



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

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

(11) 
1-0020204

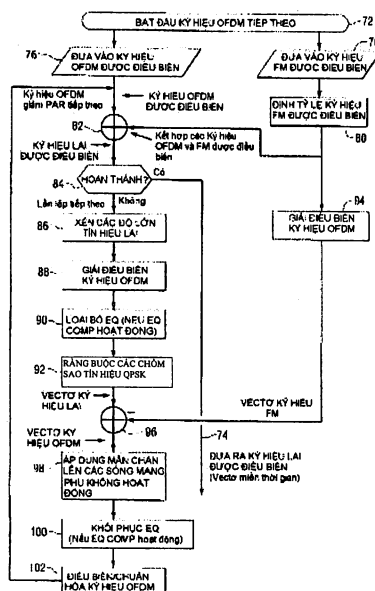
(51)⁷ H04L 27/26

(13) B

- (21) 1-2013-02331 (22) 19.01.2012
(86) PCT/US2012/021855 19.01.2012 (87) WO2012/102935 02.08.2012
(30) 13/012,847 25.01.2011 US
(45) 25.12.2018 369 (43) 25.04.2014 313
(73) iBiquity Digital Corporation (US)
6711 Columbia Gateway Drive, Suite 500, Columbia, Maryland 21046, United States of America
(72) Brian W. KROEGER (US)
(74) Công ty TNHH Tâm nhìn và Liên danh (VISION & ASSOCIATES CO.LTD.)

(54) PHƯƠNG PHÁP VÀ BỘ TRUYỀN GIẢM TỶ SỐ CÔNG SUẤT ĐỈNH TRÊN CÔNG SUẤT TRUNG BÌNH TRONG TÍN HIỆU ĐƯỢC ĐIỀU BIẾN PHÂN CHIA TẦN SỐ TRỰC GIAO

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp giảm tỷ số công suất đỉnh trên công suất trung bình trong tín hiệu OFDM bao gồm các bước: (a) điều biến tập hợp các sóng mang phụ để tạo ra vectơ ký hiệu OFDM được điều biến; (b) điều biến tín hiệu sóng mang FM để tạo ra ký hiệu FM được điều biến; (c) kết hợp ký hiệu OFDM được điều biến và ký hiệu FM được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến; (d) giới hạn độ lớn của ký hiệu lai được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến giới hạn thứ nhất; (e) giải điều biến ký hiệu lai được điều biến giới hạn thứ nhất để khôi phục các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo; (f) ràng buộc các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo; (g) giải điều biến ký hiệu lai được điều biến để tạo ra vectơ ký hiệu lai được giải điều biến; (h) lấy vectơ ký hiệu lai trừ đi vectơ ký hiệu FM được giải điều biến để tạo ra vectơ ký hiệu OFDM biến đổi; (i) áp dụng màn chắn cho các sóng mang phụ không hoạt động trong nhiều sóng mang phụ của vectơ ký hiệu OFDM; (j) điều biến vectơ ký hiệu OFDM nhờ điều biến OFDM để tạo ra ký hiệu OFDM được điều biến biến đổi; (k) kết hợp ký hiệu OFDM được điều biến và ký hiệu FM được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến; và (l) đưa ra ký hiệu lai được điều biến biến đổi.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến việc xử lý tín hiệu các tín hiệu tần số radio và cụ thể hơn là đến việc xử lý tín hiệu để giảm tỷ số công suất đỉnh trên công suất trung bình (peak to average power ratio - PAR) trong các tín hiệu tần số radio được điều biến phân chia tần số trực giao (orthogonal frequency division modulated - OFDM).

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Phát rộng số HD Radio™ là môi trường cung cấp âm thanh chất lượng số, tốt hơn so với các định dạng phát rộng tương tự hiện hành. Cả tín hiệu radio HD AM lẫn FM có thể được truyền theo định dạng lai, trong đó tín hiệu được điều biến dạng số cùng tồn tại với tín hiệu AM hoặc FM tương tự phát rộng hiện hành hoặc theo định dạng hoàn toàn là số mà không có tín hiệu tương tự. Các hệ thống radio HD theo kênh trong dải (in - band - on - channel - IBOC) không yêu cầu cấp phát phổ mới vì mỗi tín hiệu radio HD được truyền đồng thời trong cùng màn chắn phổ để cấp phát kênh AM hoặc FM hiện hành. Việc phát rộng radio HD IBOC thúc đẩy tính kinh tế của phổ trong khi cho phép các đài phát rộng cung cấp âm thanh chất lượng số cho các người nghe hiện tại của họ. Hệ thống phát rộng dạng số radio HD được mô tả trong patent Mỹ số 6549544, nội dung của patent này được đưa vào bản mô tả này bằng cách viện dẫn.

Hệ thống phát rộng radio HD FM sử dụng tập hợp các sóng mang phụ được dồn kênh phân chia tần số trực giao (orthogonal frequency division multiplexed - OFDM) để truyền tín hiệu số. Điều biến OFDM là kỹ thuật đã biết, kỹ thuật này điều biến vector gồm các ký hiệu thông tin song song với nhiều sóng mang phụ được điều biến ở các tần số cách đều khác nhau, chúng trực giao với nhau. Điều này đảm bảo là các sóng mang phụ khác nhau không gây nhiễu với nhau dưới các điều kiện kênh bình thường. Điều biến OFDM đã chứng minh là cách thức hiệu quả để truyền qua các kênh chịu các loại méo đa đường và tuyến tính khác nhau.

Nhược điểm đã biết của OFDM là PAR tương đối cao của nó. Đối với số sóng mang phụ lớn, mỗi kích thước phức (pha vuông góc và cùng pha) của tín hiệu OFDM được tính theo phân bố Gaussian. Điều này dẫn đến hàm mật độ xác suất (Probability Density Function - PDF) của độ lớn tín hiệu (căn bậc hai của công suất) mà tiếp cận phân bố Rayleigh. Mặc dù phân bố Rayleigh có các đỉnh vô cực về lý thuyết, nhưng đỉnh OFDM bị giới hạn bởi số sóng mang phụ song song (ví dụ 100 hoặc 20 dB) hoặc thực tế hơn là đỉnh đặc trưng có thể bị giới hạn ở khoảng 12 dB do có méo nhỏ trong khi xén các đuôi không chắc có thực (ví dụ, trên PAR 12 dB) của PDF Rayleigh. Hiệu suất năng lượng của bộ khuếch đại công suất cao (high power amplifier - HPA) bị ảnh hưởng do cần dự phòng năng lượng lớn khi hoạt động để giảm tới mức tối thiểu sự méo đỉnh. Sự méo đỉnh này không chỉ làm méo (nghĩa là, thêm nhiễu âm vào) quá trình điều biến sóng mang phụ, mà còn làm xuất hiện sự phát ngoài dải không mong muốn do méo biến điệu. Sự rò rỉ này, trở nên cao nhất ngay ngoài độ chiếm phổ chủ đích, đặc biệt khó có thể khử bằng các bộ lọc sau đầu ra của HPA.

Một số loại kỹ thuật giảm PAR khác nhau được đề xuất. Một loại kỹ thuật giảm tỷ số công suất đỉnh trên công suất trung bình được mô tả trong patent Mỹ số 7542517, được cấp ngày 2/6/2009, và có tên là “Peak - To - Average Power Reduction For FM OFDM Transmission”, nội dung của patent này được đưa vào bản mô tả này bằng cách viện dẫn.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Theo khía cạnh thứ nhất, sáng chế đề xuất phương pháp giảm tỷ số công suất đỉnh trên công suất trung bình trong các tín hiệu tần số radio được điều biến phân chia tần số trực giao bao gồm các bước: (a) điều biến tập hợp các sóng mang phụ với tập hợp dữ liệu để tạo ra vector ký hiệu OFDM được điều biến; (b) điều biến tín hiệu sóng mang FM với tập hợp dữ liệu để tạo ra ký hiệu FM được điều biến; (c) kết hợp ký hiệu OFDM được điều biến và ký hiệu FM được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến; (d) giới hạn độ lớn của ký hiệu lai được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến giới hạn thứ nhất; (e) giải điều biến ký hiệu lai được điều biến giới hạn thứ nhất để khôi phục các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo; (f) ràng buộc các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo ở các giá trị lớn hơn hoặc bằng giá trị ngưỡng nhỏ nhất để tạo ra các chòm sao tín hiệu QPSK ràng buộc; (g) giải điều biến ký hiệu lai được điều biến để tạo ra vector ký hiệu lai được giải điều biến; (h) lấy vector ký hiệu lai trừ đi vector ký hiệu FM được giải điều biến để tạo ra vector ký

hiệu OFDM biến đổi; (i) áp dụng màn chắn cho các sóng mang phụ không hoạt động trong số nhiều sóng mang phụ của vector ký hiệu OFDM; (j) điều biến vector ký hiệu OFDM nhờ điều biến OFDM để tạo ra ký hiệu OFDM được điều biến biến đổi; (k) kết hợp ký hiệu OFDM được điều biến và ký hiệu FM được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến; và (l) đưa ra ký hiệu lai được điều biến biến đổi.

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất bộ truyền giảm tỷ số công suất đỉnh trên công suất trung bình trong tín hiệu OFDM. Bộ truyền bao gồm bộ điều biến để điều biến tập hợp các sóng mang phụ với tập hợp vector ký hiệu dữ liệu để tạo ra tín hiệu được điều biến thứ nhất; hệ mạch xử lý để kết hợp ký hiệu OFDM được điều biến và ký hiệu FM được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến, giới hạn độ lớn của ký hiệu lai được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến giới hạn thứ nhất, giải điều biến ký hiệu lai được điều biến giới hạn thứ nhất để khôi phục các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo, ràng buộc các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo ở các giá trị lớn hơn hoặc bằng giá trị ngưỡng nhỏ nhất để tạo ra các chòm sao tín hiệu QPSK ràng buộc, giải điều biến ký hiệu lai được điều biến để tạo ra vector ký hiệu lai được giải điều biến, lấy vector ký hiệu lai trừ đi vector ký hiệu FM được giải điều biến để tạo ra vector ký hiệu OFDM, áp dụng màn chắn cho các sóng mang phụ không hoạt động trong vector ký hiệu OFDM, điều biến vector ký hiệu OFDM để tạo ra ký hiệu OFDM được điều biến, kết hợp vector ký hiệu OFDM được điều biến biến đổi với ký hiệu FM được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến biến đổi và đưa ra ký hiệu lai được điều biến biến đổi; và bộ khuếch đại để khuếch đại ký hiệu lai được điều biến biến đổi.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là sơ đồ biểu diễn màn chắn phổ và tín hiệu lý tưởng chế độ lai FM radio HD.

Fig.2 là sơ đồ biểu diễn màn chắn phổ và tín hiệu lý tưởng chế độ hoàn toàn là số FM radio HD.

Fig.3 là sơ đồ khối chức năng đơn giản của hệ thống truyền bao gồm thuật toán giảm PAR.

Fig.4 là lưu đồ mức cao của thuật toán giảm PAR.

Fig.5 là lưu đồ của khối lặp thuật toán giảm PAR.

Fig.6 là đồ thị thể hiện hàm phi tuyến xén độ lớn.

Fig.7 là đồ thị thể hiện độ méo răng buộc trong các chòm sao tín hiệu QPSK sau thuật toán giảm PAR.

