mã LDPC được tạo bởi các bit từ thông tin và các bit chẵn lẻ. Ví dụ, từ mã LDPC có  $N_{ldpc}$  bit, và có thể bao gồm các bit từ thông tin có  $K_{ldpc}$  bit và các bit chẵn lẻ có  $N_{parity} = N_{ldpc} - K_{ldpc}$  bit.

Trong trường hợp này, bộ mã hoá 3510 có thể thực hiện bước mã hoá LDPC dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ và tạo ra từ mã LDPC. Nghĩa là, quy trình thực hiện bước mã hoá LDPC là quy trình tạo ra từ mã LDPC thoả mãn hệ thức  $H \cdot C^T = 0$ , và vì vậy, bộ mã hoá 3510 có thể sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ khi thực hiện bước mã hoá LDPC. Trong đó,  $H$  là ma trận kiểm tra chẵn lẻ và  $C$  là từ mã LDPC.

Để làm được điều này, thiết bị truyền tín hiệu 3500 có thể có bộ nhớ riêng và lưu trữ trước vào trong đó nhiều loại ma trận kiểm tra chẵn lẻ khác nhau.

Tuy nhiên, đây chỉ là một ví dụ, và bước mã hoá kênh có thể được thực hiện theo

nhiều sơ đồ khác nhau.

Bộ mã hoá 3510 có thể thực hiện bước mã hoá kênh bằng cách sử dụng nhiều tỷ lệ mã hoá khác nhau như 2/15, 3/15, 4/15, 5/15, 6/15, 7/15, 8/15, 9/15, 10/15, 11/15, 12/15 và 13/15. Ngoài ra, bộ mã hoá 3510 có thể tạo ra từ mã có nhiều độ dài khác nhau như 16200 và 64800 dựa trên độ dài tính bằng bit của từ mã và tỷ lệ mã hoá.

Bộ đan xen 3520 đan xen từ mã. Nghĩa là, bộ đan xen 3520, dựa trên các quy tắc đan xen khác nhau, có thể thực hiện bước đan xen bit trên từ mã được tạo ra bằng bộ mã hoá 3510.

Bộ điều biến 3530 ánh xạ từ mã đã được đan xen theo một sơ đồ điều biến lên một chòm điểm không đồng đều.

Cụ thể, bộ điều biến 3530 có thể thực hiện bước biến đổi nối tiếp-song song trên từ mã đã được đan xen, và phân kênh từ mã đã được đan xen tạo thành ô (hoặc từ ô) có một số lượng bit nhất định.

Ví dụ, bộ điều biến 3530 có thể thu các bit từ mã  $Q = (q_0, q_1, q_2, \dots)$  xuất ra từ bộ đan xen 3520, và tạo ra các ô.

Trong trường hợp này, số lượng bit tạo nên mỗi ô có thể đúng bằng số lượng bit tạo nên một ký hiệu điều biến (tức là, bậc điều biến). Ví dụ, khi bộ điều biến 3530 thực hiện bước điều biến bằng cách sử dụng các sơ đồ điều biến QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM, 4096-QAM, thì số lượng bit  $\eta_{\text{MOD}}$  tạo nên một ký hiệu điều biến có thể lần lượt bằng 2, 4, 6, 8, 10 và 12.

Ví dụ, khi sơ đồ điều biến là 64-QAM, thì  $\eta_{\text{MOD}}$  bằng 6 ( $\eta_{\text{MOD}} = 6$ ), và vì vậy, mỗi ô có thể được biểu diễn dưới dạng  $(q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5)$ ,  $(q_6, q_7, q_8, q_9, q_{10}, q_{11})$ ,  $(q_{12}, q_{13}, q_{14}, q_{15}, q_{16}, q_{17})$ , ...

Ngoài ra, bộ điều biến 3530 có thể thực hiện bước điều biến bằng cách ánh xạ các ô lên một chòm điểm không đồng đều.

Cụ thể, mỗi ô có số lượng bit đúng bằng số lượng bit tạo nên ký hiệu điều biến, và vì vậy, bộ điều biến 3530 có thể tạo ra ký hiệu điều biến bằng cách tuần tự ánh xạ mỗi ô lên một điểm trong chòm điểm không đồng đều. Trong đó, một ký hiệu điều biến tương

ứng với một điểm trong chòm điểm.

Trong trường hợp này, chòm điểm có thể chứa các điểm được xác định dựa vào các bảng từ bảng 2 đến bảng 11 theo một sơ đồ điều biến.

Cụ thể, chòm điểm có thể chứa các điểm được xác định dựa vào vector vị trí chòm điểm như được thể hiện trong các bảng từ bảng 2 đến bảng 4 và từ bảng 7 đến bảng 9, theo một sơ đồ điều biến. Hoặc, chòm điểm có thể chứa các điểm được xác định dựa vào vector vị trí chòm điểm được tạo ra dựa vào tập hợp mức như được thể hiện trong bảng 5, bảng 6, bảng 10 và bảng 11 theo một sơ đồ điều biến.

Nghĩa là, nếu xét đến tỷ lệ mã hoá được dùng để mã hoá bằng bộ mã hoá 3510, thì bộ điều biến 3530 có thể thực hiện bước điều biến bằng cách ánh xạ các ô lên một tập hợp gồm các điểm trong chòm điểm tương ứng với tỷ lệ mã hoá đó, tập hợp gồm các điểm trong chòm điểm này được chọn trong số các tập hợp gồm các điểm trong chòm điểm được xác định dựa vào các bảng từ bảng 2 đến bảng 11 theo các tỷ lệ mã hoá.

Ví dụ, khi sơ đồ điều biến là 64-QAM, thì chòm điểm có thể chứa các điểm được xác định dựa vào bảng 8.

Cụ thể, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15, thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_64\_2/15 trong bảng 8.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15 và bước điều biến được thực hiện trên chòm điểm 2D 64NUC, thì các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất của chòm điểm có thể được biểu diễn dưới dạng vector vị trí chòm điểm  $\{w_0, w_1, w_2, \dots, w_{14}, w_{15}\} = \{0,6474 + 0,9831i, 0,6438 + 0,9829i, 0,6471 + 0,9767i, \dots, 0,6385 + 0,4656i, 0,6353 + 0,4653i\}$  như được xác định theo cột NUC\_64\_2/15 trong bảng 8.

Ngoài ra, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 3/15, thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_64\_3/15 trong bảng 8.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 3/15 và bước điều biến được thực hiện trên chòm điểm 2D 64NUC, thì các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất

của chòm điểm có thể được biểu diễn dưới dạng vector vị trí chòm điểm  $\{w_0, w_1, w_2, \dots, w_{14}, w_{15}\} = \{0,5472 + 1,1591i, 0,5473 + 1,1573i, 0,5467 + 1,1599i, \dots, 0,5087 + 0,3163i, 0,5087 + 0,3163i\}$  như được xác định theo cột NUC\_64\_3/15 trong bảng 8.

Ngoài ra, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 4/15, thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_64\_4/15 trong bảng 8.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 4/15 và bước điều biến được thực hiện trên chòm điểm 2D 64NUC, thì các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất của chòm điểm có thể được biểu diễn dưới dạng vector vị trí chòm điểm  $\{w_0, w_1, w_2, \dots, w_{14}, w_{15}\} = \{0,5008 + 1,2136i, 0,4994 + 1,2194i, 0,5313 + 1,1715i, \dots, 0,4791 + 0,2773i, 0,4791 + 0,2758i\}$  như được xác định theo cột NUC\_64\_4/15 trong bảng 8.

Bảng 8 thể hiện các điểm trong chòm điểm ở trong một góc phần tư của chòm điểm, và các điểm trong chòm điểm ở trong các góc phần tư còn lại của chòm điểm có thể thu được bằng cách lần lượt biểu diễn mỗi điểm  $a$  trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng 8 dưới dạng  $a^*$ ,  $-a^*$  và  $-a$  (trong đó  $*$  là liên hợp phức).

Ví dụ khác, khi sơ đồ điều biến là 256-QAM, thì chòm điểm có thể chứa các điểm được xác định dựa vào bảng 9.

Cụ thể, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15, thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_256\_2/15 trong bảng 9.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15 và bước điều biến được thực hiện trên chòm điểm 2D 256NUC, thì các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất của chòm điểm có thể được biểu diễn dưới dạng vector vị trí chòm điểm  $\{w_0, w_1, w_2, \dots, w_{62}, w_{63}\} = \{0,5553 + 1,1262i, 0,5673 + 0,1336i, 0,5593 + 1,1204i, \dots, 0,5319 + 0,3381i, 0,5327 + 0,3395i\}$  như được xác định theo cột NUC\_256\_2/15 trong bảng 9.

Ngoài ra, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 3/15,

thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_256\_3/15 trong bảng 9.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 3/15 và bước điều biến được thực hiện trên chòm điểm 2D 256NUC, thì các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất của chòm điểm có thể được biểu diễn dưới dạng vector vị trí chòm điểm  $\{w_0, w_1, w_2, \dots, w_{62}, w_{63}\} = \{0,5229 + 1,1810i, 0,5384 + 1,1625i, 0,5148 + 1,1943i, \dots, 0,4734 + 0,2696i, 0,4749 + 0,2711i\}$  như được xác định theo cột NUC\_256\_3/15 trong bảng 9.

Ngoài ra, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 4/15, thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_256\_4/15 trong bảng 9.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 4/15 và bước điều biến được thực hiện trên chòm điểm 2D 256NUC, thì các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất của chòm điểm có thể được biểu diễn dưới dạng vector vị trí chòm điểm  $\{w_0, w_1, w_2, \dots, w_{62}, w_{63}\} = \{0,2975 + 1,0564i, 0,5862 + 0,9617i, 0,2909 + 1,0696i, \dots, 0,3762 + 0,1998i, 0,3689 + 0,2114i\}$  như được xác định theo cột NUC\_256\_4/15 trong bảng 9.

Bảng 9 thể hiện các điểm trong chòm điểm ở trong một góc phần tư của chòm điểm, và các điểm trong chòm điểm ở trong các góc phần tư còn lại của chòm điểm có thể thu được bằng cách lần lượt biểu diễn mỗi điểm  $a$  trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng 9 dưới dạng  $a^*$ ,  $-a^*$  và  $-a$  (trong đó  $*$  là liên hợp phức).

Ví dụ khác, khi sơ đồ điều biến là 1024-QAM, thì chòm điểm có thể chứa các điểm được xác định dựa vào bảng 10.

Cụ thể, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15, thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_1k\_2/15 trong bảng 10.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15 và bước điều biến được thực hiện trên chòm điểm 1D 1024NUC, thì tập hợp mức có thể là  $A = \{0,3317, 0,3321, 0,3322, \dots, 0,9394, 0,9349\}$  như được xác định theo cột NUC\_1k\_2/15 trong bảng 10, và

vector vị trí chòm điểm biểu diễn các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất có thể được biểu diễn dưới dạng  $\{0,3317 + 0,3317i, 0,3317 + 0,3321i, 0,3321 + 0,3317i, \dots, 0,9349 + 0,9349i\}$ .

Ngoài ra, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 3/15, thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_1k\_3/15 trong bảng 10.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 3/15 và bước điều biến được thực hiện trên chòm điểm 1D 1024NUC, thì tập hợp mức có thể là  $A = \{0,2382, 0,2556, 0,2749, \dots, 0,9459, 1,4299\}$  như được xác định theo cột NUC\_1k\_3/15 trong bảng 10, và vector vị trí chòm điểm biểu diễn các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất có thể được biểu diễn dưới dạng  $\{0,2382 + 0,2382i, 0,2382 + 0,2556i, 0,2556 + 0,2382i, \dots, 1,4299 + 1,4299i\}$ .

Ngoài ra, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 4/15, thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_1k\_4/15 trong bảng 10.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 4/15 và bước điều biến được thực hiện trên chòm điểm 1D 1024NUC, thì tập hợp mức có thể là  $A = \{0,1924, 0,1940, 0,2070, \dots, 1,1332, 1,4761\}$  như được xác định theo cột NUC\_1k\_4/15 trong bảng 10, và vector vị trí chòm điểm biểu diễn các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất có thể được biểu diễn dưới dạng  $\{0,1924 + 0,1924i, 0,1924 + 0,1940i, 0,1940 + 0,1924i, \dots, 1,4761 + 1,4761i\}$ .

Bảng 10 được dùng để xác định các điểm trong chòm điểm ở trong một góc phần tư của chòm điểm, và các điểm trong chòm điểm ở trong các góc phần tư còn lại của chòm điểm có thể thu được bằng cách lần lượt biểu diễn mỗi điểm  $a$  trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng 10 dưới dạng  $a^*$ ,  $-a^*$  và  $-a$  (trong đó  $*$  là liên hợp phức).

Ví dụ khác, khi sơ đồ điều biến là 4096-QAM, thì chòm điểm có thể chứa các điểm được xác định dựa vào bảng 11.

Cụ thể, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15, thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều



chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_4k\_2/15 trong bảng 11.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15 và bước điều biến được thực hiện trên chòm điểm 1D 4096NUC, thì tập hợp mức có thể là  $A = \{0,2826, 0,2885, 0,2944, \dots, 1,0185, 1,4660\}$  như được xác định theo cột NUC\_4k\_2/15 trong bảng 11, và vector vị trí chòm điểm biểu diễn các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất có thể được biểu diễn dưới dạng  $\{0,2826 + 0,2826i, 0,2826 + 0,2885i, 0,2885 + 0,2826i, \dots, 1,4660 + 1,4660i\}$ .