Fig.8 là đồ thị phổ của tín hiệu được điều biến sau thuật toán giảm PAR.

Fig.9 là sơ đồ khối chức năng đơn giản của hệ thống truyền bao gồm thuật toán giảm PAR.

Mô tả chi tiết sáng chế

Theo một khía cạnh, sáng chế đề cập đến phương pháp xử lý tín hiệu nhằm giảm tỷ số công suất đỉnh trên công suất trung bình (peak to average power ratio - PAR) trong các tín hiệu tần số radio được điều biến OFDM. Phương pháp này đưa ra hiệu suất cải thiện để giảm PAR trong khi kiểm soát được sự phát ngoài dải không mong muốn. Phương pháp này cũng có thể bao gồm bước san bằng kênh trong thuật toán giảm PAR để bù cho các ảnh hưởng của méo dạng bộ lọc tuyến tính gây ra bởi mạng đầu ra bộ khuếch đại công suất cao (high power amplifier - HPA), cũng như việc bù một phần cho việc nén tín hiệu phi tuyến và chuyển đổi điều biến biên độ/điều biến pha (amplitude modulation/phase modulation - AM/PM) dưới các đỉnh của tín hiệu được giảm PAR. Phương pháp này có thể đưa ra phương án hiệu quả để giảm PAR của các tín hiệu điện tử sử dụng OFDM, như các hệ thống radio HD FM.

Fig.1 là sơ đồ biểu diễn sự cấp phát tần số và mật độ phổ công suất tương đối của các thành phần tín hiệu cho tín hiệu radio HD IBOC FM lai 10. Định dạng lai bao gồm tín hiệu tương tự âm thanh nổi FM thông thường 12 có mật độ phổ công suất được biểu diễn bởi dạng hình tam giác 14 được đặt trong phần dải tần trung tâm 16 của kênh. Mật độ phổ công suất (Power Spectral Density - PSD) của tín hiệu FM phát rộng tương tự thông thường gần như hình tam giác có độ dốc khoảng -0,35 dB/kHz từ tần số giữa. Nhiều sóng mang phụ cách đều được điều biến dạng số được đặt trên mỗi bên của tín hiệu tương tự FM, trong dải biên trên 18 và dải biên dưới 20 và được truyền cùng lúc với tín hiệu tương tự FM. Tất cả các sóng mang phụ được truyền ở mức công suất nằm trong màn chắn kênh 22 theo ủy ban truyền thông liên bang Mỹ (United States Federal Communications Commission - FCC). Trục tung trên Fig.1 thể hiện mật độ phổ công suất đỉnh tương phản với đặc tính mật độ phổ công suất trung bình thông thường hơn.

Theo định dạng điều biến radio HD lai FM, tín hiệu số được truyền trên các sóng mang phụ OFDM được đặt trên mỗi bên của phổ tương tự. Một nhóm gồm các sóng mang phụ cách đều được dồn kênh phân chia tần số trực giao (orthogonal frequency division multiplexed - OFDM) được đặt trên mỗi phía của tín hiệu tương tự FM chủ chiếm phổ trong khoảng từ 129 kHz đến 199 kHz cách khỏi tần số giữa FM chủ như được minh họa bởi dải biên trên và dải biên dưới trên Fig.1. Trong ví dụ về hệ thống lai này, tổng công suất tín hiệu số trong các sóng mang phụ được điều biến OFDM trong mỗi dải biên được thiết đặt ở khoảng -23 dBc (so với công suất FM tương tự chủ của nó). Tuy nhiên, các sửa đổi quy tắc FCC gần đây cho phép công suất của mỗi dải biên nằm trong khoảng từ -23 dBc đến -13 dBc. Công suất trên mỗi dải biên có thể được điều chỉnh độc lập để điều tiết các điều kiện nhiễu cho vùng phủ sóng của trạm. Một tín hiệu chế độ lai cụ thể bao gồm 191 sóng mang phụ trên và 191 sóng mang phụ dưới phổ FM chủ về tần số. Mỗi sóng mang phụ được điều biến QPSK ở lưu lượng ký hiệu là 344,53125 Hz. Các dạng xung pha vuông góc và cùng pha hàm cosin lũy thừa căn bậc hai được cắt vát (thời gian dư = 7/128) ở các sườn để triệt tiêu các búp bên của phổ. Dạng xung này dẫn đến khoảng cách tần số sóng mang phụ trực giao là 363,3728 Hz.

Phần được điều biến dạng số của tín hiệu lai là tập hợp con của tín hiệu hoàn toàn là số mà sẽ được truyền theo định dạng radio HD FM hoàn toàn là số. Việc sắp đặt phổ và các mức mật độ công suất tín hiệu tương đối của các sóng mang phụ dạng số OFDM theo định dạng radio HD FM hoàn toàn là số, được minh họa bởi số chỉ dẫn 24, được thể hiện trên Fig.2. Tín hiệu tương tự FM trên Fig.1 được thay thế bởi các nhóm bổ sung gồm các sóng mang phụ OFDM, được gọi là tín hiệu hoàn toàn là số mở rộng 26, được đặt trong dải tần trung tâm 28. Một lần nữa, các sóng mang phụ OFDM cách đều được định vị trong dải biên trên 30 và dải biên dưới 32. Các dải biên có định dạng hoàn toàn là số trên Fig.2 rộng hơn các dải biên trên Fig.1. Ngoài ra, mức mật độ phổ công suất của các dải biên tín hiệu ngoài hoàn toàn là số được thiết đặt ở khoảng 10 dB cao hơn mức cho phép trong các dải biên IBOC lai. Điều này tạo ra tín hiệu hoàn toàn là số có ưu điểm đáng kể về hiệu suất. Ngoài ra, mật độ phổ công suất của tín hiệu thứ cấp hoàn toàn là số trong phần giữa của phổ thấp hơn khoảng 15 dB so với mật độ của các dải biên lai. Điều này giảm tới mức tối thiểu các vấn đề gây nhiễu bất kỳ đối với các tín hiệu hoàn toàn là số hoặc tín hiệu lai liền kề trong khi tạo ra năng suất bổ sung cho các dịch vụ số khác.

Chế độ hoàn toàn là số trên Fig.2 là mở rộng logic của chế độ lai, trong đó tín hiệu tương tự, trước đây đã chiếm vùng trung tâm ± 100 kHz, được thay thế bởi các sóng mang phụ dạng số mức thấp. Hai dải biên dạng số khác với chế độ lai bằng cách tăng băng thông tới khoảng 100 kHz và tăng công suất khoảng 10 dB được đặt trên mỗi bên của các sóng mang phụ mức thấp. Hệ thống hoàn toàn là số bao gồm 267 sóng mang phụ trong mỗi dải biên và 559 sóng mang phụ ở giữa. Mỗi sóng mang phụ dạng số được điều biến QPSK. Các dạng xung pha vuông góc và cùng pha hàm cosin lũy thừa căn bậc hai được cắt vát (thời gian dư = $7/128$) ở các sườn để triệt tiêu các búp bên của phổ. Dạng xung này dẫn đến khoảng cách tần số sóng mang phụ trực giao là 363,3728 Hz. Các đồ thị mật độ phổ công suất cho tín hiệu được truyền sẽ nằm trong màn chắn IBOC FM hoàn toàn là số.

Fig.3 là sơ đồ khối chức năng đơn giản của hệ thống truyền bao gồm thuật toán giảm PAR được chèn vào giữa bộ điều biến OFDM và HPA. Bộ truyền 40 bao gồm bộ tạo ký hiệu 42 tạo ra các vectơ dữ liệu ký hiệu OFDM bao gồm nhóm các ký hiệu dữ liệu điều chế pha trực giao (Quadrature Phase Shift Keying - QPSK) chứa thông tin cần được truyền trên mỗi sóng mang phụ hoạt động. Các ký hiệu này được đưa qua bộ điều biến 44, trong đó mỗi vectơ dữ liệu ký hiệu OFDM được điều biến để tạo ra các mẫu tín hiệu miền thời gian dạng số (được chuẩn hóa). Việc điều biến này bao gồm đưa các ký hiệu dữ liệu qua biến đổi Fourier nhanh ngược (Inverse Fast Fourier Transform - IFFT) để thực hiện sự điều biến OFDM. Tiền tố chu kỳ, cùng với cửa sổ hàm cosin lũy thừa căn bậc hai, được áp dụng với tín hiệu được điều biến (thời gian dư = $7/128$). Việc kết hợp IFFT và hoạt động cửa sổ sau đây được gọi là bộ điều biến OFDM. Đầu ra được điều biến của bộ điều biến OFDM được đưa ra làm đầu vào thuật toán giảm PAR 46. Đầu ra 48 của khối này được khuếch đại bởi bộ khuếch đại công suất cao 50 và tạo ra tín hiệu cần được truyền có PAR giảm ở ăngten 52.

Lưu đồ mức cao của các bước thuật toán giảm PAR chính được biểu diễn trên Fig.4. Lưu đồ này bắt đầu ở khối 60 và thể hiện thao tác nhập vectơ ký hiệu OFDM, cho đến đưa ra các mẫu tín hiệu miền thời gian được giảm PAR và được điều biến cho mỗi ký hiệu OFDM. Khối vectơ ký hiệu OFDM đầu vào 62 thể hiện rằng đầu vào là vectơ dữ liệu bao gồm các cặp bit cho mỗi sóng mang phụ QPSK hoạt động cho ký hiệu OFDM. Điều này có thể được thấy như biểu diễn miền tần số cho mỗi ngăn (sóng mang phụ) FFT trước khi điều biến OFDM, trong đó FFT chuyển đổi khối tín hiệu miền thời gian phức thành

các ngăn thành phần tần số phức được đặt cách đều qua băng thông tỷ lệ mẫu. Mỗi ngăn hoạt động được biểu diễn bởi số nhị phân phức để điều biến QPSK trên ngăn (sóng mang phụ) đó. Các ngăn hoạt động có các mức tín hiệu được giảm có chủ ý có thể được định tỷ lệ với các tập hợp mức nhị phân khác. Các ngăn không hoạt động ban đầu được thiết đặt là không.

Khối bù san bằng kênh 64 thể hiện bước bù san bằng kênh tùy chọn. Khi méo tuyến tính (lọc) là hệ số quan trọng ở mạng đầu ra (đầu ra HPA) của bộ truyền, thì việc bù san bằng kênh có thể được sử dụng để hiệu chỉnh trước việc nhập HPA. Việc bù san bằng kênh sử dụng vector (cùng kích thước như vector đầu vào) chứa nghịch đảo của độ tăng thêm đầu ra phức (méo tuyến tính) cho mỗi sóng mang phụ. Độ tăng thêm phức kết hợp với mỗi ngăn là số phức mà, thực tế, nhân với (làm méo) mẫu tần số phức ban đầu (ngăn). Mỗi thành phần của vector đầu vào được nhân với mỗi thành phần tương ứng của vector san bằng kênh để tạo ra vector dữ liệu ký hiệu đầu vào được san bằng kênh.

Bộ san bằng kênh tuyến tính có thể được đặt trước HPA để bù cho các ảnh hưởng này. Tuy nhiên, trong hệ thống truyền sử dụng thuật toán giảm PAR, việc bù này sẽ dẫn đến sự phát triển lại của đỉnh tín hiệu. Sự phát triển lại của đỉnh này diễn ra vì các pha và biên độ của tín hiệu được thay đổi nhỏ trong thuật toán PAR để xóa bỏ hiệu quả ở các đỉnh. Việc san bằng kênh áp dụng ngoài thuật toán PAR sẽ thay đổi các mối tương quan pha và biên độ tại đó các đỉnh sẽ không xóa bỏ theo cùng một cách. Việc đặt san bằng kênh trước thuật toán PAR được mô tả ở trên cũng không hiệu quả do thuật toán PAR sẽ hủy tác dụng san bằng kênh. Tuy nhiên, sự thay đổi đối với thuật toán PAR để bao gồm việc san bằng kênh có thể có hiệu quả và được mô tả tiếp theo đây.

Việc bù san bằng kênh sử dụng vector (cùng kích thước như vector đầu vào ký hiệu OFDM) chứa nghịch đảo của các giá trị tăng thêm đầu ra phức (méo tuyến tính) cho mỗi sóng mang phụ (hoạt động hoặc không hoạt động). Mỗi một trong số các thành phần của vector đầu vào được nhân với mỗi một trong số các thành phần tương ứng của vector san bằng kênh để tạo ra vector dữ liệu ký hiệu OFDM đầu vào được san bằng kênh. Cả quá trình điều biến lẫn giải điều biến được sử dụng trong quy trình giảm PAR của khối 68 trên Fig.3, quy trình này được mô tả tiếp trên Fig.5. Các bước điều biến và giải điều biến OFDM trong thuật toán trên giữ nguyên không đổi, mặc dù các mẫu miền thời gian ký hiệu OFDM tạo thành có khác nhau một chút do việc san bằng kênh. Việc san bằng kênh

trong thuật toán giảm PAR được loại bỏ hoặc phục hồi ở một số bước trong thuật toán sao cho các ràng buộc QPSK đặt lên các vector ký hiệu OFDM không hủy tác dụng san bằng kênh. Các ví dụ của các thuật toán loại bỏ và bù san bằng kênh là:

BÙ SAN BẰNG KÊNH

$OFDM_symbol_vector$ = đưa vào vector ký hiệu OFDM tiếp theo
(nghĩa là 2048 thành phần phức)

$$EQ_OFDM_symbol_vector = \begin{bmatrix} EQ_0 & & & 0 \\ & EQ_1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & EQ_{2047} \end{bmatrix} \cdot OFDM_symbol_vector$$

LOẠI BỎ BÙ SAN BẰNG KÊNH

$EQ_OFDM_symbol_vector$ = đưa vào vector ký hiệu OFDM tiếp theo
(nghĩa là 2048 thành phần phức)

$$OFDM_symbol_vector = \begin{bmatrix} 1/EQ_0 & & & 0 \\ & 1/EQ_1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & 1/EQ_{2047} \end{bmatrix} \cdot EQ_OFDM_symbol_vector$$

Khối ký hiệu OFDM điều biến 66 thể hiện rằng vector dữ liệu ký hiệu đầu vào được chuyển đổi thành tín hiệu miền thời gian cho mỗi ký hiệu OFDM. Phép biến đổi này được thực hiện qua biến đổi Fourier nhanh phức ngược (Inverse Complex Fast Fourier Transform - IFFT), và sau đó tiền tố chu kỳ với thời gian bảo vệ định trước được nối vào cuối của vector đầu ra trước khi vát các đầu của ký hiệu có dạng xung căn - Nyquist. Thời gian bảo vệ, mở rộng tiền tố chu kỳ và việc tạo cửa sổ này được sử dụng để cải thiện hiệu suất của tín hiệu khi có mặt nhiễu đa đường, cũng như để triệt tiêu các búp bên tần số của các sóng mang phụ dẫn đến sự phát ngoài dải giảm đi.

Khối lặp thuật toán giảm PAR 68 biểu diễn các thuật toán được sử dụng để giảm PAR của ký hiệu OFDM được điều biến. Khối ký hiệu OFDM đầu ra 70 đưa ra các mẫu miền thời gian của tín hiệu OFDM được giảm PAR. Sau đó quy trình tiếp tục với các ký hiệu OFDM tiếp theo.

Khối lặp thuật toán giảm PAR 68 biểu diễn thuật toán được sử dụng khi giảm PAR của ký hiệu OFDM được điều biến. Các chi tiết của các thuật toán này được minh họa trên

lưu đồ trên Fig.5. Đầu vào lưu đồ này là chuỗi các ký hiệu OFDM được điều biến, trong khi đầu ra là phiên bản được giảm PAR của các ký hiệu này. Thuật toán lặp này giảm PAR của ký hiệu trong khi ràng buộc méo miền tần số (vector ký hiệu) và sự phát ngoài dải đến các mức chấp nhận được. Sau một số lần lặp, thuật toán hội tụ về PAR gây tổn hại ở mức chấp nhận được trong khi ràng buộc méo ở các mức chấp nhận được.

Trong quy trình được minh họa trên Fig.5, có tổng cộng 6 loại vector ký hiệu. Chúng là cả các vector ký hiệu miền tần số và miền thời gian cho mỗi ký hiệu OFDM, ký hiệu FM, và ký hiệu lai (nghĩa là, OFDM và FM kết hợp). Theo đó sau đây là gợi ý để đổi tên chúng như sau. Trong phần mô tả sau, từ “vector” được sử dụng để chỉ miền tần số, và các từ “ký tự được điều biến” được sử dụng cho miền thời gian.

Cụ thể, các lượng ký hiệu miền tần số và thời gian là: vector ký hiệu OFDM (miền tần số); ký hiệu OFDM được điều biến (miền thời gian); vector ký hiệu FM (miền tần số); ký hiệu FM được điều biến (miền thời gian); vector ký hiệu lai (miền tần số); và ký hiệu lai được điều biến (miền thời gian).

Theo một khía cạnh, sáng chế đề xuất phương pháp và thiết bị sử dụng thuật toán giảm PAR lai để điều tiết tín hiệu tương tự FM trong hệ thống radio IBOC lai. Lưu đồ trên Fig.5 bắt đầu ở khối 72 với tín hiệu IBOC lai bao gồm nhiều ký hiệu. Lưu ý rằng, hai đường dẫn bắt đầu ở đây, một đường cho các mẫu miền thời gian ký hiệu OFDM được điều biến, và đường kia cho các mẫu ký hiệu FM được điều biến tương ứng. Các ký hiệu này thường bao gồm 2160 mẫu miền thời gian phức mỗi ký hiệu. Thuật toán này xử lý một chu kỳ mẫu một lúc. Ký hiệu tiếp theo yêu cầu lần thực hiện khác của thuật toán này và v.v..

Ký hiệu OFDM được điều biến tiếp theo là cả đầu vào lẫn đầu ra của khối 76. Nó đơn giản thể hiện rằng thuật toán đang xử lý ký hiệu OFDM được điều biến tiếp theo. Nếu ký hiệu OFDM được điều biến không có sẵn trực tiếp trong miền thời gian, thì ký hiệu OFDM được điều biến có thể được suy ra từ vector ký hiệu OFDM miền tần số (xem khối 62 trên Fig.4) qua IFFT nhờ điều biến OFDM, như được mô tả trước. Vector ký hiệu OFDM có thể được thấy là biểu diễn miền tần số cho mỗi ngăn FFT (sóng mang phụ) trước khi điều biến OFDM, bao gồm các giá trị QPSK cùng pha và vuông góc cho các

sóng mang phụ hoạt động, cũng như một số giá trị “nhiều âm (noise)” trong các sóng mang phụ không hoạt động.

Ký hiệu FM tiếp theo được điều biến của khối 78 là vector của các mẫu tín hiệu miền thời gian FM tương tự, tương ứng về thời gian với các mẫu ký hiệu OFDM được điều biến. Ký hiệu FM được điều biến của khối 78 được định tỷ lệ về biên độ trong khối 80 để tạo ra tỷ lệ thích hợp của các tín hiệu tương tự và dạng số. Khối 94 giải điều biến ký hiệu FM được điều biến bằng cách sử dụng cùng quá trình giải điều biến như được áp dụng cho các ký hiệu OFDM. Đầu ra giải điều biến là vector ký hiệu FM miền tần số. Việc này được thực hiện để cho phép lấy vector ký hiệu lai được xử lý trừ đi miền tần số sau đối với vector ký hiệu FM.

Ký hiệu OFDM được điều biến và ký hiệu FM được điều biến được kết hợp trong khối 82 để tạo ra ký hiệu lai được điều biến.

Khối 84 xác định nếu lần lặp cuối của thuật toán giảm PAR được hoàn thành, và tiếp tục một lần lặp khác hoặc đưa ra ký hiệu lai được điều biến. Điều kiện “HOÀN THÀNH” có thể được xác định đơn giản bằng cách đếm số lần lặp cố định, mặc dù có thể sử dụng một số số đo khác như PAR thực tế cho lần lặp này. Hầu hết quá trình giảm PAR có khả năng xảy ra được hoàn thành trong 8 lần lặp.

Vector ký hiệu FM được điều biến được định tỷ lệ như được thể hiện trong khối 80 và được kết hợp với vector ký hiệu OFDM được điều biến trong điểm tổng 82. Thuật toán xử lý các mẫu của tín hiệu tương tự FM mà mở rộng mỗi ký hiệu dạng số. Theo một ví dụ, chúng là cả các vector gồm 2160 mẫu phức cho mỗi ký hiệu ở tỷ lệ mẫu 744187,5 Hz. Nhằm các mục đích trong phần mô tả này, các ký hiệu được đưa ra từ điểm tổng 82 được gọi là các ký hiệu lai được điều biến.

Kiểm tra được thực hiện trong khối 84 để xác định nếu thuật toán giảm PAR được hoàn thành. Nếu vậy, ký hiệu lai được điều biến được đưa ra trên dòng 74. Nếu không, một lần lặp của thuật toán được thực hiện.

Các độ lớn ký hiệu lai được điều biến được xén như được thể hiện trong khối 86. Khối các độ lớn tín hiệu xén 86 biểu diễn chức năng xén (giới hạn) độ lớn của các mẫu ký hiệu OFDM miền thời gian phức (của ký hiệu lai được điều biến) thành giá trị định trước. Pha của mỗi mẫu được bảo toàn. Việc giảm tỷ số công suất đỉnh trên công suất trung bình

được hoàn thành qua việc xén đỉnh lặp lại và xử lý tín hiệu khác để sửa các ảnh hưởng méo và sự phát phổ không mong muốn. Quy trình sửa lặp lại khôi phục một phần đỉnh, nhưng đỉnh giảm dần với mỗi lần lặp. Mức xén “tối ưu” cho tín hiệu IBOC hoàn toàn là số được thiết đặt theo kinh nghiệm ở 1,5 lần (hoặc 3,52 dB) điện áp mức đường bao trung bình. Mức “tối ưu” này đề xuất quá trình giảm đỉnh tốt nhất qua việc mở rộng các lần lặp trong khi các sản phẩm phụ không mong muốn đang được sửa ở mỗi lần lặp thỏa mãn tính toàn vẹn của tín hiệu và các yêu cầu phát ngoài dải.