Ngoài ra, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 3/15, thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_4k\_3/15 trong bảng 11.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 3/15 và bước điều biến được thực hiện trên chòm điểm 1D 4096NUC, thì tập hợp mức có thể là  $A = \{0,2038, 0,2038, 0,2155, \dots, 1,0658, 1,6424\}$  như được xác định theo cột NUC\_4k\_3/15 trong bảng 11, và vector vị trí chòm điểm biểu diễn các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất có thể được biểu diễn dưới dạng  $\{0,2038 + 0,2038i, 0,2038 + 0,2155i, 0,2155 + 0,2038i, \dots, 1,6424 + 1,6424i\}$ .

Ngoài ra, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 4/15, thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_4k\_4/15 trong bảng 11.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 4/15 và bước điều biến được thực hiện trên chòm điểm 1D 4096NUC, thì tập hợp mức có thể là  $A = \{0,1508, 0,1468, 0,1456, \dots, 1,1683, 1,6391\}$  như được xác định theo cột NUC\_4k\_4/15 trong bảng 11, và vector vị trí chòm điểm biểu diễn các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất có thể được biểu diễn dưới dạng  $\{0,1508 + 0,1508i, 0,1508 + 0,1468i, 0,1468 + 0,1508i, \dots, 1,6391 + 1,6391i\}$ .

Ngoài ra, khi bộ mã hoá 3510 thực hiện bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 5/15, thì bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ từ mã đã được đan xen lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_4k\_5/15 trong bảng 11.

Nghĩa là, khi bước mã hoá với tỷ lệ mã hoá bằng 5/15 và bước điều biến được thực

hiện trên chòm điểm 1D 4096NUC, thì tập hợp mức có thể là  $A = \{0,1257, 0,1257, 0,1257, \dots, 1,1882, 1,6566\}$  như được xác định theo cột NUC\_4k\_5/15 trong bảng 11, và vector vị trí chòm điểm biểu diễn các điểm trong chòm điểm ở góc phần tư thứ nhất có thể được biểu diễn dưới dạng  $\{0,1257 + 0,1257i, 0,1257 + 0,3599i, 0,3599 + 0,1257i, \dots, 1,6566 + 1,6566i\}$ .

Bảng 11 được dùng để xác định các điểm trong chòm điểm ở trong một góc phần tư của chòm điểm, và các điểm trong chòm điểm ở trong các góc phần tư còn lại của chòm điểm có thể thu được bằng cách lần lượt biểu diễn mỗi điểm  $a$  trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng 11 dưới dạng  $a^*$ ,  $-a^*$  và  $-a$  (trong đó  $*$  là liên hợp phức).

Các ví dụ nêu trên đã mô tả các ô được ánh xạ lên một tập hợp điểm trong chòm điểm tương ứng với tỷ lệ mã hoá được dùng để mã hoá, tuy nhiên, đây chỉ là ví dụ minh hoạ, và trong một số trường hợp, bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ các ô lên tập hợp điểm trong chòm điểm không tương ứng với tỷ lệ mã hoá được dùng để mã hoá.

Ví dụ, khi sơ đồ điều biến 64-QAM được sử dụng, mặc dù bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15, nhưng bộ điều biến 3530 có thể ánh xạ các ô lên tập hợp điểm trong chòm điểm được xác định theo cột NUC\_64\_3/15 hoặc cột NUC\_64\_4/15 trong bảng 8, thay vì ánh xạ các ô lên tập hợp điểm trong chòm điểm được xác định theo cột NUC\_64\_2/15 trong bảng 8.

Thiết bị truyền tín hiệu 3500 có thể điều biến tín hiệu được ánh xạ lên chòm điểm và truyền tín hiệu đến thiết bị thu tín hiệu (ví dụ thiết bị thu tín hiệu 3600 trên Fig.36). Ví dụ thiết bị truyền tín hiệu 3500 có thể đặt tín hiệu đã được ánh xạ lên chòm điểm vào khung dồn kênh phân tần trực giao (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) bằng cách sử dụng một sơ đồ OFDM, và có thể truyền tín hiệu đến thiết bị thu tín hiệu 3600 trên kênh đã được phân định.

Nói cách khác, trong phương pháp ánh xạ với các sơ đồ điều biến 16-QAM, 64-QAM và 256-QAM, mỗi từ ô dữ liệu đầu vào  $(y_{0,s}, \dots, y_{\eta_{\text{MOD}}-1,s})$  sẽ được điều biến bằng cách sử dụng một chòm điểm không đồng đều 2D để tạo ra điểm  $z_s$  trong chòm điểm. Chỉ số  $s$  là chỉ số thời gian riêng biệt,  $\eta_{\text{MOD}} = \log_2(M)$ ,  $M$  là số lượng điểm trong chòm điểm, ví dụ  $M = 64$  đối với chòm điểm điều biến 64-QAM. Vector của các điểm

trong chòm điểm phức  $x = (x_0, \dots, x_{M-1})$  bao gồm tất cả  $M$  điểm trong chòm điểm điều biến QAM. Phần tử thứ  $k$  của vector này,  $x_k$ , tương ứng với điểm trong chòm điểm điều biến QAM với từ ô dữ liệu đầu vào  $(y_{0,s}, \dots, y_{\eta\text{MOD}-1,s})$ , nếu các bit này biểu diễn số thập phân  $k$  ( $y_{0,s}$  là bit có giá trị lớn nhất (Most Significant Bit, MSB), và  $y_{\eta\text{MOD}-1,s}$  là bit có giá trị nhỏ nhất (Least Significant Bit, LSB)). Do tính đối xứng giữa các góc phần tư, cho nên vector hoàn chỉnh  $x$  có thể được tìm ra bằng cách chỉ cần xác định góc phần tư thứ nhất của các điểm trong chòm điểm phức, tức là  $(x_0, \dots, x_{M/4-1})$ , tương ứng với góc phần tư thứ nhất. Quy tắc để tìm ra các điểm còn lại được mô tả dưới đây. Giả sử  $b = M/4$ , góc phần tư thứ nhất của các điểm trong chòm điểm phức được ký hiệu là vector vị trí chòm điểm NUC  $w = (w_0, \dots, w_{b-1})$ . Các vector vị trí được xác định dựa vào các bảng nêu trên. Ví dụ, vector vị trí chòm điểm NUC với sơ đồ điều biến 16-QAM bao gồm các điểm trong chòm điểm phức có nhãn tương ứng với các giá trị thập phân từ 0, tức là  $(y_{0,s}, \dots, y_{\eta\text{MOD}-1,s}) = 0000$ , đến  $b-1$ , tức là  $(y_{0,s}, \dots, y_{\eta\text{MOD}-1,s}) = 0011$ . Các điểm còn lại trong chòm điểm được tìm ra theo cách như sau:

$$\begin{aligned} (x_0, \dots, x_{b-1}) &= w && \text{(góc phần tư thứ nhất)} \\ (x_b, \dots, x_{2b-1}) &= -\text{conj}(w) && \text{(góc phần tư thứ hai)} \\ (x_{2b}, \dots, x_{3b-1}) &= \text{conj}(w) && \text{(góc phần tư thứ ba)} \\ (x_{3b}, \dots, x_{4b-1}) &= -w && \text{(góc phần tư thứ tư),} \end{aligned}$$

trong đó  $\text{conj}$  là liên hợp phức.

Ví dụ, vector vị trí chòm điểm NUC với sơ đồ điều biến là 16-QAM và tỷ lệ mã hoá bằng 2/15 được tạo ra theo cách như sau. Dựa vào bảng 7,  $w = (0,7073 + 0,7075i, 0,7073 + 0,7074i, 0,7060 + 0,7077i, 0,7065 + 0,7071i)$ . Từ đây về sau,  $i = \sqrt{-1}$  là đơn vị ảo. Giả sử rằng từ ô dữ liệu đầu vào là  $(y_{0,s}, \dots, y_{\eta\text{MOD}-1,s}) = (1100)$ , điểm trong chòm điểm điều biến QAM tương ứng ở chỉ số thời gian  $s$  là  $z_s = x_{12} = -w_0 = -0,7073 - 0,7075i$ .

Ngoài ra, trong phương pháp ánh xạ với các sơ đồ điều biến 1024-QAM và 4096-QAM, mỗi từ ô dữ liệu đầu vào  $(y_{0,s}, \dots, y_{\eta\text{MOD}-1,s})$  ở chỉ số thời gian riêng biệt  $s$  sẽ được điều biến bằng cách sử dụng chòm điểm điều biến QAM không đồng đều 1-chiều để tạo ra điểm  $z_s$  trong chòm điểm trước khi chuẩn hoá. 1-chiều dùng để chỉ trường hợp

một chòm điểm điều biến QAM 2-chiều có thể được tách ra thành hai chòm điểm điều biến PAM 1-chiều, mỗi chòm điểm tương ứng với một thành phần I và Q. Các giá trị chính xác của phần thực  $\text{Re}(z_s)$  và phần ảo  $\text{Im}(z_s)$  với mỗi tổ hợp của từ ô đầu vào thích hợp  $(y_{0,s}, \dots, y_{\eta\text{MOD}-1,s})$  được tìm ra dựa vào vector vị trí chòm điểm 1D-NUC  $u = (u_0, \dots, u_v)$ , để xác định vị trí của các điểm trong chòm điểm không đồng đều theo một chiều. Số lượng phần tử của vector vị trí chòm điểm 1D-NUC  $u$  được xác định bằng biểu thức  $v = \frac{\sqrt{M}}{2}$ .

Ví dụ, chòm điểm 1024-NUC với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15 được xác định dựa vào vector vị trí chòm điểm NUC NUC\_1k\_2/15. Dựa vào bảng 10,  $u = (u_0, \dots, u_{15}) = (0,3317, 0,3321, 0,3322, 0,3321, 0,3327, 0,3328, 0,3322, 0,3322, 0,9369, 0,9418, 0,9514, 0,9471, 0,9448, 0,9492, 0,9394, 0,9349)$ . Giả sử rằng từ ô dữ liệu đầu vào  $(y_{0,s}, \dots, y_{\eta\text{MOD}-1,s}) = (0010011100)$ , thì điểm trong chòm điểm điều biến QAM tương ứng  $z_s$  có  $\text{Re}(z_s) = u_3 = 0,3321$  (được xác định bằng nhấn bit chỉ số chẵn, tức là 01010) và  $\text{Im}(z_s) = u_{11} = 0,9471$  (được xác định bằng nhấn bit chỉ số lẻ, tức là 00110).

Fig.36 là sơ đồ khối thể hiện cấu hình của thiết bị thu tín hiệu theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Dựa vào Fig.36, thiết bị thu tín hiệu 3600 bao gồm bộ giải điều biến 3610, bộ khử đan xen 3620 và bộ giải mã 3630.

Bộ giải điều biến 3610 thu và giải điều biến tín hiệu được truyền từ thiết bị truyền tín hiệu 3500. Cụ thể, bộ giải điều biến 3610 có thể tạo ra giá trị tương ứng với từ mã bằng cách giải điều biến tín hiệu thu được.

Trong trường hợp này, bộ giải điều biến 3610 có thể thực hiện bước giải điều biến tương ứng với sơ đồ điều biến được sử dụng ở thiết bị truyền tín hiệu 3500. Để làm được điều đó, thiết bị truyền tín hiệu 3500 có thể truyền thông tin về sơ đồ điều biến đến thiết bị thu tín hiệu 3600, hoặc thiết bị truyền tín hiệu 3500 có thể thực hiện bước điều biến bằng cách sử dụng sơ đồ điều biến được xác định trước giữa thiết bị truyền tín hiệu 3500 và thiết bị thu tín hiệu 3600. Trong đó, giá trị tương ứng với từ mã có thể được biểu diễn dưới dạng giá trị kênh tương ứng với tín hiệu thu được. Có thể có nhiều phương pháp khác nhau để xác định giá trị kênh, phương pháp xác định giá trị tỷ số hợp lý dạng loga

(Log Likelihood Ratio, LLR) là một ví dụ về phương pháp xác định giá trị kênh.

Giá trị LLR có thể là một giá trị loga của tỷ số giữa xác suất mà bit được truyền từ thiết bị truyền tín hiệu 3500 có giá trị bằng 0 và xác suất mà bit đó có giá trị bằng 1. Ngoài ra, giá trị LLR có thể là một giá trị bit được xác định bằng phương pháp quyết định cứng, hoặc có thể là một giá trị tiêu biểu được xác định tùy thuộc vào phần có xác suất mà bit được truyền từ thiết bị truyền tín hiệu 3500 bằng 0 hay bằng 1.

Bộ giải điều biến 3610 có thể thực hiện phép biến đổi từ các ô thành các bit trên giá trị tương ứng với từ mã và xuất ra giá trị LLR theo đơn vị tính là bit.

Bộ khử đan xen 3620 khử đan xen cho giá trị đầu ra của bộ giải điều biến 3610, và cung cấp giá trị thu được cho bộ giải mã 3630.

Cụ thể, bộ khử đan xen 3620 là bộ phận tương ứng với bộ đan xen 3520 của thiết bị truyền tín hiệu 3500 và thực hiện thao tác tương ứng với bộ đan xen 3520. Nghĩa là, bộ khử đan xen 3620 thực hiện thao tác ngược với thao tác đan xen của bộ đan xen 3520 và khử đan xen cho giá trị LLR.

Bộ giải mã 3630 có thể thực hiện bước giải mã kênh trên giá trị đầu ra của bộ khử đan xen 3620.

Cụ thể, bộ giải mã 3630 là bộ phận tương ứng với bộ mã hoá 3510 của thiết bị truyền tín hiệu 3500, bộ giải mã này có thể sửa lỗi bằng cách thực hiện bước giải mã sử dụng giá trị LLR xuất ra từ bộ khử đan xen 3620.

Ví dụ, bộ giải mã 3630 có thể có bộ giải mã LDPC (không được thể hiện trên hình vẽ) để thực hiện bước giải mã LDPC.