Để thuận tiện, giá trị RMS danh định của các mẫu tín hiệu miền thời gian OFDM phức đầu vào được định tỷ lệ là một. Các mẫu có các độ lớn nhỏ hơn 1,5 không bị ảnh hưởng; tuy nhiên, các mẫu độ lớn nhỏ hơn 1,5 được thiết đặt là 1,5 trong khi bảo toàn pha của mẫu đầu vào. Việc phát hiện các mẫu trên mức xén có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các mẫu bình phương độ lớn để giảm tới mức tối thiểu sự tính toán căn bậc hai. Thuật toán sau đây có thể được sử dụng như một ví dụ:

$s_n = \text{Re}\{s_n\} + j \cdot \text{Im}\{s_n\}$	; đưa vào mẫu tín hiệu phức tiếp theo
$\text{magsq}_n = \text{Re}\{s_n\}^2 + \text{Im}\{s_n\}^2$	; tính toán bình phương độ lớn
nếu $(\text{magsq}_n > 2,25)$ thì để $s_n = 1,5 \cdot \frac{s_n}{\sqrt{\text{magsq}_n}}$; xén nếu độ lớn $> 1,5$ (tương đương)	

trong đó s_n là KÝ HIỆU LAI ĐƯỢC ĐIỀU BIẾN phức cần được xén, và magsq_n là bình phương độ lớn. Bước cuối của thuật toán thay thế s_n bằng phiên bản được xén độ lớn của s_n có cùng pha.

Mặc dù cả chức năng giới hạn mềm và cứng có thể được sử dụng để xén, nhưng chức năng giới hạn cứng được minh họa trên đồ thị trên Fig.6 được thể hiện rằng đơn giản và hiệu quả cho ví dụ này. Nếu tín hiệu miền thời gian được giảm PAR cuối cùng được áp dụng với HPA vẫn được dự tính trải qua một số lần nén ở các đỉnh được giảm này, thì quá trình xén mềm hoặc tạo mẫu nén cho HPA phải nằm trong quy trình xén này. Nhờ việc bao gồm quá trình nén HPA bổ sung, các lần lặp PAR sẽ làm giảm các ảnh hưởng của méo này.

Mức xén cho tín hiệu lai tùy thuộc vào các mức tương đối của các thành phần dạng số và tương tự. Do tín hiệu tương tự FM có PAR bằng 1 (hoặc 0 dB), nên mức xén của tín hiệu chỉ tương tự sẽ là một; theo đó, sẽ không cần xén. Mức xén cho tín hiệu lai tùy thuộc

vào các mức tương đối của các thành phần dạng số và tương tự. Mong muốn là thiết đặt mức xén này dựa trên tỷ lệ tương tự - dạng số tùy ý.

Thuật toán chuẩn hóa phần dạng số của tín hiệu thành công suất đơn nhất (bình phương điện áp), sau đó thêm tín hiệu tương tự FM ở mức tương đối mong muốn. Tín hiệu tương tự được giả thiết là số mũ phức dải cơ sở với công suất đơn nhất (độ lớn =1), nó được định tỷ lệ bởi biến $scale_{fm}$ để thu được tỷ lệ tương tự với dạng số mong muốn. Theo trực giác, biểu thức thiết đặt mức xén phải tiệm cận tiến tới 1,5 khi tín hiệu tương tự trở nên rất nhỏ so với thành phần dạng số. Tương tự, mức xén phải tiệm cận tiến tới $scale_{fm}$ khi tín hiệu số trở nên rất nhỏ so với tương tự.

$$\lim_{scale_{fm} \rightarrow 0} clip = 1,5 \quad ; \quad \text{và} \quad \lim_{scale_{fm} \rightarrow \infty} clip = scale_{fm}$$

Biểu thức đơn giản nhất thỏa mãn tiêu chuẩn là

$$clip = 1,5 + scale_{fm}$$

Tuy nhiên, biểu thức này không tạo ra mức xén tốt nhất với các giá trị $scale_{fm}$ trung gian, và có quan tâm đặc biệt trong khoảng chấp thuận FCC của $scale_{fm}$ nằm trong khoảng từ 10 đến 20 dB.

$$3,16 \leq scale_{fm} \leq 10$$

Biểu thức để xén được xác định theo kinh nghiệm để thỏa mãn tiêu chuẩn “tối ưu” là

$$clip = \sqrt{(1,5)^2 + scale_{fm}^2} + 1,25 \cdot scale_{fm}$$

Ngưỡng xén âm cũng được thiết đặt. Một số HPA tín hiệu lai có các tín hiệu điều tiết khó khăn khi đường bao tín hiệu tiến tới không hoặc trở nên nhỏ (dB âm). Vì lý do này, mức xén âm (dB) cũng được thiết đặt. Xén âm giới hạn độ lớn của s_n (âm ở dB) dưới giá trị tín hiệu RMS. Mức này phụ thuộc vào HPA thực tế, và không phải luôn cần thiết. Tuy nhiên, thấy được rằng mức xén âm -3 dB (hoặc độ lớn 0,707) có thể được điều tiết bởi thuật toán giảm PAR mà không gây tổn hại đáng kể với các thông số hiệu suất khác. Do đó, có thể thận trọng khi thiết đặt mức xén độ lớn âm mặc định bằng -3 dB (hoặc độ lớn 0,707), nó có thể được điều chỉnh theo yêu cầu HPA cụ thể bất kỳ.

Ký hiệu OFDM tiếp theo được giải điều biến như được thể hiện trong khối 88. Quy trình giải điều biến trong khối này ngược lại với quy trình ký hiệu OFDM điều biến được mô tả ở trên. Các bước giải điều biến bao gồm việc lấy trọng số và gộp các đầu (tiền tố chu kỳ) của thời gian ký hiệu, sau đó tính toán FFT để tạo ra phiên bản bị méo một chút của vector dữ liệu ký hiệu đầu vào.

Nếu việc bù san bằng kênh miền tần số tùy chọn được thực hiện trong bước trước, thì việc san bằng kênh này phải được loại bỏ tạm thời trong một số bước tiếp theo của thuật toán trong lần lặp này.

Khối loại bỏ san bằng kênh (nếu bù san bằng kênh hoạt động) 90 thể hiện rằng nếu việc bù san bằng kênh miền tần số tùy chọn được thực hiện, thì việc san bằng kênh này phải được loại bỏ tạm thời trong một số bước tiếp theo của thuật toán trong lần lặp này. Veto được sử dụng để loại bỏ việc san bằng kênh tương tự với veto san bằng kênh ban đầu, nhưng tất cả các thành phần là các nghịch đảo của veto san bằng kênh ban đầu.

Khối chòm sao tín hiệu QPSK ràng buộc 92 loại bỏ méo đáng kể được đưa vào bởi quy trình xén tín hiệu trước đó. Méo biến điệu gây ra bởi xén tạo ra nhiễu âm (méo) trong tất cả các ngăn tần số của vector ký hiệu. Chức năng này ràng buộc các thành phần méo ở các mức chấp nhận được. Méo này không thể được loại bỏ hoàn toàn do nó sẽ có ảnh hưởng không mong muốn khi khôi phục các đỉnh trở lại thành tín hiệu miền thời gian. Thay vì đó méo được biến đổi theo cách đó để giảm tới mức tối thiểu sự suy giảm về hiệu suất giải điều biến QPSK, và ngăn chặn sự phát ngoài dải ở mức chấp nhận được dựa trên vector màn chắn phát ngoài dải định trước. Quy trình này dẫn đến sự phát triển lại một phần đỉnh của tín hiệu miền thời gian. Nhiều lần lặp có xu hướng hội tụ để giảm tới mức tối thiểu các đỉnh trong khi ràng buộc các tích điều biến qua lại ở các mức chấp nhận được.

Các chòm sao tín hiệu QPSK của các sóng mang phụ hoạt động được ràng buộc để giảm tới mức tối thiểu sự suy giảm về hiệu suất BER (tỷ lệ lỗi bit). Khi không có nhiễu âm và méo, chòm sao tín hiệu QPSK lý tưởng bao gồm các điểm tập hợp phức (được chuẩn hóa để thuận tiện) ở $(+1,+1)$, $(+1,-1)$, $(-1,+1)$ và $(-1,-1)$ tùy thuộc vào 2 bit mỗi ký hiệu chuyển. QPSK cũng có thể được xem như một cặp các tín hiệu BPSK trực giao, trong đó mỗi thành phần BPSK mang một bit. Thuật toán giảm PAR, đặc biệt là quá trình xén,

thêm nhiễu âm vào các điểm chòm sao tín hiệu. Lỗi bit xuất hiện khi nhiễu âm bổ sung thay đổi tính phân cực của một trong các bit; ví dụ, +1,0 bị sai thành -0,1 (thành phần nhiễu âm bằng -1,1 trong trường hợp này). Kênh thêm nhiễu nhiễu âm hơn vào tín hiệu nhận được và hiệu suất BER là hàm của biên tín hiệu được truyền. Nói cách khác, nếu thành phần tín hiệu được truyền lý tưởng +1,0 bị lỗi bởi thuật toán PAR đưa ra +0,5, thì hệ thống mất 6 dB dung sai cho bit cụ thể đó. Tuy nhiên, các bit khác trong quy trình giảm PAR có thể được tăng cường trên thực tế do một số thành phần méo sẽ tăng giá trị +1,0 (ví dụ, +1,2 hoặc cải thiện 3,5 dB). Kể cả với hiệu chỉnh lỗi tiến (forward error correction - FEC) cải thiện đầu ra BER ở bộ thu, hiệu suất bị suy giảm do các bit mã mà giảm dung sai. Do đó, thuật toán giảm PAR ràng buộc tổn thất về dung sai ở mức chấp nhận được so với 1,0 (ví dụ, 0,85). Nên khi quy trình xén trước đó làm méo thành phần bit thành giá trị nhỏ hơn ngưỡng định trước (ví dụ, +0,85 hoặc $> -0,85$ đối với phân cực âm), thì vector được ràng buộc phù hợp ở ngưỡng (+0,85 hoặc -0,85 đối với phân cực âm). Các bit có độ lớn lớn hơn 0,85 giữ nguyên không đổi. Ràng buộc này có tác dụng giảm tới mức tối thiểu tổn thất dung sai trường hợp xấu nhất đối với bit cụ thể bất kỳ, trong khi làm cho chỉ tín hiệu đỉnh vừa phải phát triển lại trong tín hiệu miền thời gian.

Giá trị thích hợp cho ngưỡng giá trị thỏa hiệp giữa tổn thất của dung sai BER và sự phát triển lại của đỉnh. Ví dụ, nếu ngưỡng được thiết đặt ở 0,95, thì tổn thất dung sai BER còn nhỏ hơn nữa, như sự phát triển lại của đỉnh lại lớn hơn. Các lần lặp liên tiếp của các quy trình xén và ràng buộc tiếp tục giảm PAR trong khi nó thỏa mãn các ràng buộc chòm sao tín hiệu khi nó hội tụ về một số giá trị PAR nhỏ nhất. Một ví dụ về thuật toán ràng buộc QPSK như sau:

RÀNG BƯỚC CHÒM SAO TÍN HIỆU QPSK:

$$QPSK_n = \text{sign}(\text{Re}\{d_n\}) \cdot \max[\text{thres} \cdot |\text{Re}\{d_n\}|, \text{sign}(\text{Re}\{d_n\}) \cdot \text{Re}\{QPSK_n\}] \\ + j \cdot \text{sign}(\text{Im}\{d_n\}) \cdot \max[\text{thres} \cdot |\text{Im}\{d_n\}|, \text{sign}(\text{Im}\{d_n\}) \cdot \text{Im}\{QPSK_n\}]$$

Trong thuật toán trên, d_n là thành phần phức thích hợp của vector dữ liệu ký hiệu OFDM đầu vào trong đó d_n là dữ liệu nhị phân phức (có khả năng được định tỷ lệ) cho ký hiệu QPSK tương ứng. Giá trị $QPSK_n$ phức là phiên bản được giảm PAR của thành phần đó sau các lần lặp xén và ràng buộc. Việc định tỷ lệ của d_n cho phép các sóng mang phụ

hoạt động ở các mức khác nhau được sử dụng trong tùy chọn hoàn toàn là số được đề cập sau đây.