Trong trường hợp này, bộ giải mã 3630 có thể thực hiện bước giải mã LDPC bằng cách sử dụng sơ đồ giải mã lặp dựa trên thuật toán tổng-tích. Trong đó, thuật toán tổng-tích là thuật toán để trao đổi các thông báo (ví dụ giá trị LLR) qua các cạnh nối trên đồ thị hai phía của thuật toán truyền thông báo, và thông báo xuất ra được tính dựa vào các thông báo nhập vào ở các nút thay đổi hoặc các nút kiểm tra, và được cập nhật.

Bộ giải mã 3630 có thể sử dụng ma trận kiểm tra chẵn lẻ để giải mã LDPC. Trong trường hợp này, ma trận kiểm tra chẵn lẻ được dùng để giải mã có thể có cấu trúc giống như ma trận kiểm tra chẵn lẻ được dùng để mã hoá.

Trong khi đó, thông tin về ma trận kiểm tra chẵn lẻ hoặc thông tin về tỷ lệ mã hoá dùng để giải mã LDPC có thể được lưu trữ trước trong thiết bị thu tín hiệu 3600 hoặc được cung cấp từ thiết bị truyền tín hiệu 3500.

Phần mô tả sáng chế trên đây chỉ là ví dụ minh hoạ, và bước giải mã kênh có thể được thực hiện theo các sơ đồ khác nhau tương ứng với bước mã hoá kênh được thực hiện bằng thiết bị truyền tín hiệu 3500.

Vật ghi bất khả biến đọc được bằng máy tính có thể được dùng để lưu trữ chương trình để thực hiện các phương pháp nêu trên theo các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Vật ghi bất khả biến là phương tiện có thể lưu trữ dữ liệu theo cách bán cố định chứ không phải lưu trữ dữ liệu trong thời gian ngắn như thanh ghi, bộ nhớ tác động nhanh và bộ nhớ, và phương tiện này có thể đọc được bằng thiết bị. Cụ thể, vật ghi này có thể là vật ghi không tạm thời như đĩa compac (Compact Disk, CD), đĩa kỹ thuật số vạn năng (Digital Versatile Disk, DVD), đĩa cứng, đĩa Blu-ray, bộ nhớ theo giao thức bus nối tiếp đa năng (Universal Serial Bus, USB), thẻ nhớ, hoặc bộ nhớ chỉ đọc (Read-Only Memory, ROM), nhưng không chỉ giới hạn ở các loại vật ghi nêu trên.

Các bộ phận, phần tử, môđun hoặc khối được thể hiện dưới dạng khối trên Fig.18, Fig.35 và Fig.36 có thể được thực hiện với nhiều cấu trúc khác nhau như phần cứng, phần mềm và/hoặc phần sụn để thực hiện các chức năng tương ứng nêu trên theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế. Ví dụ, các bộ phận, phần tử, môđun hoặc khối này có thể sử dụng cấu trúc mạch trực tiếp, như bộ nhớ, bộ xử lý, mạch logic, bảng dò tìm, v.v., để có thể thực hiện các chức năng tương ứng theo sự điều khiển của một hoặc nhiều bộ vi xử lý hoặc các thiết bị điều khiển khác. Ngoài ra, các bộ phận, phần tử, môđun hoặc khối này có thể được thể hiện cụ thể bằng một chương trình hoặc đoạn mã, chứa một hoặc nhiều lệnh thi hành được để thực hiện các chức năng logic đã xác định. Đồng thời, ít nhất một trong số các bộ phận, phần tử, môđun hoặc khối này có thể còn có bộ xử lý như bộ xử lý trung tâm (Central Processing Unit, CPU), bộ vi xử lý, hoặc các bộ phận tương tự khác, để thực hiện các chức năng tương ứng. Bus không được thể hiện trong các sơ đồ khối trên Fig.18, Fig.35 và Fig.36. Tuy nhiên, việc truyền thông giữa các bộ phận, phần tử, môđun hoặc khối tương ứng có thể được thực hiện thông qua bus.

Các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế và các ưu điểm nêu trên chỉ là ví dụ

minh hoạ và không được coi là phạm vi của sáng chế này chỉ giới hạn ở các phương án đó. Ngoài ra, các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế đã được mô tả chỉ được dùng để làm ví dụ, và không được dùng để giới hạn phạm vi yêu cầu bảo hộ của sáng chế, và có nhiều phương án thay đổi, sửa đổi và cải biến sẽ được hiểu rõ đối với người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng.

Fig.37 là lưu đồ thể hiện phương pháp truyền tín hiệu của thiết bị truyền tín hiệu theo phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế.

Trước hết, từ mã được tạo ra (S3710) bằng cách thực hiện bước mã hoá kênh trên các bit, và từ mã được đan xen (S3720).

Sau đó, từ mã đã được đan xen được ánh xạ lên một chòm điểm không đồng đều theo một sơ đồ điều biến (S3730).

Trong trường hợp này, chòm điểm có thể chứa các điểm được xác định dựa vào các bảng từ bảng 2 đến bảng 11 theo một sơ đồ điều biến.

Ví dụ, khi sơ đồ điều biến là 64-QAM, thì chòm điểm có thể chứa các điểm được xác định dựa vào bảng 8.

Cụ thể, khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_64\_2/15 trong bảng 8.

Khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 3/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_64\_3/15 trong bảng 8.

Ngoài ra, khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 4/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_64\_4/15 trong bảng 8.

Ví dụ khác, khi sơ đồ điều biến là 256-QAM, thì chòm điểm có thể chứa các điểm được xác định dựa vào bảng 9.

Cụ thể, khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa

các điểm được xác định theo cột NUC\_256\_2/15 trong bảng 9.

Ngoài ra, khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 3/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_256\_3/15 trong bảng 9.

Khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 4/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_256\_4/15 trong bảng 9.

Trong đó, bảng 8 và bảng 9 thể hiện các điểm trong chòm điểm ở trong một góc phần tư của chòm điểm, và các điểm trong chòm điểm ở trong các góc phần tư còn lại của chòm điểm có thể thu được bằng cách lần lượt biểu diễn mỗi điểm  $a$  trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng 8 và bảng 9 dưới dạng  $a^*$ ,  $-a^*$  và  $-a$  (trong đó  $*$  là liên hợp phức).

Ví dụ khác, khi sơ đồ điều biến là 1024-QAM, thì chòm điểm có thể chứa các điểm được xác định dựa vào bảng 10.

Cụ thể, khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_1k\_2/15 trong bảng 10.

Ngoài ra, khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 3/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_1k\_3/15 trong bảng 10.

Ngoài ra, khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 4/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_1k\_4/15 trong bảng 10.

Ví dụ khác, khi sơ đồ điều biến là 4096-QAM, thì chòm điểm có thể chứa các điểm được xác định dựa vào bảng 11.

Cụ thể, khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 2/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_4k\_2/15 trong bảng 11.



Ngoài ra, khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 3/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_4k\_3/15 trong bảng 11.

Khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 4/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_4k\_4/15 trong bảng 11.

Khi bước mã hoá được thực hiện với tỷ lệ mã hoá bằng 5/15, thì ở bước S3730, từ mã đã được đan xen có thể được ánh xạ lên chòm điểm không đồng đều chứa các điểm được xác định theo cột NUC\_4k\_5/15 trong bảng 11.

Trong đó, bảng 10 và bảng 11 được dùng để xác định các điểm trong chòm điểm ở trong một góc phần tư của chòm điểm, và các điểm trong chòm điểm ở trong các góc phần tư còn lại của chòm điểm có thể thu được bằng cách lần lượt biểu diễn mỗi điểm  $a$  trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng 10 và bảng 11 dưới dạng  $a^*$ ,  $-a^*$  và  $-a$  (trong đó  $*$  là liên hợp phức).

Theo sáng chế, để tạo ra chòm điểm tối ưu thì phải xác định năng suất. Để làm được việc này thì giá trị SNR là một thông số quan trọng. Tuy nhiên, việc tối ưu hoá với giá trị SNR không nhất thiết có nghĩa là cần phải có điều kiện hệ thống đáp ứng giá trị SNR như vậy. Mặc dù có nhiều khả năng xảy ra trường hợp là có thể thu được hiệu suất tối ưu trong điều kiện hệ thống đáp ứng giá trị SNR như vậy, nhưng nói chung, giá trị SNR thu được thường thay đổi theo điều kiện hệ thống, và rõ ràng là có thể sử dụng các giá trị SNR khác nhau hoặc các tỷ lệ mã hoá kênh khác nhau tùy thuộc vào độ phức tạp của hệ thống và còn tùy thuộc vào nhiều mục đích khác để hỗ trợ cho một số điều kiện kênh sử dụng sơ đồ điều biến áp dụng cho một chòm điểm NUC.

Vật ghi bất khả biến đọc được bằng máy tính có thể được dùng để lưu trữ chương trình thực hiện phương pháp tạo ra chòm điểm không đồng đều.

Vật ghi bất khả biến đọc được bằng máy tính không phải là phương tiện được tạo cấu hình để lưu trữ dữ liệu một cách tạm thời như thanh ghi, bộ nhớ tác động nhanh hoặc bộ nhớ, là mà vật ghi đọc được bằng máy tính được tạo cấu hình để lưu trữ dữ liệu một cách bán cố định. Cụ thể, các ứng dụng hoặc chương trình nêu trên có thể được lưu trữ

trên vật ghi bất khả biến đọc được bằng máy tính như đĩa compac (CD), đĩa kỹ thuật số vạn năng (DVD), đĩa cứng, đĩa Blu-ray, bộ nhớ theo giao thức bus nối tiếp đa năng (USB), thẻ nhớ, hoặc bộ nhớ chỉ đọc (ROM), và được cung cấp từ đó.

Trong sơ đồ khối thể hiện thiết bị truyền tín hiệu và thiết bị thu tín hiệu không thể hiện bus, nhưng việc truyền thông giữa các bộ phận trong mỗi thiết bị đó có thể được thực hiện thông qua bus. Ngoài ra, mỗi thiết bị có thể còn có bộ xử lý CPU để thực hiện các bước nêu trên và các bộ xử lý như bộ vi xử lý.

Các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế và các ưu điểm nêu trên chỉ là ví dụ minh họa và không được coi là phạm vi của sáng chế này chỉ giới hạn ở các phương án đó. Các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế có thể được áp dụng dễ dàng cho các loại thiết bị khác. Ngoài ra, các phương án làm ví dụ thực hiện sáng chế đã được mô tả chỉ được dùng để làm ví dụ minh họa, và không được dùng để giới hạn phạm vi yêu cầu bảo hộ của sáng chế, và có nhiều phương án thay đổi, sửa đổi và cải biến sẽ được hiểu rõ đối với người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật tương ứng.

## YÊU CẦU BẢO HỘ

### 1. Thiết bị truyền tín hiệu bao gồm:

bộ mã hoá được tạo cấu hình để mã hoá các bit đầu vào để tạo ra các bit chẵn lẻ dựa vào mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (Low Density Parity Check, LDPC);

bộ đan xen được tạo cấu hình để đan xen từ mã bao gồm các bit đầu vào và các bit chẵn lẻ; và

bộ ánh xạ được tạo cấu hình để ánh xạ từ mã đã được đan xen lên các chòm điểm theo sơ đồ điều biến biên độ vuông góc 64 điểm (64-Quadrature Amplitude Modulation, 64-QAM),

trong đó các chòm điểm này chứa các điểm được xác định dựa vào bảng dưới đây:

|                    |
|--------------------|
| $0,5472 + 1,1591i$ |
| $0,5473 + 1,1573i$ |
| $0,5467 + 1,1599i$ |
| $0,5479 + 1,1585i$ |
| $1,1578 + 0,5478i$ |
| $1,1576 + 0,5475i$ |
| $1,1591 + 0,5475i$ |
| $1,1591 + 0,5475i$ |
| $0,3163 + 0,5072i$ |
| $0,3163 + 0,5072i$ |
| $0,3163 + 0,5072i$ |
| $0,3163 + 0,5072i$ |
| $0,5087 + 0,3163i$ |
| $0,5087 + 0,3163i$ |
| $0,5087 + 0,3163i$ |
| $0,5087 + 0,3163i$ |

2. Thiết bị theo điểm 1, trong đó bộ mã hoá được tạo cấu hình để mã hoá các bit đầu vào dựa vào mã LDPC có tỷ lệ mã hoá bằng 3/15.

3. Thiết bị theo điểm 1, trong đó các điểm trong chòm điểm như được xác định dựa vào bảng này biểu diễn các điểm trong chòm điểm nằm ở trong một góc phần tư của chòm điểm, và

trong đó các điểm trong chòm điểm nằm ở trong các góc phần tư còn lại của chòm điểm thu được bằng cách lần lượt biểu diễn mỗi điểm  $a$  trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng này dưới dạng  $a^*$ ,  $-a^*$  và  $-a$ ,

trong đó  $*$  là liên hợp phức.

4. Thiết bị theo điểm 1, trong đó bộ ánh xạ được tạo cấu hình để phân kênh các bit của từ mã đã được đan xen thành nhiều ô, và ánh xạ các ô này lên các điểm trong chòm điểm.