Quy trình ràng buộc các điểm chòm sao tín hiệu QPSK được minh họa trên Fig.7, trong đó ngưỡng trong ví dụ này được thiết đặt ở 0,85 và thêm các điểm cho hàng trăm ký hiệu QPSK. Mặc dù một số bất thực tế trải qua việc tăng dung sai tín hiệu, nhưng tổng tổn thất về hiệu suất BER là rất nhỏ.

Một số hệ thống có thể sử dụng các sóng mang phụ chuẩn để hỗ trợ việc theo dõi tín hiệu phù hợp và đánh giá thông tin trạng thái kênh (channel state information - CSI) cho quá trình giải mã mềm FEC tiếp theo. Mong muốn đối với các sóng mang phụ này là không có méo từ thuật toán giảm PAR. Đối với các sóng mang phụ này, ràng buộc có thể là để hiệu chỉnh các chòm sao tín hiệu QPSK này chính xác thành các giá trị vector dữ liệu ký hiệu OFDM ban đầu. Do số sóng mang phụ chuẩn thường nhỏ so với các sóng mang phụ chứa dữ liệu, nên sự phát triển lại của các đỉnh miền thời gian trong tín hiệu được điều biến là tối thiểu.

Các sóng mang phụ không hoạt động cũng được ràng buộc để triệt tiêu sự phát ngoài dải trong mức màn chắn định trước chấp nhận được. Màn chắn phát ngoài dải là vector có cùng kích thước với vector ký hiệu OFDM, trong đó các sóng mang phụ không hoạt động được kết hợp với độ lớn màn chắn lớn nhất được xác định cho mỗi sóng mang phụ không hoạt động. Các sóng mang phụ không hoạt động cho mỗi vector ký hiệu OFDM được ràng buộc để không vượt quá giá trị độ lớn màn chắn (hoặc bình phương độ lớn cho hiệu suất tính toán). Mỗi sóng mang phụ (ngăn FFT) không bị ảnh hưởng khi giá trị của nó ở dưới màn chắn. Khi ngăn vượt quá màn chắn, độ lớn được ràng buộc ở mức màn chắn trong khi bảo toàn pha của ngăn. Thuật toán sau thu được ràng buộc màn chắn này:

RÀNG BUỘC CÁC SÓNG MANG PHỤ KHÔNG HOẠT ĐỘNG Ở MÀN CHẮN $magsq_n = \text{Re}\{X_n\}^2 + \text{Im}\{X_n\}^2$; trong đó X_n = giá trị ngăn không hoạt động cho vector ký hiệu OFDM nếu $magsq_n > mask_n^2$, thì để $X_n = X_n \cdot \frac{mask_n}{\sqrt{magsq_n}}$ nếu không thì để X_n không đổi

Như được thể hiện trong thuật toán SÓNG MANG PHỤ KHÔNG HOẠT ĐỘNG RÀNG BUỘC ĐỐI VỚI MÀN CHẮN, các sóng mang phụ nhất định không chỉ được ràng buộc nằm dưới màn chắn, mà còn được cho là có các giá trị khác không.

Ký hiệu FM được điều biến được giải điều biến như được thể hiện trong khối 94 và loại bỏ (nghĩa là, được trừ) khỏi chòm sao tín hiệu QPSK được ràng buộc như được thể hiện trong điểm trừ 96. Các khối 88 và 94 thể hiện “KÝ HIỆU OFDM ĐIỀU BIẾN”. Mặc dù khối 94 thực tế đang xử lý KÝ HIỆU FM ĐƯỢC ĐIỀU BIẾN, nó được giải điều biến khi nó là ký hiệu OFDM sao cho các ảnh hưởng của nó có thể được xử lý trong miền tần số trên vectơ ký hiệu OFDM.

Việc thêm (khối 82) ký hiệu FM được điều biến vào ký hiệu OFDM được điều biến và trừ sau (khối 96) của vectơ ký hiệu FM là các thành phần chính của phương pháp này. Trước tiên, việc thêm ký hiệu FM được điều biến cho phép ký hiệu lai được điều biến phức hợp được giảm PAR (được xén). Quá trình giải điều biến OFDM tiếp theo trong khối 88 bao gồm các hiệu ứng nhiễu của ký hiệu FM được điều biến; tuy nhiên, các hiệu ứng nhiễu này được loại bỏ trong khối chòm sao tín hiệu QPSK ràng buộc 82. Do đó, phương pháp này loại bỏ nhiễu tương tự chủ yếu đối với dạng số gây ra bởi băng thông FM mở rộng quá ± 100 kHz. Thứ hai, việc trừ vectơ ký hiệu FM (khối 96) cho phép sự triệt tiêu tiếp theo (áp dụng màn chắn lên khối các sóng mang phụ không hoạt động 98) đối với các tích điều biến qua lại do quá trình xén. Nếu vectơ ký hiệu FM không được loại bỏ, thì thực tế không thể xử lý các tích điều biến qua lại nằm xa phía dưới phổ tín hiệu FM. Do đó, phương pháp này còn giảm nhiễu dạng số đối với FM hoặc méo biến điệu đối với tín hiệu FM do xén.

Các phương pháp trước để điều tiết các sóng mang phụ bên trong trong các chế độ radio HD mở rộng (nghĩa là, MP2, MP3, MP4) gặp vấn đề vì nhiễu tương tự - dạng số FM chủ yếu. Các phương pháp bao gồm bước giảm độ lệch điều biến trên tín hiệu tương tự hoặc có khả năng tăng công suất sóng mang phụ bên trong, cả các tùy chọn không hấp dẫn. Thuật toán giảm PAR lai này tránh được việc cần sử dụng các phương pháp không mong muốn này.

Sau khi tín hiệu OFDM được giải điều biến và được loại bỏ khỏi chòm sao tín hiệu QPSK ràng buộc, màn chắn được áp dụng với các sóng mang phụ không hoạt động trong khối 98, và quá trình san bằng kênh được khôi phục trong khối 100.

Khối san bằng kênh khôi phục (nếu việc bù san bằng kênh hoạt động) 100 thể hiện rằng, nếu việc bù san bằng kênh miền tần số tùy chọn được thực hiện trong bước trước, thì việc san bằng kênh này phải được khôi phục do nó đã bị loại bỏ trong bước trước.

Sau đó ký hiệu OFDM được điều biến và được chuẩn hóa trong khối 102 và được sử dụng cho bước lặp tiếp theo của thuật toán. Khối này chuyển đổi vector dữ liệu ký hiệu đầu vào thành tín hiệu miền thời gian cho mỗi ký hiệu OFDM.

Các bước điều biến và giải điều biến trên Fig.5 có thể được mô tả trong các mô tả thuật toán sau đây.

ĐIỀU BIẾN KÝ HIỆU OFDM
 $OFDM_symbol_vector$ = nhập vào vector ký hiệu OFDM tiếp theo
 $sig = IFFT(OFDM_symbol_vector)$ (nghĩa là, 2048 thành phần phức)
 $sigext = sig + \text{append cyclic extension}$; nối 112 mẫu từ bắt đầu của sig (chiều dài hiện tại 2160)
 $sigout = \begin{bmatrix} w_0 & & & 0 \\ & w_1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & w_{2179} \end{bmatrix} \cdot sigext$; đây là tín hiệu miền thời gian của ký hiệu OFDM trong đó w là cửa sổ hàm cosin lũy thừa căn bậc hai

GIẢI ĐIỀU BIẾN KÝ HIỆU OFDM
 $sigout$ = nhập vào các mẫu thời gian ký hiệu OFDM tiếp theo (nghĩa là, 2160 thành phần phức)
 $sigw = \begin{bmatrix} w_0 & & & 0 \\ & w_1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & w_{2179} \end{bmatrix} \cdot sigout$; đây là tín hiệu miền thời gian của ký hiệu OFDM trong đó w là cửa sổ hàm cosin lũy thừa căn bậc hai
 sig = gập phần mở rộng tiền tố chu kỳ từ đầu của sig bằng cách thêm các mẫu này để bắt đầu
 $OFDM_symbol_vector = FFT(sig)$ sig (2048)

Khối 84 đề xuất phương tiện kết thúc thuật toán lặp trong lần lặp cuối. Lần lặp cuối có thể dựa trên số lần lặp định trước (ví dụ, 4) cho ký hiệu OFDM được giảm PAR. Khi tới lần lặp cuối, vector ký hiệu tín hiệu lai được đưa ra trên dòng 74. Theo cách khác, lần lặp cuối có thể dựa trên điều kiện đạt được giá trị PAR định trước nếu mục tiêu đó đạt

được trước khi tới số lần lặp lớn nhất. Mặc dù điều này có thể làm giảm MIPS yêu cầu để giảm PAR, bộ xử lý tín hiệu sẽ có khả năng thực hiện số lần lặp lớn nhất nếu không đạt được mục tiêu PAR. Do đó việc giảm MIPS thực tế có thể không phải là mục tiêu rất quan trọng nếu bộ xử lý tín hiệu phải giải quyết trường hợp xấu nhất trong sự kiện bất kỳ.

Đồ thị phổ của tín hiệu được điều biến sau thuật toán giảm PAR được thể hiện trên Fig.8. Tín hiệu này là dành cho chế độ lai FM radio HD MP1 sử dụng các sóng mang phụ hoạt động trong dải tần số xấp xỉ từ 129 đến 199 kHz trên mỗi bên của tần số FM giữa. Có 191 sóng mang phụ trên mỗi dải biên (tổng cộng 382) trong đó mọi sóng mang phụ thứ mười chín là sóng mang phụ chuẩn. Phổ tín hiệu tương tự FM được bỏ qua trên đồ thị này trong đó chỉ thể hiện phần dạng số của phổ tín hiệu. Lưu ý rằng, nhiều ngoài các sóng mang phụ hoạt động được ràng buộc dưới màn chắn.