4. Thiết bị thu tín hiệu bao gồm:

bộ thu được tạo cấu hình để thu tín hiệu từ thiết bị truyền;

bộ giải điều biến được tạo cấu hình để giải điều biến tín hiệu để tạo ra các giá trị theo sơ đồ điều biến biên độ vuông góc 64 điểm (64-QAM);

bộ giải đan xen được tạo cấu hình để giải đan xen các giá trị; và

bộ giải mã được tạo cấu hình giải mã các giá trị đã được giải đan xen dựa vào mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (LDPC);

trong đó bộ giải điều biến được tạo cấu hình để giải điều biến tín hiệu dựa vào ít nhất một điểm trong chòm điểm trong số các điểm trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng dưới đây:

|                    |
|--------------------|
| $0,5472 + 1,1591i$ |
| $0,5473 + 1,1573i$ |
| $0,5467 + 1,1599i$ |
| $0,5479 + 1,1585i$ |
| $1,1578 + 0,5478i$ |
| $1,1576 + 0,5475i$ |
| $1,1591 + 0,5475i$ |
| $1,1591 + 0,5475i$ |
| $0,3163 + 0,5072i$ |
| $0,3163 + 0,5072i$ |
| $0,3163 + 0,5072i$ |
| $0,3163 + 0,5072i$ |
| $0,5087 + 0,3163i$ |
| $0,5087 + 0,3163i$ |
| $0,5087 + 0,3163i$ |
| $0,5087 + 0,3163i$ |

6. Thiết bị theo điểm 5, trong đó bộ giải mã được tạo cấu hình để giải mã các giá trị đã được giải đan xen dựa vào mã LDPC có tỷ lệ mã hoá bằng 3/15.

7. Thiết bị theo điểm 5, trong đó các điểm trong chòm điểm như được xác định dựa vào bảng này biểu diễn các điểm trong chòm điểm nằm ở trong một góc phần tư của chòm điểm, và

trong đó các điểm trong chòm điểm nằm ở trong các góc phần tư còn lại của chòm điểm thu được bằng cách lần lượt biểu diễn mỗi điểm  $a$  trong chòm điểm được xác định dựa vào bảng này dưới dạng  $a^*$ ,  $-a^*$  và  $-a$ ,

trong đó  $*$  là liên hợp phức.