Hiệu quả là, thuật toán sẽ tiếp tục giảm các đỉnh với mỗi lần lặp theo cùng một cách như thuật toán PAR mà không cần san bằng kênh. Tuy nhiên, việc san bằng kênh được giữ qua quy trình giảm PAR. Các kết quả mô phỏng khẳng định rằng hiệu suất giảm PAR có san bằng kênh pha đồng nhất về thống kê với việc thực hiện không cần san bằng kênh. Điều này được dự tính do các méo và các đỉnh được hiệu chỉnh lặp lại và hội tụ theo cùng một cách. Tuy nhiên, việc giảm PAR có san bằng kênh biên độ mạnh có thể bị ảnh hưởng một phần do nó có thể thay đổi công suất hữu hiệu trong đầu ra được san bằng kênh tùy thuộc vào độ mạnh của các ảnh hưởng lọc tiếp theo. Ví dụ, nếu số sóng mang phụ đáng kể giảm đi là 20 dB ở đầu ra HPA, thì theo cách tương xứng quá trình san bằng kênh sẽ cần nhiều năng lượng hơn để bù cho các sóng mang phụ này. Sự ảnh hưởng qua lại của méo biến điệu qua tất cả các sóng mang phụ có các mức san bằng kênh khác nhau có thể có một số ảnh hưởng đến việc giảm PAR điện thế. Ngoài ra, méo tuyến tính mạnh có thể gây ra nhiễu giữa các sóng mang phụ OFDM cũng như nhiễu giữa các ký hiệu mà không được bù theo thuật toán này. Tuy nhiên, việc san bằng kênh cho các tín hiệu đầu ra HPA được lọc mạnh phải được sử dụng theo cảnh báo này.

Trong một số ứng dụng, việc san bằng kênh mong muốn có thể không phải là vector cố định định trước. Việc lọc và làm thích hợp trở kháng mạng đầu ra HPA/ăngten có thể thay đổi do nhiệt độ, tuyết và hóa già. Tín hiệu phản hồi có thể được sử dụng để cập nhật các đặc tính của việc lọc mà có thể cập nhật theo cách thích ứng vector san bằng kênh được sử dụng trong thuật toán giảm PAR.

Fig.5 thể hiện các thao tác nhập dữ liệu ký hiệu OFDM, đến việc đưa ra các mẫu tín hiệu miền thời gian được giảm PAR và được điều biến cho mỗi ký hiệu OFDM. Biến đổi chính đối với thuật toán của Patent Mỹ số 7542517 là việc bổ sung vector ký hiệu tương tự FM được thể hiện trên phía bên phải của lưu đồ. Khi được sử dụng trong hệ thống radio HD lai, việc thêm trong vector độ dài ký hiệu FM miền thời gian, nhưng trừ vector miền tần số ở mỗi lần lặp loại bỏ nhiễu FM - dạng số.

Chi tiết về một phương án của thuật toán được minh họa bởi ví dụ mã Mathcad sau đây:

"Modulate/PAR reduce, predefined N (FFT size), active, EQ, window w"

"DATIN is freq domain input vector for 1 OFDM symbol where QPSK bits are +-1"

"ITER = PAR reduction iterations and limit is the QPSK constellation constraint"

"MP is the mode determining the number of active subcarriers in active col MP"

active $\leftarrow$ active^(MP)

"Compute the sum of the energies over all subcarriers"

$$N_c \leftarrow \sum_{\text{active}}^2$$

"Scale analog relative to digital=1, using FM Ratio FMRdB"

$$\text{scalefm} \leftarrow 10^{\text{FMRdB} \cdot 0.05}$$

fmsym $\leftarrow$ fmsym · scalefm

"Convert dBc/kHz, to noise mask levels relative to highest subcarriers (1+j):"

maskmarginDB $\leftarrow$ 0

$$\text{mask} \leftarrow \text{maskHybridsc}^{(\text{MP})} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot N_c} \cdot 10^{0.05 \cdot (\text{FMRdB} - \text{maskmarginDB})} \right]$$

FM $\leftarrow$ "Demodulate analog fm symbol vector fmsym, same as OFDM"

$$\text{fmx} \leftarrow (w \cdot \text{fmsym})$$

for n $\in$ 0..N - 1

$$\text{fm}_n \leftarrow \text{fmx}_n + \text{if}(n < \text{TAPER}, \text{fmx}_{n+N}, 0)$$

$$\text{CFFT}(\text{fm}) \cdot \sqrt{\frac{256 N_c}{135}}$$

"set hybrid clip level, asymptotic derived"

$$\text{clip} \leftarrow \sqrt{1.5^2 + \text{scalefm}^2 + 1.25 \text{scalefm}}$$

clipneg $\leftarrow$ scalefm · 0.5

"Apply equalization to input where EQ is a N-element vector"

$$\text{DAT} \leftarrow (\text{DATIN} \cdot \text{EQ})$$

"OFDM modulate to get time domain sig, then clip sig & renormalize"

dat $\leftarrow$ ICFFT(DAT)

$$\text{datt} \leftarrow (\text{stack}(\text{dat}, \text{submatrix}(\text{dat}, 0, \text{TAPER} - 1, 0, 0)) \cdot w)$$

"Normalize dig power=1, add fm and store input before PAR reduction"

$$\text{sign} \leftarrow \frac{\text{datt}}{\sqrt{\sum_{\text{rows}(\text{datt})} (|\text{datt}|)^2}} + \text{fmsym}$$

sig $\leftarrow$ sign

$$\text{sigmag} \leftarrow |\text{sig}|$$

"PAR0 Peak to Average power Ratio, prior to reduction"

$$\text{PAR}_0 \leftarrow \frac{\max(\text{sigmag})^2 \cdot \text{rows}(\text{sigmag})}{\sum (\text{sigmag})^2}$$

PAR2₀ $\leftarrow$ PARfunction2(DAT, fmsym)

```

if ITER > 0
    "Perform PAR reduction algorithm"
    for iterate ∈ 1..ITER
        "clip Hybrid sig using hard value clip"
        for k ∈ 0..rows(sig) - 1
            
$$\text{sig}_k \leftarrow \begin{cases} \frac{\text{sig}_k}{\text{sigmag}_k} \cdot \text{clip} & \text{if } \text{sigmag}_k > \text{clip} \\ \frac{\text{sig}_k}{\text{sigmag}_k} \cdot \text{clipneg} & \text{if } \text{sigmag}_k < \text{clipneg} \\ \text{sig}_k & \text{otherwise} \end{cases}$$

        "fold the tapered region, then demodulate OFDM symbol with CFFT"
        
$$\text{datrx} \leftarrow (\text{w} \cdot \text{sig})$$

        for n ∈ 0..N - 1
            
$$\text{datrx}_n \leftarrow \text{datrx}_n + \text{if}(n < \text{TAPER}, \text{datrx}_{n+N}, 0)$$

        "This form of the CFFT has a negative exponent and 1/N scaling."
        
$$\text{DAT} \leftarrow \text{CFFT}(\text{datrx}) \cdot \sqrt{\frac{256 N_c}{135}}$$

        "remove EQ using reciprocal of EQ before constraining"
        
$$\text{DAT} \leftarrow \frac{\text{DAT}}{\text{EQ}}$$

        for n ∈ 0..N - 1
            if activen
                "convergence bias for secondary or lower subcarriers"
                
$$\text{cb} \leftarrow (1.125 - \text{active}_n) \cdot 0.5$$

                
$$\text{DAT}_n \leftarrow (1 - \text{cb}) \cdot \text{DAT}_n + \text{cb} \cdot \text{DATIN}_n$$

                "constrain active subcarriers"
                
$$\text{sgnr} \leftarrow \text{sign}(\text{Re}(\text{DATIN}_n))$$

                
$$\text{sgni} \leftarrow \text{sign}(\text{Im}(\text{DATIN}_n))$$

                
$$\text{DAT}_n \leftarrow \text{sgnr} \cdot \max(\text{limit}(|\text{Re}(\text{DATIN}_n)|), \text{sgnr} \cdot \text{Re}(\text{DAT}_n)) \dots$$

                
$$+ j \cdot \text{sgni} \cdot \max(\text{limit}(|\text{Im}(\text{DATIN}_n)|), \text{sgni} \cdot \text{Im}(\text{DAT}_n))$$

        "Restore active reference subcarriers"
        for rc ∈ 280, 299..546
            if activerc
                
$$\text{DAT}_{rc} \leftarrow \text{DATIN}_{rc}$$

                
$$\text{DAT}_{N-rc} \leftarrow \text{DATIN}_{N-rc}$$

        for rc ∈ 19, 38..266
            if activerc
                
$$\text{DAT}_{rc} \leftarrow \text{DATIN}_{rc}$$

                
$$\text{DAT}_{N-rc} \leftarrow \text{DATIN}_{N-rc}$$

        if active279
            
$$\text{DAT}_{279} \leftarrow \text{DATIN}_{279}$$

            
$$\text{DAT}_{N-279} \leftarrow \text{DATIN}_{N-279}$$

        
$$\text{DAT}_0 \leftarrow \text{DATIN}_0 \text{ if active}_0$$

        "Remove FM"
        
$$\text{DAT} \leftarrow \text{DAT} - \text{FM}$$

        "apply out-of-band mask"
        for n ∈ 0..N - 1
            
$$\text{DAT}_n \leftarrow \text{DAT}_n \cdot \frac{\text{mask}_n}{|\text{DAT}_n|} \text{ if } |\text{DAT}_n| > \text{mask}_n \text{ if } \neg \text{active}_n$$

        "restore EQ"
        
$$\text{DAT} \leftarrow (\text{DAT} \cdot \text{EQ})$$

        "modulate with ICFFT, then add fmsym"
        
$$\text{dat} \leftarrow \text{ICFFT}(\text{DAT})$$

        
$$\text{datt} \leftarrow (\text{stack}(\text{dat}, \text{submatrix}(\text{dat}, 0, \text{TAPER} - 1, 0, 0)) \cdot \text{w})$$

        
$$\text{sig} \leftarrow \frac{\text{datt}}{\sqrt{\sum (\text{rows}(\text{datt}))^2}} + \text{fmsym}$$

        
$$\text{sigmag} \leftarrow |\text{sig}|$$

        
$$\text{PAR}_{\text{iterate}} \leftarrow \frac{\max(\text{sigmag})^2 \cdot \text{rows}(\text{sigmag})}{\sum (\text{sigmag})^2}$$

        
$$\text{PAR2}_{\text{iterate}} \leftarrow \text{PARfunction2}(\text{DAT}, \text{fmsym})$$


```

PAR của tín hiệu IBOC lai vốn nhỏ hơn PAR của riêng tín hiệu số. Sở dĩ như vậy là do PAR thực tế của thành phần dạng số không được xử lý là 12 dB, trong khi tín hiệu tương tự FM có đường bao không đổi ($PAR = 0$ dB). Do đó PAR của tín hiệu lai tăng lên khi tỷ lệ dạng số - tương tự của nó tăng lên. Ngoài ra, thuật toán giảm PAR thực hiện hiệu chỉnh với tổng vectơ của các thành phần tương tự và dạng số (nghĩa là, thành phần dạng số không được xén độc lập với tương tự). Đôi khi đỉnh của tín hiệu số được giảm bởi tín hiệu tương tự do các pha tức thời lệch nhau hơn 90 độ. Do đó, thuật toán giảm PAR lai vốn xén các đỉnh khi tổng vectơ vượt quá ngưỡng, và không đơn giản khi thành phần dạng số vượt quá ngưỡng. Điều này dẫn đến ít méo hơn hoặc giảm PAR lớn hơn cho cùng méo toàn phần cho thuật toán lai (Hybrid).

Các cải thiện về hiệu suất tuyến tính HPA FM, với thành phần điều biến biên độ do thêm tín hiệu số vào tín hiệu FM đường bao không đổi, cũng là kỹ thuật được cho phép cho thuật toán giảm PAR lai. Yếu tố chính trong các cải thiện hiệu suất thu được nhờ bao gồm tín hiệu tương tự FM trong thuật toán giảm PAR. (Các) thuật toán được đề cập ở đây mô tả phương pháp cải tiến để điều tiết công suất dải biên dạng số không đều, cũng như điều tiết tín hiệu lai tương tự cộng dạng số kết hợp, do đó HPA đơn được sử dụng.