Fig. 1



Fig. 2

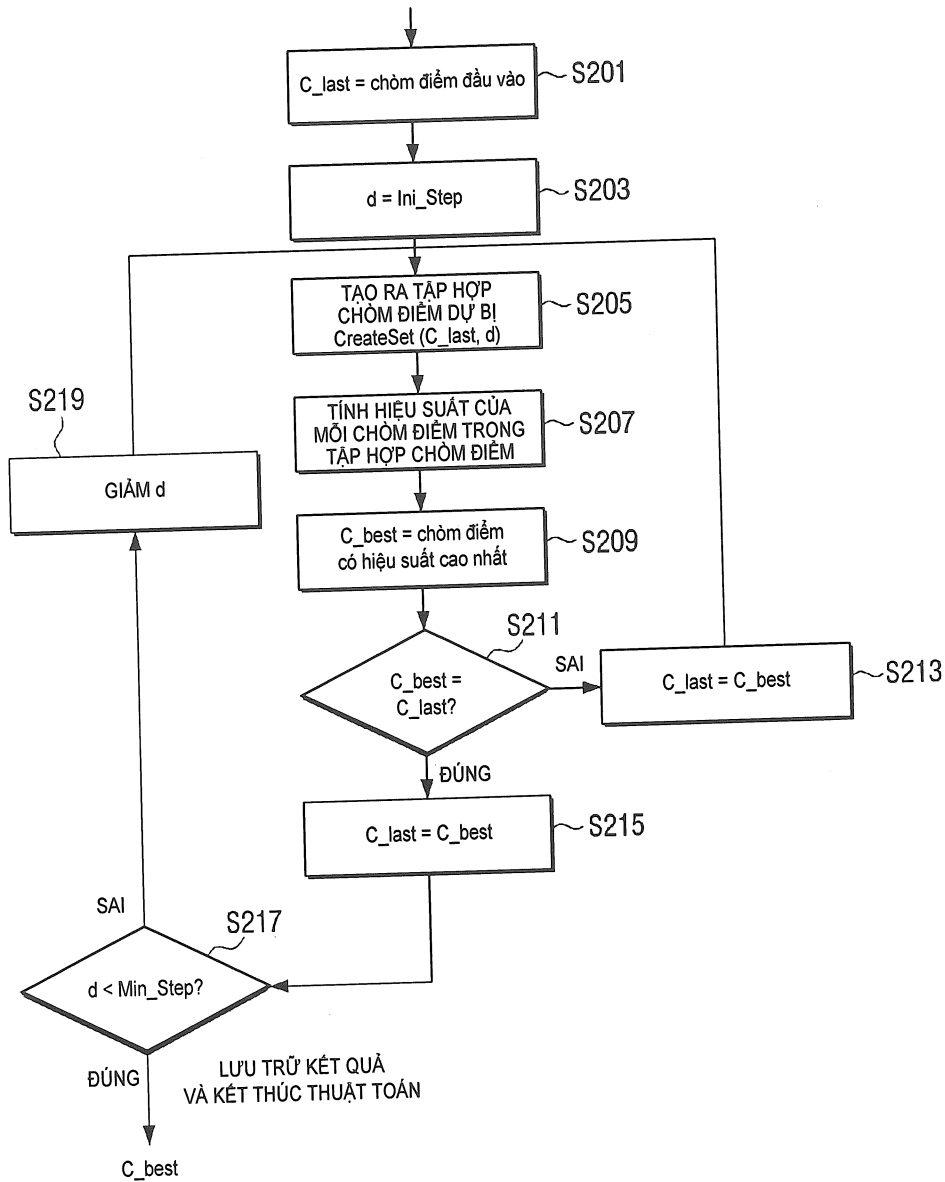


Fig. 3

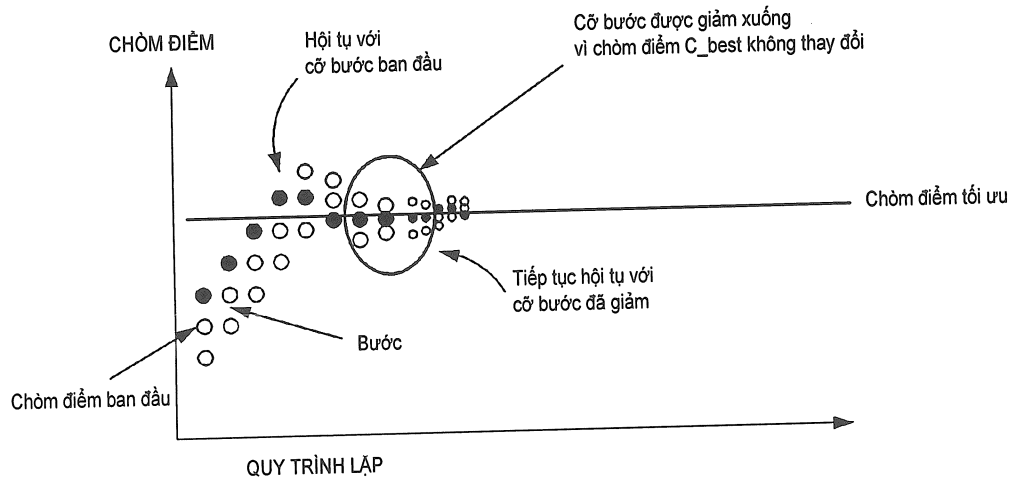


Fig. 4

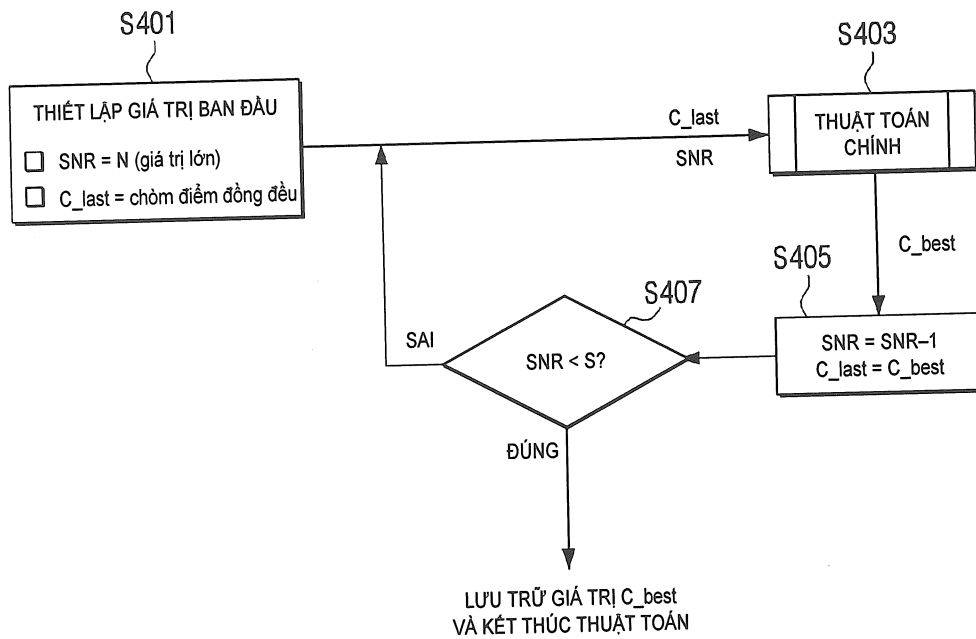


Fig. 5

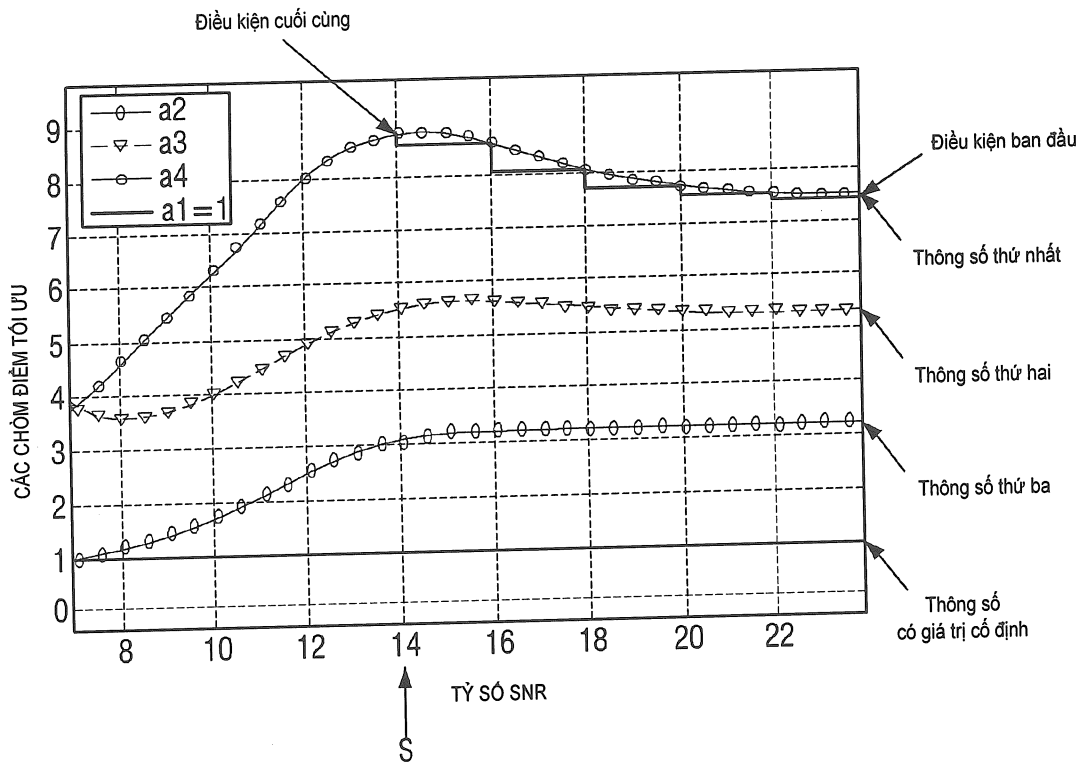


Fig. 6

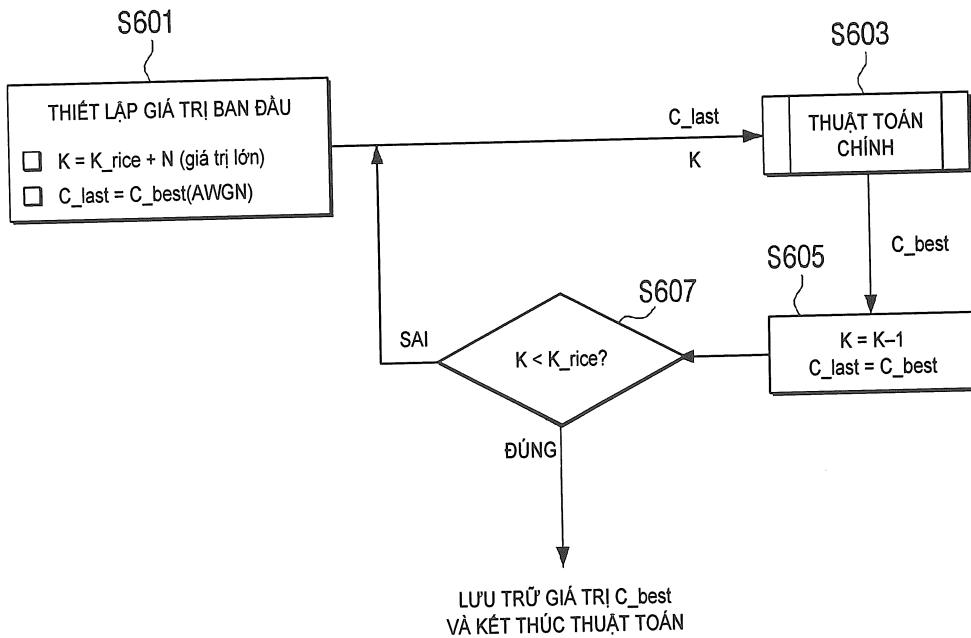




Fig. 7

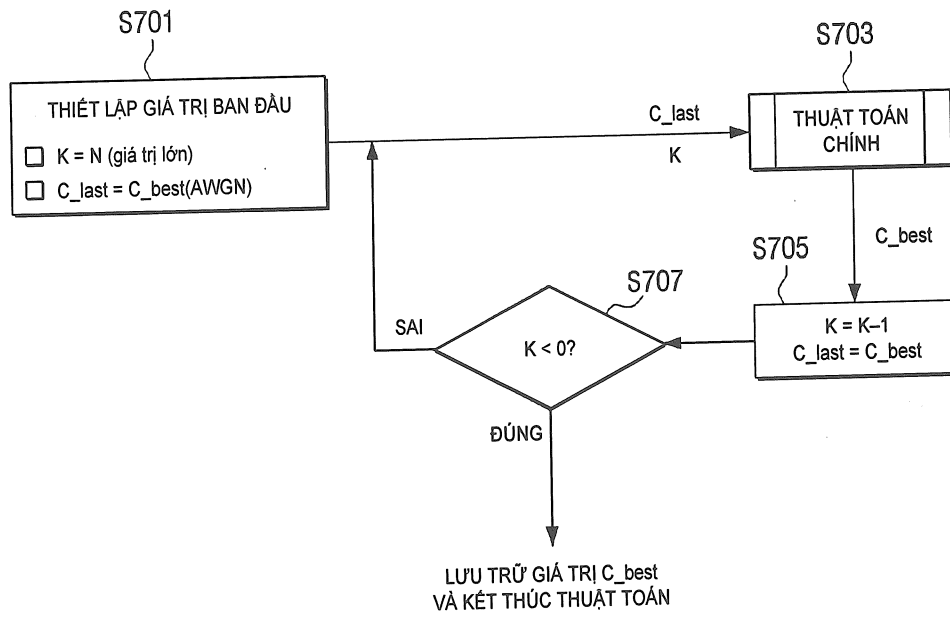


Fig. 8

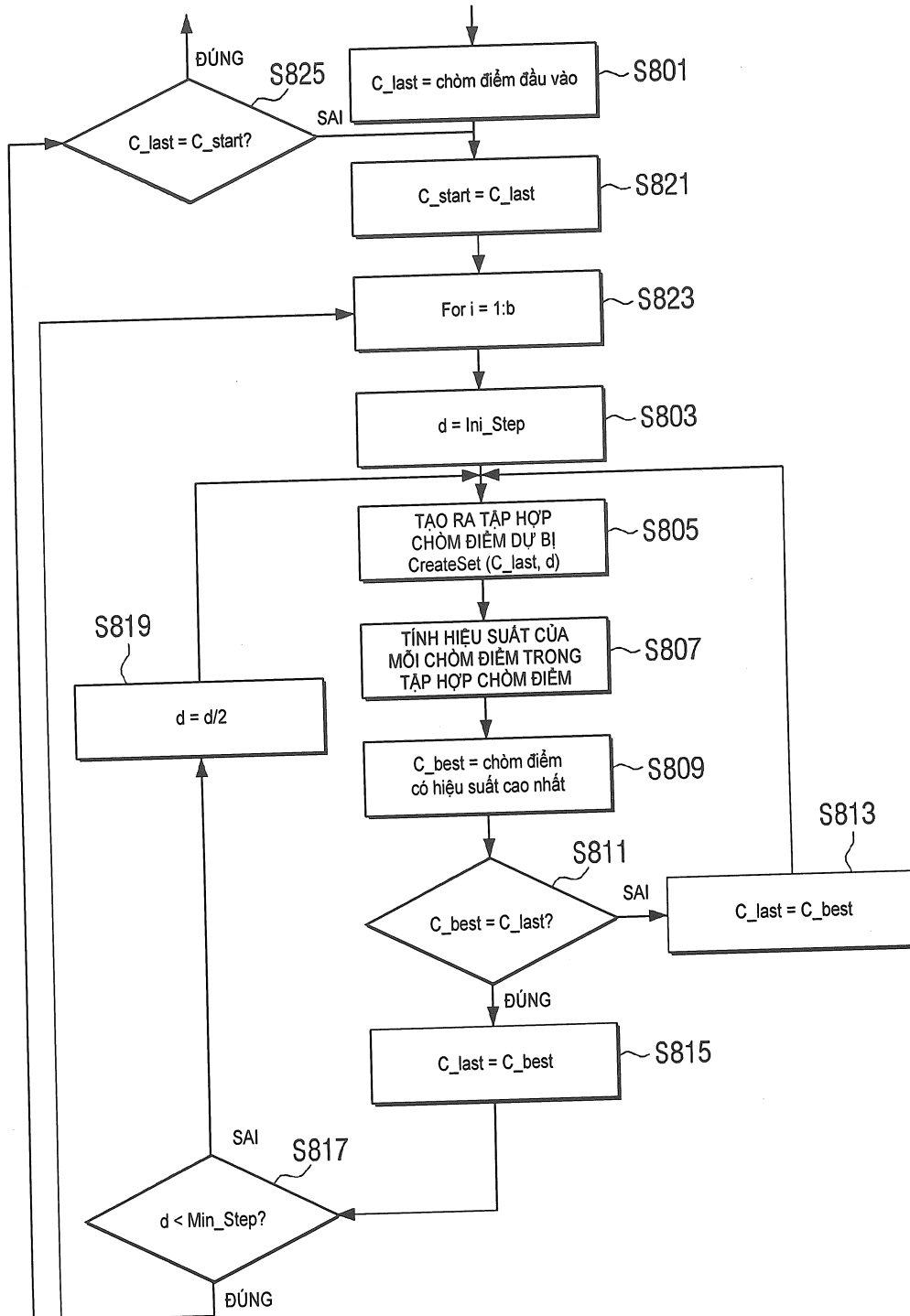


Fig. 9

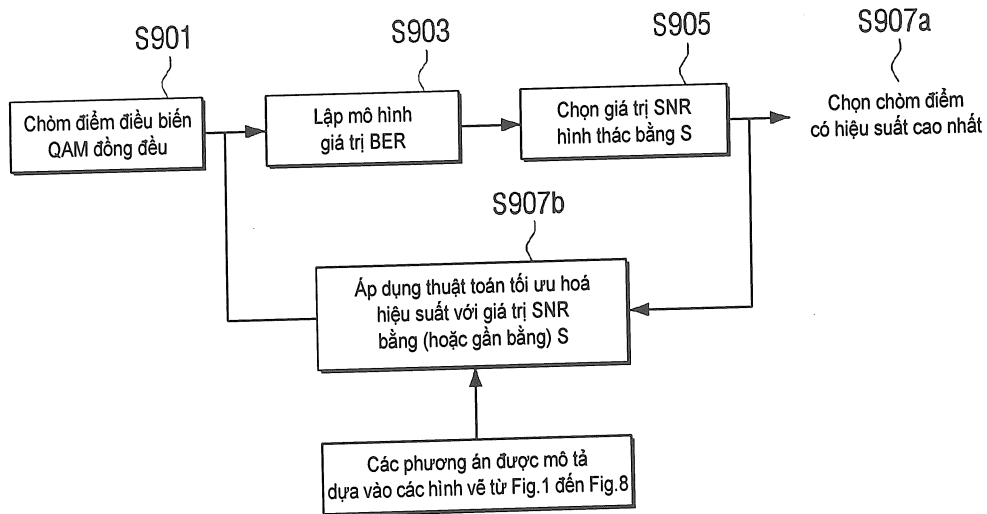


Fig. 10

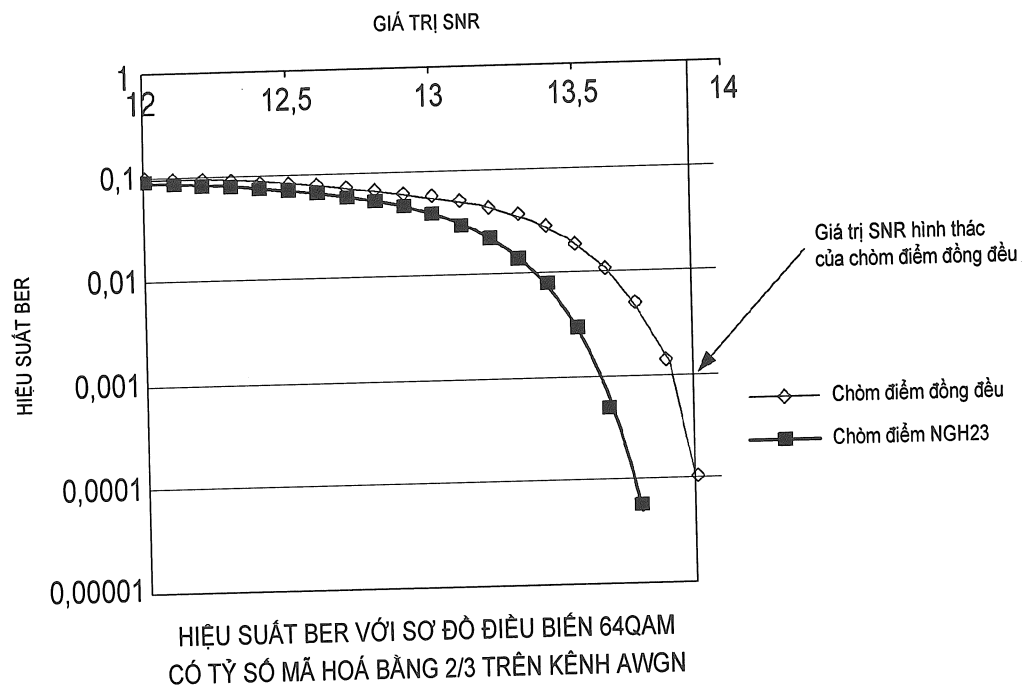


Fig. 11

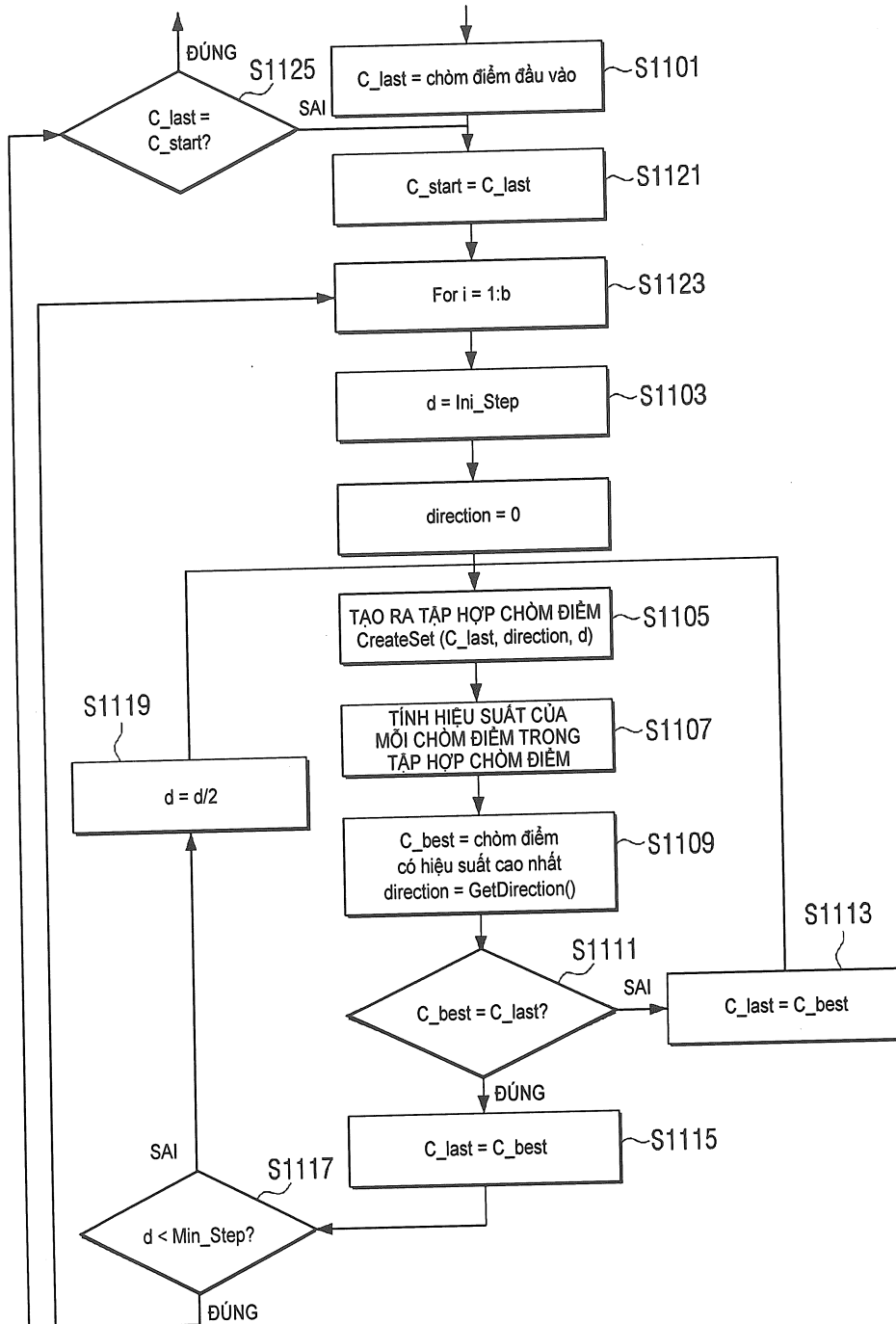
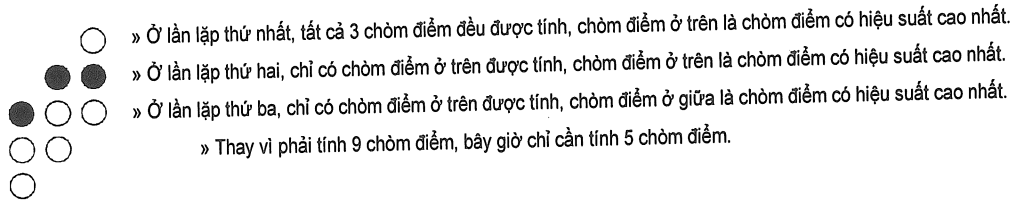


Fig. 12

Ví dụ 1: (1D → NU QAM)

- Hướng: lên hoặc xuống



Ví dụ 2: (2D → NUC)

- Hướng: có giá trị

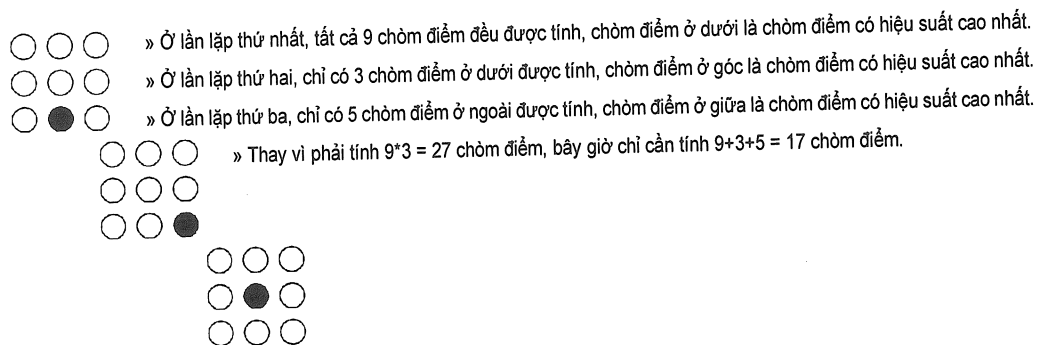


Fig. 13

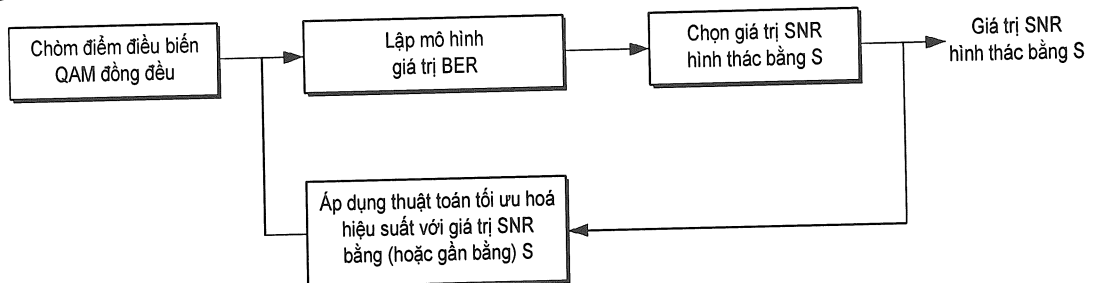


Fig. 14

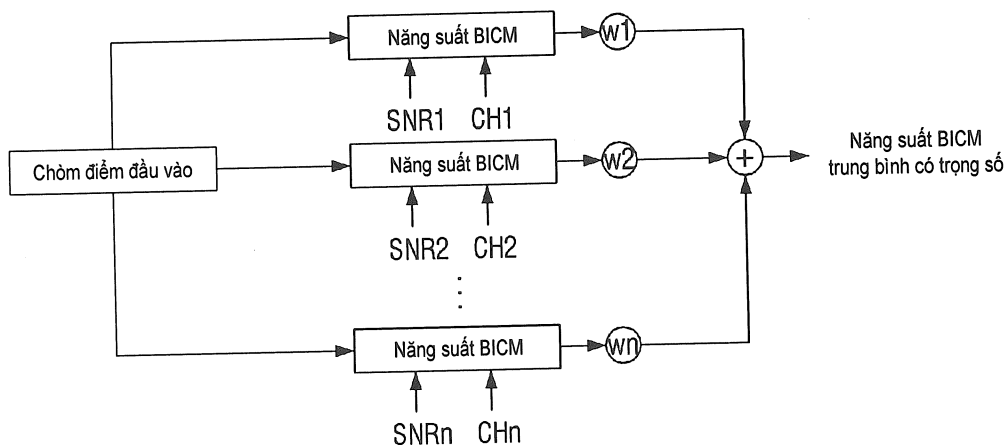
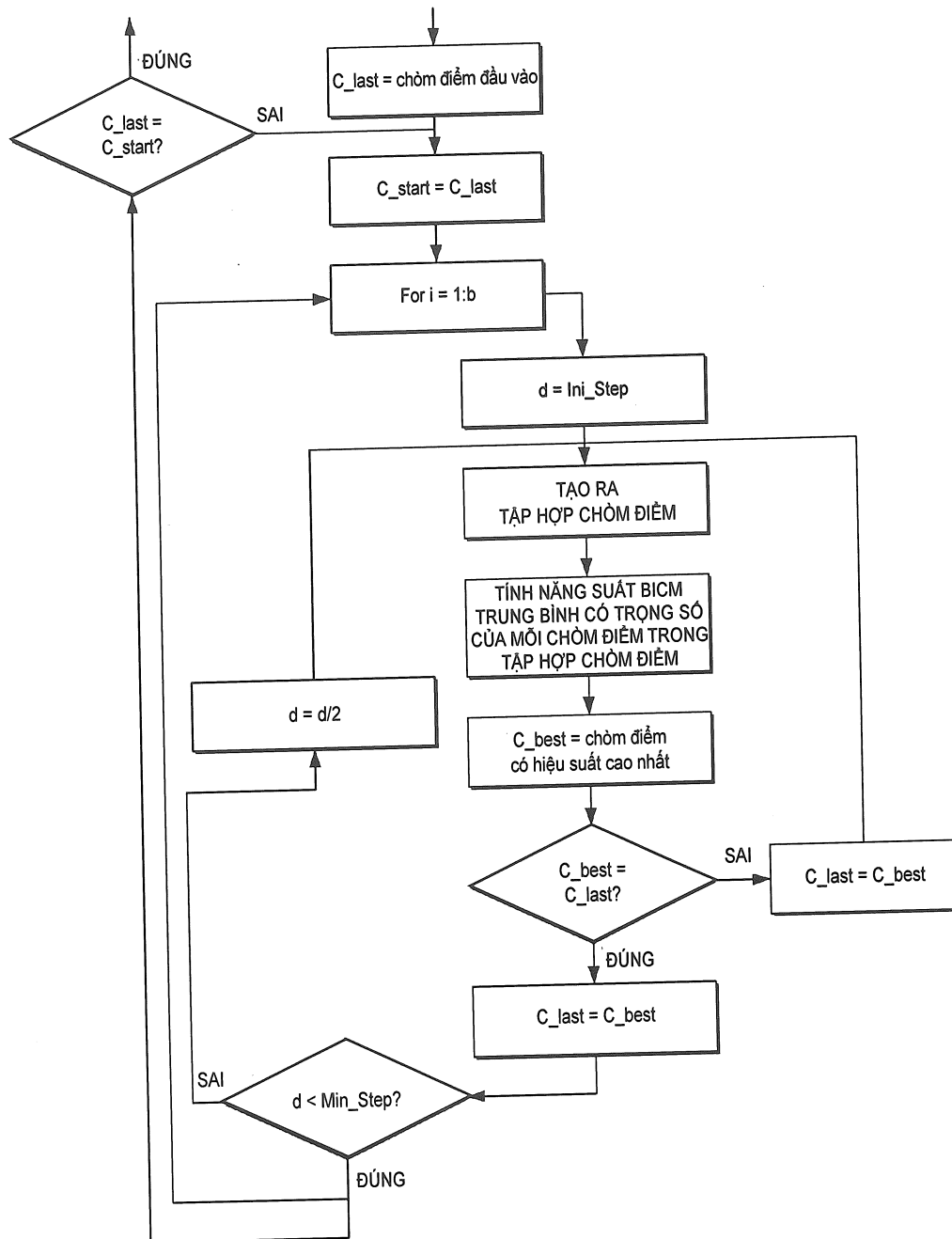