Theo một phương án khác, có thể có việc điều chỉnh giới hạn ngưỡng thích ứng. Fig.9 là sơ đồ khối chức năng đơn giản của hệ thống truyền bao gồm thuật toán giảm PAR với dấu hiệu này. Fig.9 bao gồm các thành phần trên Fig.3 và còn bao gồm việc đo tỷ lệ lỗi điều biến 110, bộ lọc vòng lặp 112 lọc tỷ lệ lỗi điều biến đo được và điều chỉnh giới hạn ngưỡng 114. Các bước đo, lọc và điều chỉnh có thể được thực hiện trong phần cứng hoặc phần mềm bằng cách sử dụng các thành phần đã biết.

Tỷ lệ lỗi điều biến (modulation error rate - MER) có thể được tính toán trong bộ kích thích để tối đa hóa hiệu suất, có khả năng theo cách thích ứng. MER được thiết đặt để đánh giá tính toàn vẹn của tín hiệu số IBOC. Việc đo MER này xác định đặc điểm suy giảm do méo không mong muốn đối với các điểm chòm sao tín hiệu QPSK lý tưởng được sử dụng cho mỗi sóng mang phụ hoạt động trong khi điều biến OFDM. MER là một số đơn vị dB (ví dụ, 14 dB) tương tự với tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu âm (Signal - to - Noise - Ratio - SNR), nhưng dùng cho tín hiệu số IBOC. Việc đo SNR này thiên về cách làm nổi bật các thành phần nhiễu méo gần với các vùng quyết định QPSK (tăng xác suất gặp lỗi), và giảm sự nổi bật các thành phần méo mà không ảnh hưởng bất lợi đến xác suất gặp lỗi.

Vòng lặp điều khiển hồi tiếp âm thông thường (ví dụ, Fig.9) sử dụng bộ lọc vòng lặp để điều khiển sự san bằng kênh giữa băng thông lặp (độ chính xác và thời gian phản hồi) và nhiễu âm lặp. Giới hạn ngưỡng trên các chòm sao tín hiệu QPSK chuẩn hóa ảnh hưởng đến MER.

Chòm sao tín hiệu QPSK phức được chuẩn hóa sao cho thành phần I hoặc Q có giá trị tuyệt đối là 1. Giá trị này được cho phép giảm để điều tiết các ảnh hưởng méo biến điệu của việc xén. Giới hạn ngưỡng được thiết đặt để ngăn thành phần I hoặc Q không trở nên quá nhỏ, ảnh hưởng đến hiệu suất BER. Do đó giới hạn ngưỡng, ví dụ là 0,75 được sử dụng làm giá trị tuyệt đối nhỏ nhất cho thành phần I hoặc Q. Tuy nhiên, mong muốn cho phép giá trị này là càng nhỏ càng tốt và vẫn thỏa mãn yêu cầu MER. Giá trị giới hạn ngưỡng lý tưởng có thể thay đổi như hàm của các mức thành phần tín hiệu dạng số và tương tự tương đối được thiết đặt bởi *scalefm*. Ngoài ra, khác biệt về các mức dải biên sơ cấp bất đối xứng dưới và trên có thể ảnh hưởng đến các giá trị giới hạn ngưỡng lý tưởng. Nó cũng bị ảnh hưởng bởi các phần chia sóng mang phụ bên trong mở rộng vượt quá chế độ MP1. Giới hạn ngưỡng (ví dụ, 0,85 so với 1 danh định) là giá trị độ lớn I hoặc Q thấp hơn trong chòm sao tín hiệu QPSK miền tần số (nghĩa là, VECTO TÍN HIỆU LAI), xem Fig.7.

Một phương pháp thiết đặt các giá trị giới hạn ngưỡng là để tính toán MER cho các thiết đặt mức dạng số và tương tự hiện thời, sau đó điều chỉnh giới hạn ngưỡng sao cho tín hiệu đạt yêu cầu MER với một số dung sai chấp nhận được. Tuy nhiên, điều này có thể khó khăn và cần điều chỉnh lại cho mỗi kết hợp của các mức tín hiệu tương đối (tương tự, sơ cấp trên dạng số, sơ cấp dưới dạng số và thứ cấp dạng số) và các chế độ (các phần chia dạng số hoạt động). Điều này có thể được tự động hóa bằng cách đo MER trong bộ kích thích, sau đó điều chỉnh giới hạn ngưỡng trong vòng lặp điều khiển phản hồi để giữ MER ở mức mục tiêu mong muốn. Sơ đồ khối đơn giản được thể hiện trên Fig.9.

Thuật toán giảm PAR cũng có thể được áp dụng với tín hiệu lai hoặc hoàn toàn là số với các dải biên dạng số không đều. Thay đổi gần đây về các luật FCC cho phép tăng công suất IBOC lai dạng số, cũng như các mức công suất dải biên dạng số không đều, đã thúc đẩy nỗ lực đổi mới để cải thiện cả năng suất và hiệu suất của các phương pháp kết hợp cũng như thuật toán giảm PAR với các tín hiệu IBOC lai. Các thuật toán giảm PAR có thể được sử dụng để thực hiện phương án của sáng chế điều tiết cả việc thêm tín hiệu

tương tự FM, cũng như các dải biên dạng số không đều. Như được sử dụng trong phần mô tả này, các dải biên dạng số không đều chỉ các mức không đều của các dải biên dạng số sơ cấp trên hoặc dưới. Trước khi có luật FCC mới, các dải biên trên và dưới sơ cấp (nằm trong khoảng từ 100 đến 200 kHz từ tần số giữa) được giới hạn ở mức -23 dB so với tín hiệu tương tự FM chủ. Hiện tại, mỗi mức dải biên có thể được thiết đặt một cách độc lập từ -23 đến -13 dBc để điều tiết các điều kiện nhiễu liên kề đầu tiên cụ thể.

Để điều tiết các dải biên dạng số không đều, các chòm sao tín hiệu QPSK được ràng buộc cho các mức sóng mang phụ không đều trong số các sóng mang phụ sơ cấp trên, sơ cấp dưới hoặc thứ cấp. Chế độ FM hoàn toàn là số radio HD MP4 điền đầy toàn bộ ± 200 kHz của băng thông với các sóng mang phụ hoạt động mà không có mặt tín hiệu tương tự FM. Các sóng mang phụ thứ cấp mới trong ± 100 kHz được truyền ở mức giảm danh định 20 dB dưới các sóng mang phụ sơ cấp dưới ± 100 kHz. Đây là trường hợp mà việc định tỷ lệ của các sóng mang phụ thứ cấp (các ngăn) của vector dữ liệu OFDM được sử dụng dữ liệu nhị phân. Mặc dù có thể áp dụng cùng thuật toán giảm PAR được mô tả ở trên, méo tương đối trong hầu hết các sóng mang phụ thứ cấp bên ngoài được tăng lên. Sự tăng lên về méo tương đối này là do các tích điều biến qua lại của các sóng mang phụ sơ cấp ở gần mà có mức cao hơn 20 dB. Ràng buộc bổ sung được đặt lên các sóng mang phụ thứ cấp này để giảm hơn nữa méo tương đối đã tăng lên này.

Mặc dù có khả năng ngăn chặn méo bất kỳ trong các sóng mang phụ thứ cấp bằng cách ràng buộc chúng ở vector dữ liệu ký hiệu OFDM đầu vào, điều này hạn chế quá mức và sẽ dẫn đến sự phát triển lại tăng lên của đỉnh trong tín hiệu miền thời gian. Tuy nhiên, ràng buộc được mô tả ở trên cho phép các giá trị méo tương đối lớn kể cả khi ràng buộc cho dung sai ở giá trị ngưỡng (ví dụ, 0,85) được đặt vào. Méo này dẫn đến việc tăng đáng kể về công suất sóng mang phụ do các thành phần méo lớn hơn các giá trị 1,0 danh định. Một giải pháp cho vấn đề này là trước tiên ràng buộc chòm sao tín hiệu như được mô tả ở trên cho các sóng mang phụ sơ cấp. Ràng buộc bổ sung được đặt vào các sóng mang phụ thứ cấp trong đó giá trị chòm sao tín hiệu ràng buộc mới là trung bình được lấy trọng số của đầu ra được ràng buộc mới và vector dữ liệu ký hiệu OFDM đầu vào. Việc lấy trung bình này giảm các giá trị méo lớn sao cho méo tạo thành tương tự (tỷ lệ) với các sóng mang phụ sơ cấp. Trung bình lấy trọng số còn có thể được sử dụng để điều chỉnh độ giảm méo. Các mô phỏng đã thể hiện rằng có hiệu quả trong trường hợp này.

RÀNG BUỘC CHÒM SAO TÍN HIỆU QPSK CHO CÁC SÓNG MANG PHỤ THỨ CẤP:

$$QPSK_n = \text{sign}(\text{Re}\{d_n\}) \cdot \max[\text{thres} \cdot |\text{Re}\{d_n\}|, \text{sign}(\text{Re}\{d_n\}) \cdot \text{Re}\{QPSK_n\}] \\ + j \cdot \text{sign}(\text{Im}\{d_n\}) \cdot \max[\text{thres} \cdot |\text{Im}\{d_n\}|, \text{sign}(\text{Im}\{d_n\}) \cdot \text{Im}\{QPSK_n\}]$$

$QPSK_n = (1 - \text{weight}) \cdot QPSK_n + \text{weight} \cdot d_n$: ràng buộc thêm cho các sóng mang phụ thứ cấp trong đó trọng số thường là 0,5 (0,45 mô phỏng)

Thử nghiệm với trọng số trung bình này đã tạo ra biểu thức cho trọng số là hàm của mức sóng mang phụ, so với các mức sóng mang phụ cao nhất. Mức cao nhất của các sóng mang phụ có thể được xác định có mức bằng 1. Các sóng mang phụ khác được thiết đặt ở mức (điện áp) so với 1. Ví dụ, nếu các sóng mang phụ thứ cấp được thiết đặt ở 20 dB dưới các sóng mang phụ sơ cấp, thì mức các sóng mang phụ sơ cấp bằng 1 và mức các sóng mang phụ thứ cấp bằng 0,1. Tương tự, nếu các sóng mang phụ sơ cấp thấp hơn được thiết đặt ở 10 dB dưới mức của các sóng mang phụ sơ cấp trên, thì mức của các sóng mang phụ sơ cấp thấp hơn bằng 0,316 (-10 dB). Do đó, trọng số cho sóng mang phụ bất kỳ ở mức điện áp so với mức điện áp sóng mang phụ lớn nhất là:

$$\text{trọng số} = 0,5 \cdot (1 - \text{mức})$$

Kỹ thuật này sử dụng trọng số dịch hội tụ để điều khiển mức méo trên các sóng mang phụ nhỏ hơn. Có thể áp dụng lại cùng phương pháp xử lý các mức sóng mang phụ sơ cấp và thứ cấp không đều cho các dải biên dạng số trên và dưới. Trong trường hợp này, việc định tỷ lệ sóng mang phụ (lấy trọng số) của dải biên lớn hơn trong số các dải biên sơ cấp trên hoặc dưới luôn được đặt là 1. Sau đó, dải biên kia được định tỷ lệ là 1 để duy trì tỷ lệ phù hợp của các mức dải biên trên và dưới. Có thể áp dụng cùng kỹ thuật sử dụng trọng số dịch hội tụ để điều khiển mức méo trên các sóng mang phụ thứ cấp đối với sóng mang phụ nhỏ hơn trong số các sóng mang phụ trên hoặc dưới.