Fig. 15



10/21

Fig. 16a

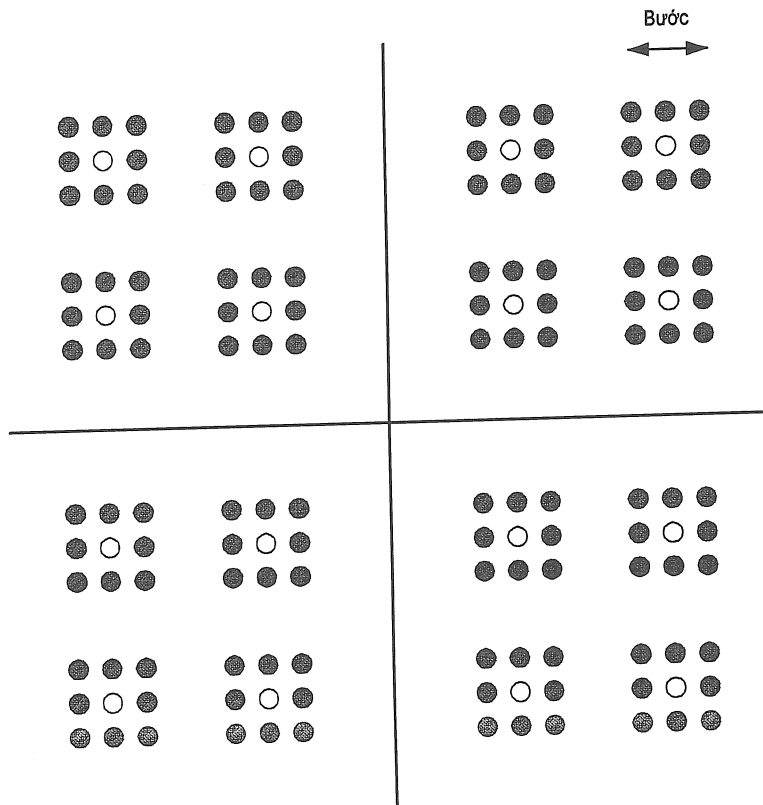


Fig. 16b

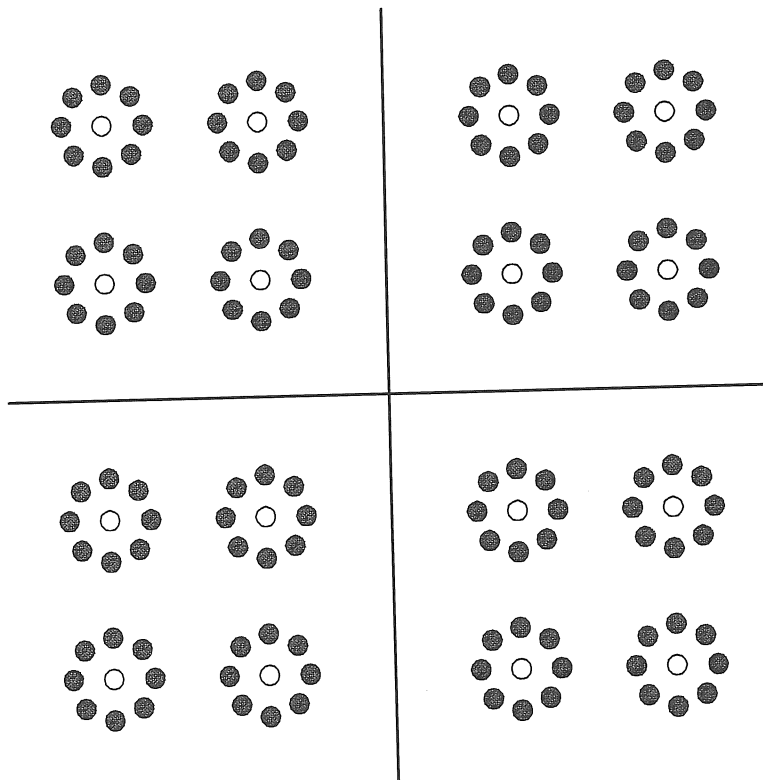


Fig. 17

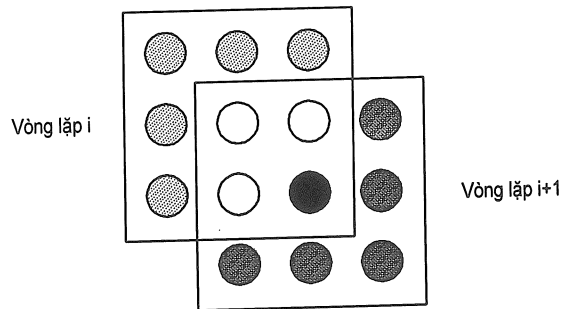




Fig. 18

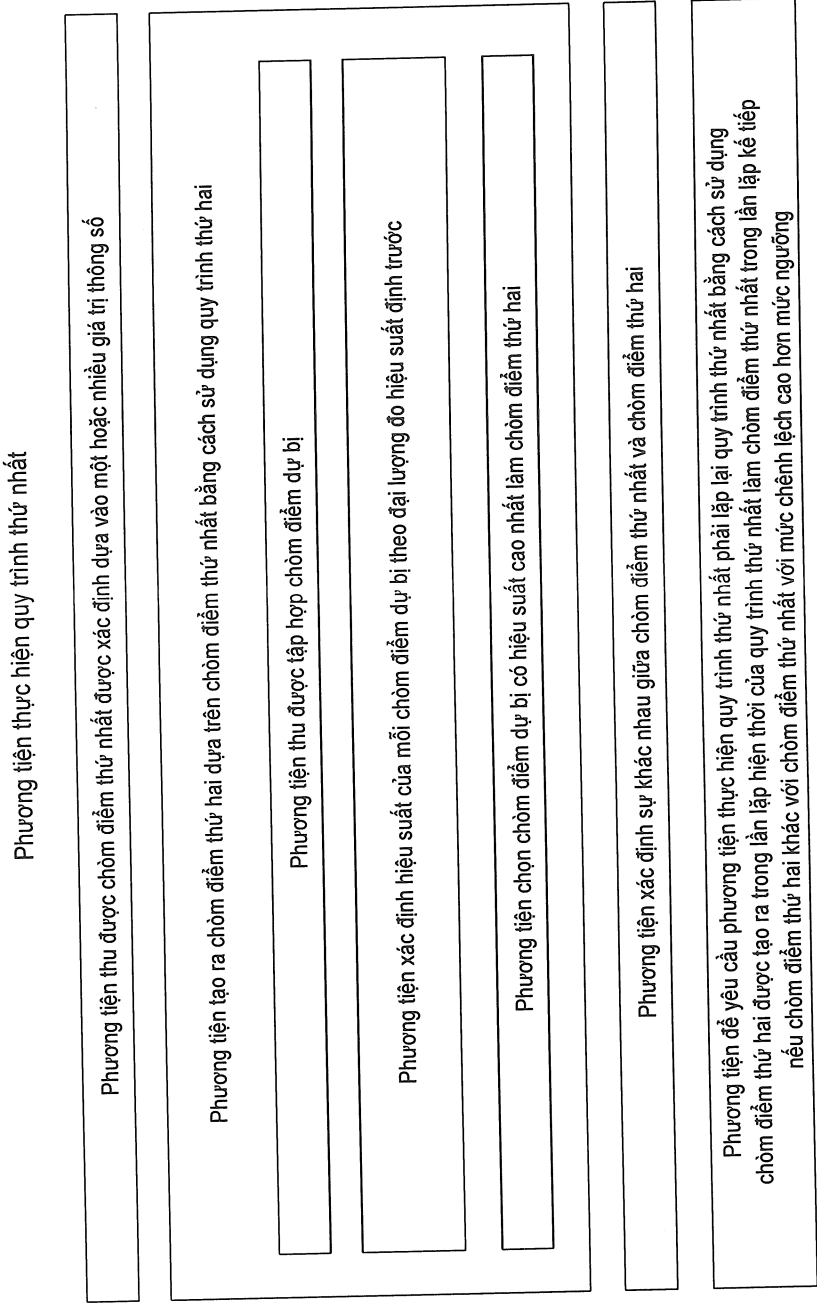


Fig. 19

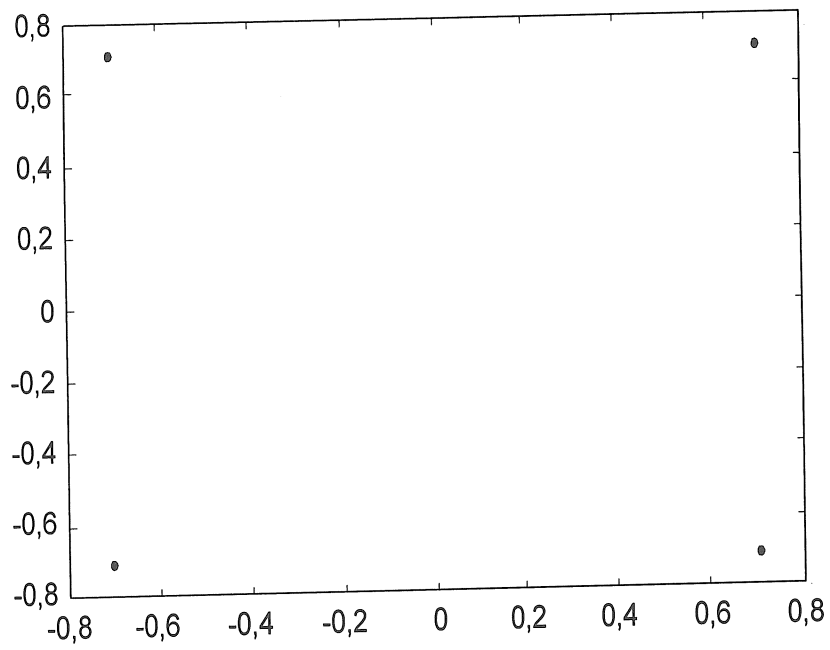


Fig. 20

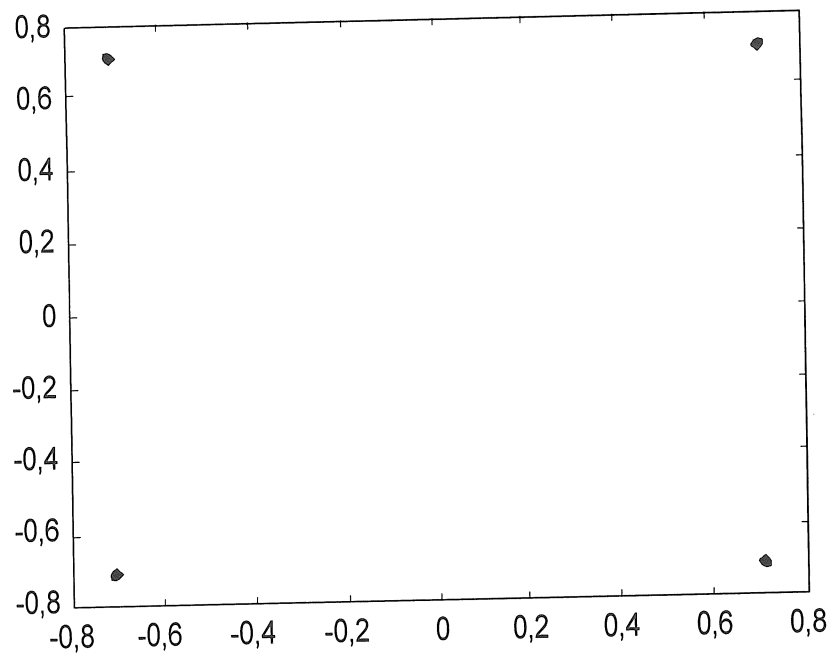


Fig. 21

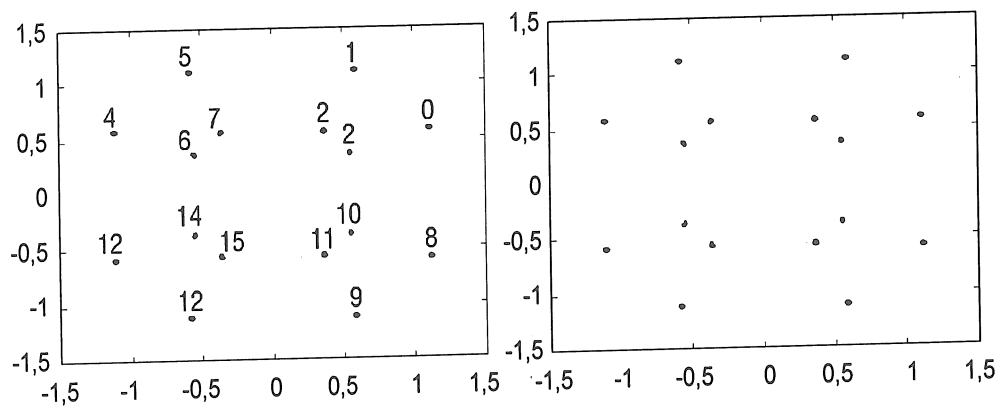


Fig. 22

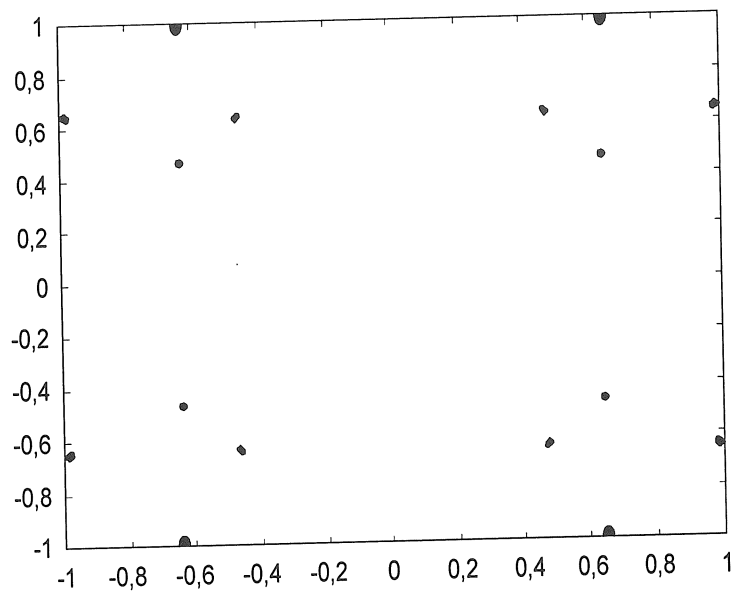


Fig. 23

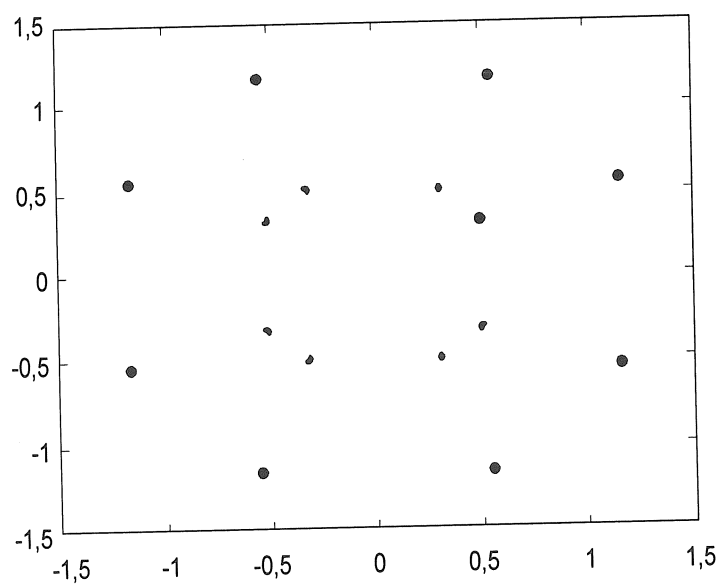


Fig. 24

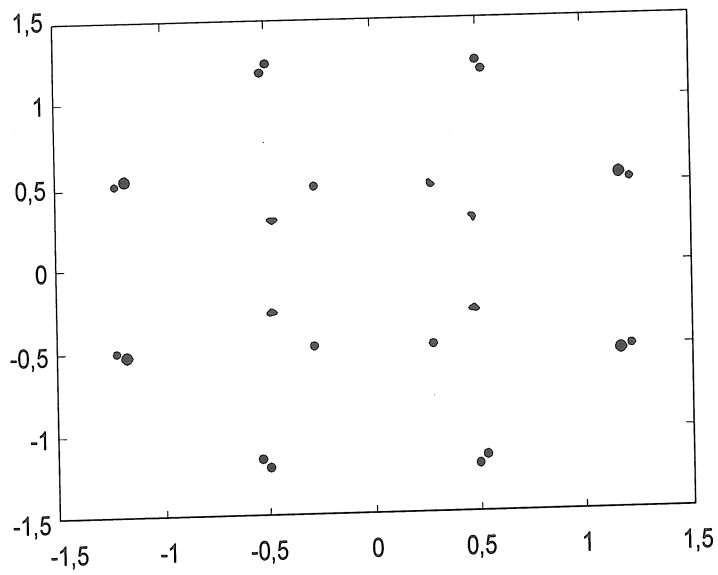


Fig. 25

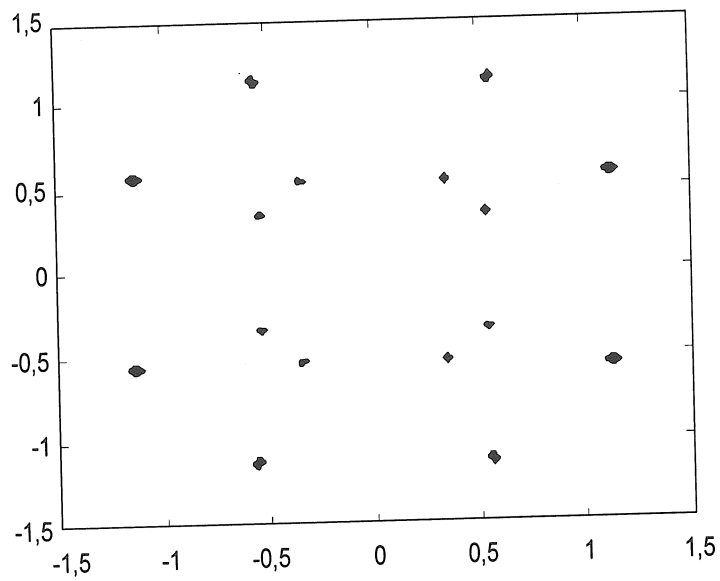


Fig. 26

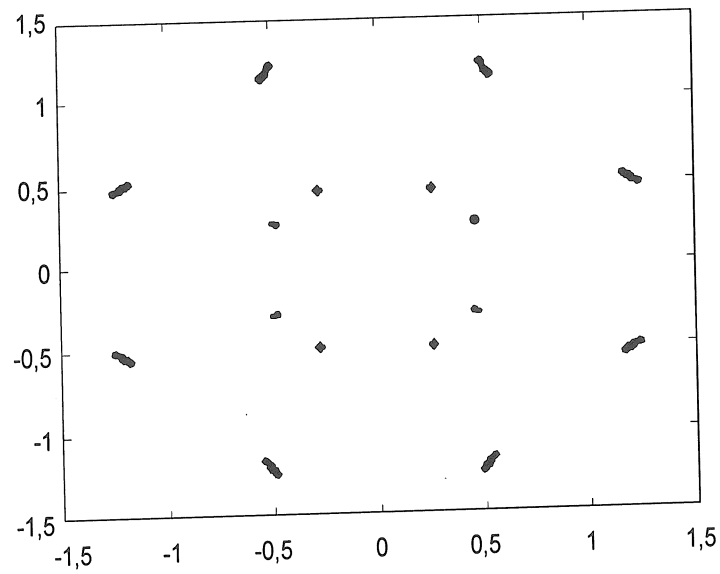


Fig. 27

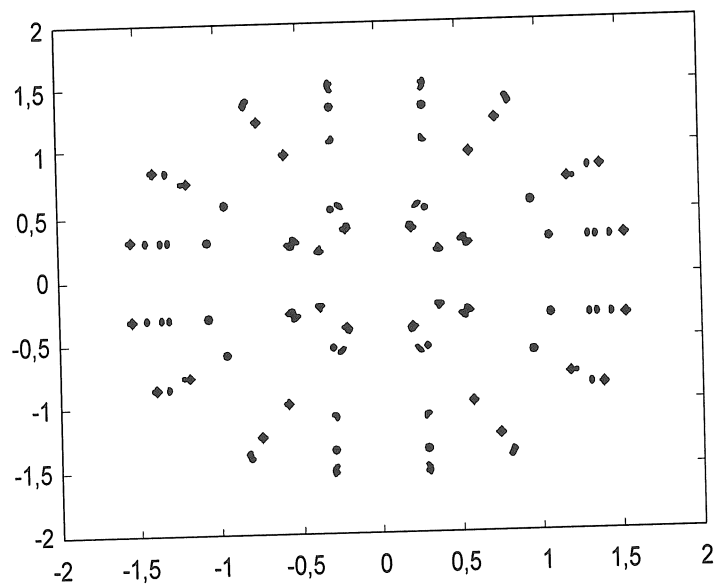


Fig. 28

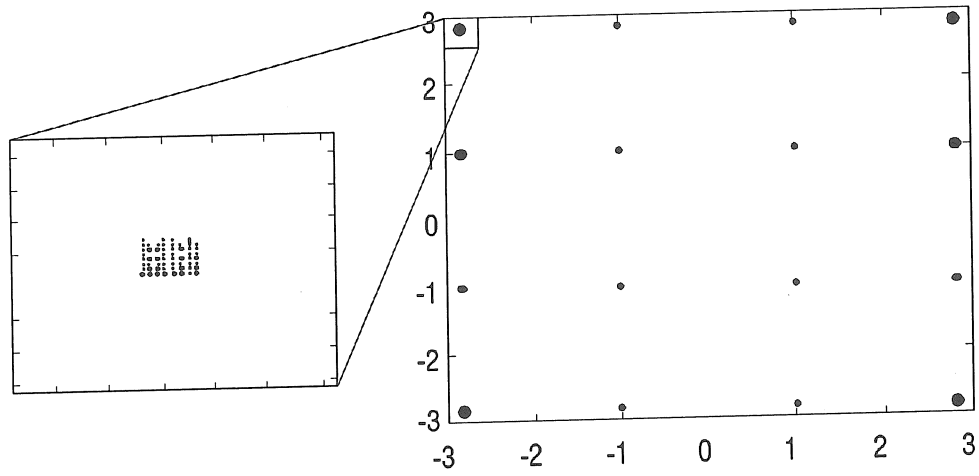


Fig. 29

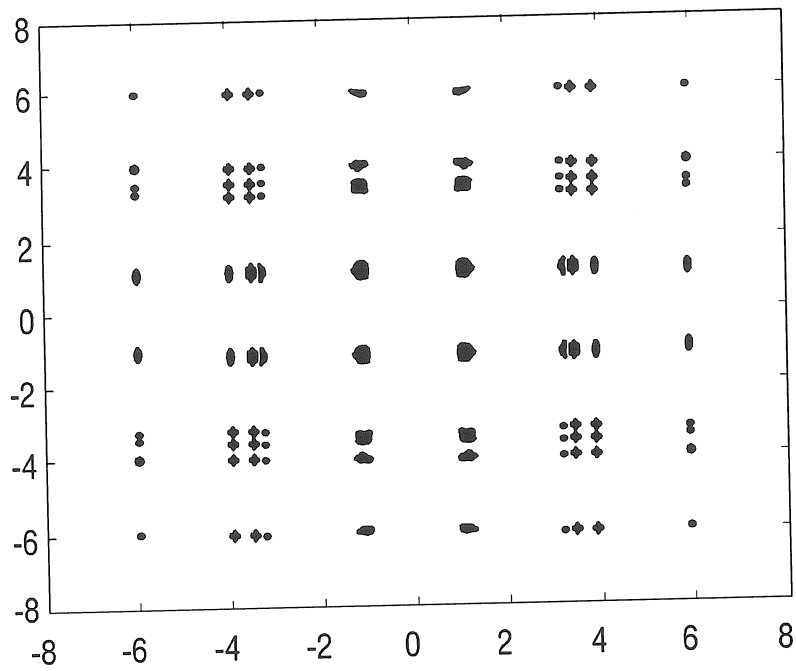


Fig. 30

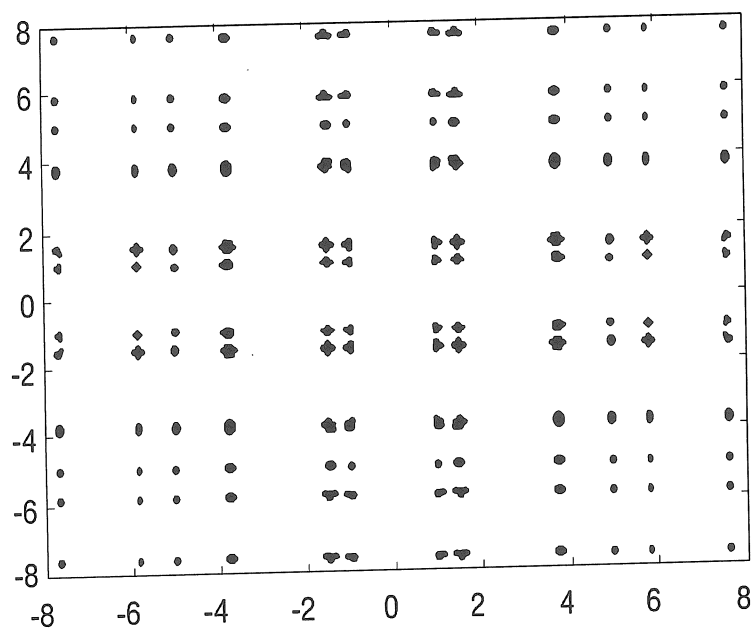


Fig. 31

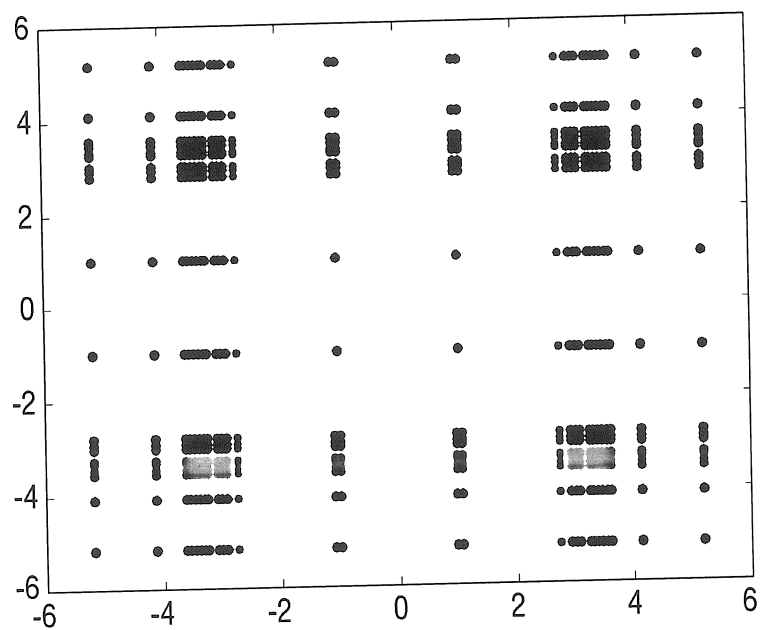


Fig. 32

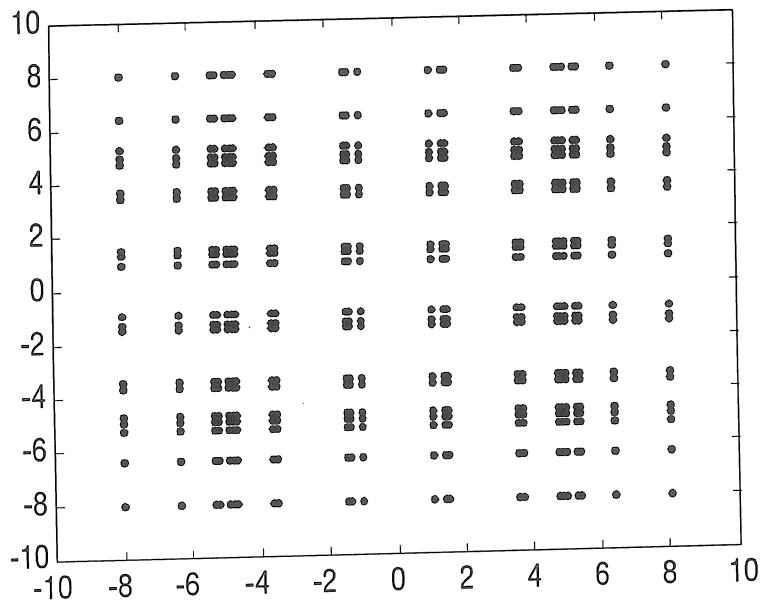


Fig. 33

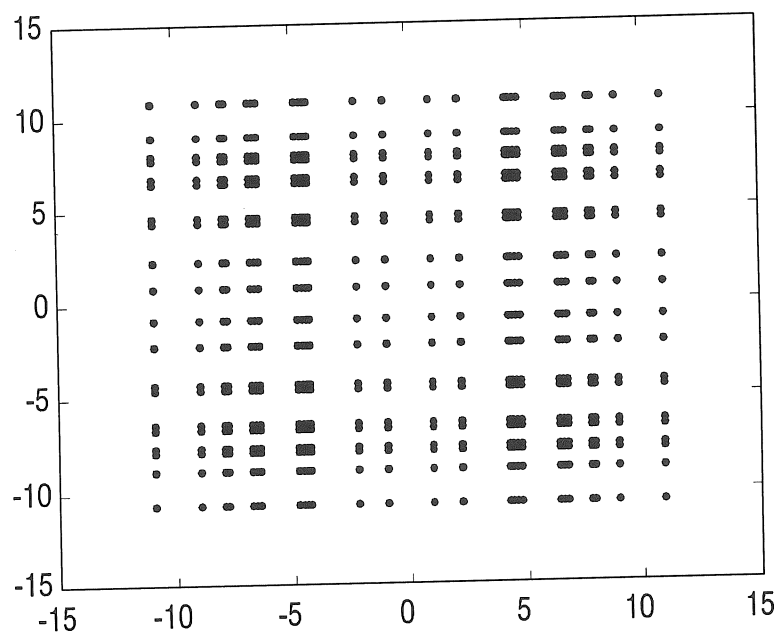




Fig. 34

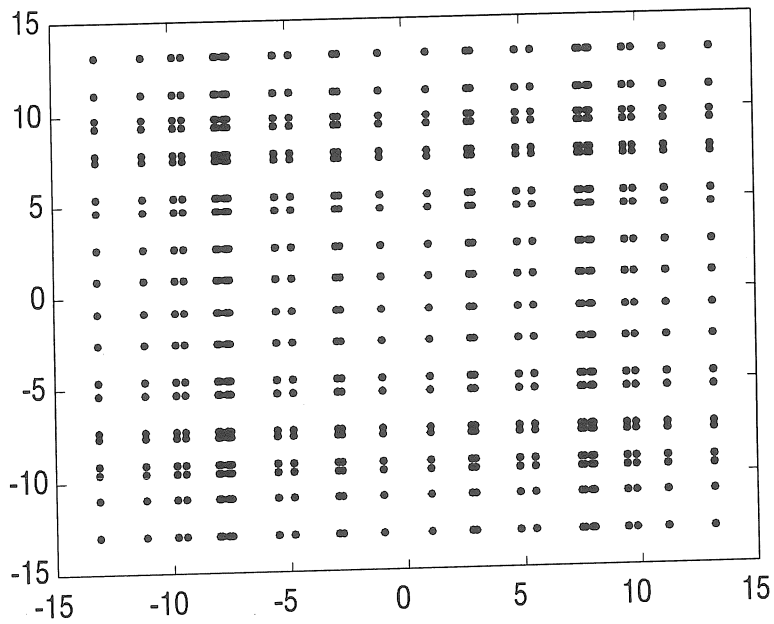


Fig. 35

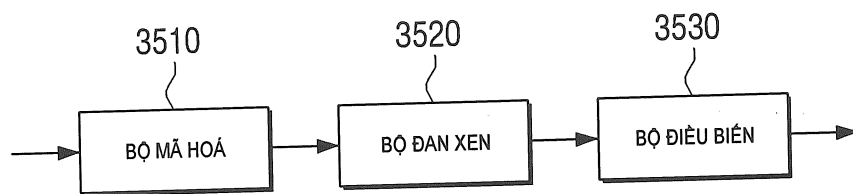
3500

Fig. 36

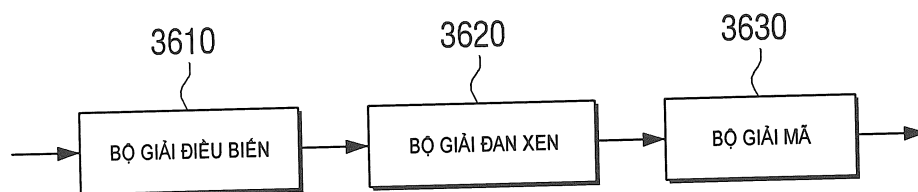
3600

Fig. 37