Mặc dù sáng chế được mô tả theo một số phương án thực hiện, nhưng người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực hiểu rõ rằng các thay đổi khác nhau có thể được thực hiện đối với các phương án được bộc lộ mà không trệch khỏi phạm vi bảo hộ của sáng chế, như được đưa ra trong các điểm yêu cầu bảo hộ sau.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp giảm tỷ số công suất đỉnh trên công suất trung bình trong tín hiệu tần số radio được điều biến phân chia tần số trực giao (OFDM) bao gồm các bước:

(a) điều biến tập hợp các sóng mang phụ với tập hợp dữ liệu để tạo ra vector ký hiệu OFDM được điều biến;

(b) điều biến tín hiệu sóng mang FM với tập hợp dữ liệu để tạo ra ký hiệu FM được điều biến;

(c) kết hợp ký hiệu OFDM được điều biến và ký hiệu FM được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến;

(d) giới hạn độ lớn của ký hiệu lai được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến giới hạn thứ nhất;

(e) giải điều biến ký hiệu lai được điều biến giới hạn thứ nhất để khôi phục các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo;

(f) ràng buộc các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo được khôi phục từ ký hiệu lai được điều biến giới hạn thứ nhất ở các giá trị lớn hơn hoặc bằng giá trị ngưỡng nhỏ nhất để tạo ra các chòm sao tín hiệu QPSK ràng buộc trong vector ký hiệu lai;

(g) giải điều biến ký hiệu FM được điều biến để tạo ra vector ký hiệu FM;

(h) lấy vector ký hiệu lai trừ đi vector ký hiệu FM để tạo ra vector ký hiệu OFDM biến đổi;

(i) áp dụng màn chắn cho các sóng mang phụ không hoạt động trong các vector ký hiệu OFDM;

(j) điều biến vector ký hiệu OFDM nhờ điều biến OFDM để tạo ra ký hiệu OFDM được điều biến biến đổi;

(k) kết hợp ký hiệu OFDM được điều biến và ký hiệu FM được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến biến đổi; và

(l) đưa ra ký hiệu lai được điều biến biến đổi.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước:

định tỷ lệ ký hiệu FM được điều biến trước bước (c).

3. Phương pháp theo điểm 1, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước:
loại bỏ bù san bằng kênh trước bước (f); và
khôi phục bù san bằng kênh trước bước (j).
4. Phương pháp theo điểm 1, trong đó các bước (d) đến (k) được lặp lại trước bước (l).
5. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước ràng buộc các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo bao gồm:

gán giá trị ngưỡng nhỏ nhất cho các bit của các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo có các giá trị nhỏ hơn giá trị ngưỡng nhỏ nhất.

6. Phương pháp theo điểm 1, trong đó phương pháp này còn bao gồm các bước:
đo tỷ lệ lỗi điều biến;
lọc tỷ lệ lỗi điều biến; và
điều chỉnh giá trị ngưỡng nhỏ nhất đáp lại tỷ lệ lỗi điều biến được lọc.
7. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước (d) áp dụng mức xén âm đối với ký hiệu lai được điều biến.
8. Phương pháp theo điểm 7, trong đó mức xén âm là -3dB.
9. Phương pháp theo điểm 1, trong đó các bước từ (a) đến (l) được thực hiện cho nhiều tập hợp gồm các sóng mang phụ trong các dải biên trên và dải biên dưới.
10. Phương pháp theo điểm 9, trong đó các sóng mang phụ trong một trong số các dải biên trên hoặc dải biên dưới được thiết đặt theo độ lớn bằng 1 và các sóng mang phụ trong dải biên kia được định tỷ lệ là 1.
11. Bộ truyền giảm tỷ số công suất đỉnh trên công suất trung bình trong tín hiệu OFDM, bộ truyền này bao gồm:
bộ điều biến để điều biến tập hợp các sóng mang phụ với tập hợp vector ký hiệu dữ liệu bao gồm vector ký hiệu OFDM và vector ký hiệu FM để tạo ra ký hiệu OFDM được điều biến và ký hiệu FM được điều biến;

hệ mạch xử lý để kết hợp ký hiệu OFDM được điều biến và ký hiệu FM được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến, giới hạn độ lớn của ký hiệu lai được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến giới hạn thứ nhất, giải điều biến ký hiệu lai được điều biến giới hạn thứ nhất để khôi phục các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo, ràng buộc các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo được khôi phục từ ký hiệu lai được điều biến giới hạn thứ nhất ở các giá trị lớn hơn hoặc bằng giá trị ngưỡng nhỏ nhất để tạo ra các chòm sao tín hiệu QPSK ràng buộc trong vector ký hiệu lai, giải điều biến ký hiệu lai FM để tạo ra vector ký hiệu FM, lấy vector ký hiệu lai trừ đi vector ký hiệu FM để tạo ra vector ký hiệu OFDM, áp dụng màn chắn cho các sóng mang phụ không hoạt động trong vector ký hiệu OFDM, điều biến vector ký hiệu OFDM để tạo ra ký hiệu OFDM được điều biến, kết hợp vector ký hiệu OFDM được điều biến biến đổi với ký hiệu FM được điều biến biến đổi để tạo ra ký hiệu lai được điều biến biến đổi và đưa ra ký hiệu lai được điều biến biến đổi; và

bộ khuếch đại để khuếch đại ký hiệu lai được điều biến biến đổi.

12. Bộ truyền theo điểm 11, trong đó hệ mạch định tỷ lệ ký hiệu FM được điều biến trước khi kết hợp ký hiệu OFDM được điều biến và ký hiệu FM được điều biến để tạo ra ký hiệu lai được điều biến.

13. Bộ truyền theo điểm 11, trong đó hệ mạch loại bỏ bù san bằng kênh trước khi ràng buộc các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo; và

khôi phục bù san bằng kênh trước khi điều biến vector ký hiệu OFDM.

14. Bộ truyền theo điểm 11, trong đó hệ mạch gán giá trị ngưỡng cho các bit của các chòm sao tín hiệu QPSK bị méo có các giá trị nhỏ hơn giá trị ngưỡng.

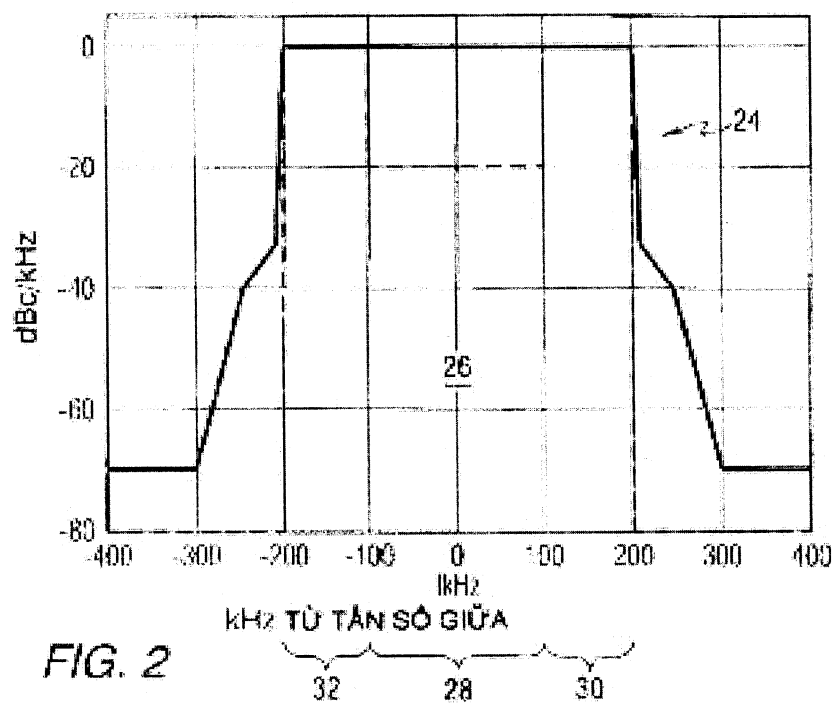
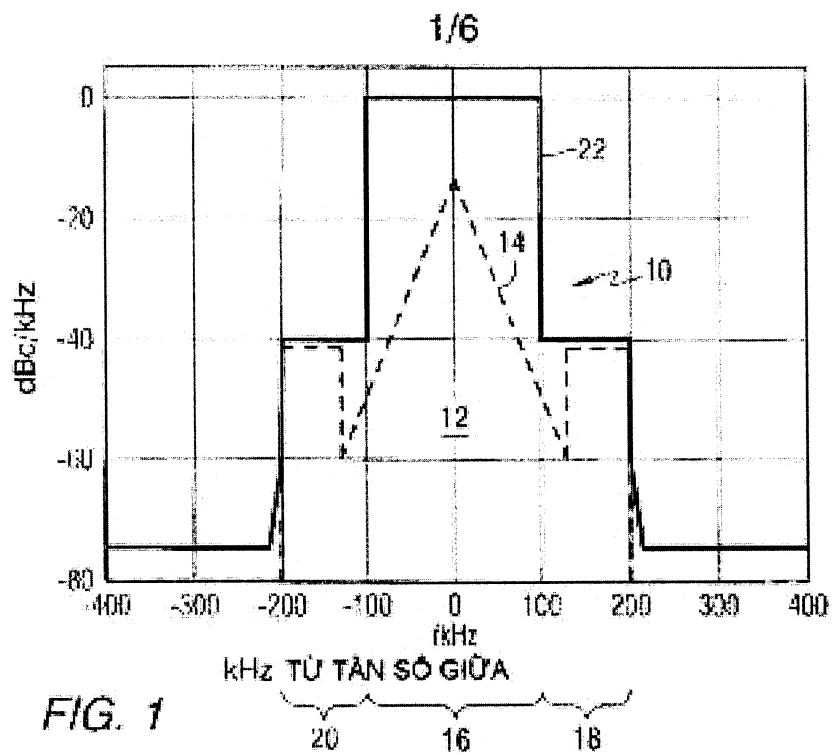
15. Bộ truyền theo điểm 11, trong đó hệ mạch đo tỷ lệ lỗi điều biến, lọc tỷ lệ lỗi điều biến và điều chỉnh giá trị ngưỡng nhỏ nhất đáp lại tỷ lệ lỗi điều biến được lọc.

16. Bộ truyền theo điểm 11, trong đó hệ mạch xử lý áp dụng mức xén âm đối với ký hiệu lai được điều biến.

17. Bộ truyền theo điểm 16, trong đó mức xén âm là -3dB.

18. Bộ truyền theo điểm 11, trong đó hệ mạch xử lý thực hiện quy trình giảm tỷ số công suất đỉnh trên công suất trung bình trên nhiều tập hợp gồm các sóng mang phụ trong các dải biên trên và dải biên dưới.

19. Bộ truyền theo điểm 18, trong đó các sóng mang phụ trong một trong số các dải biên trên hoặc dải biên dưới được thiết đặt theo độ lớn bằng 1 và các sóng mang phụ trong dải biên kia được định tỷ lệ là 1.



2/6

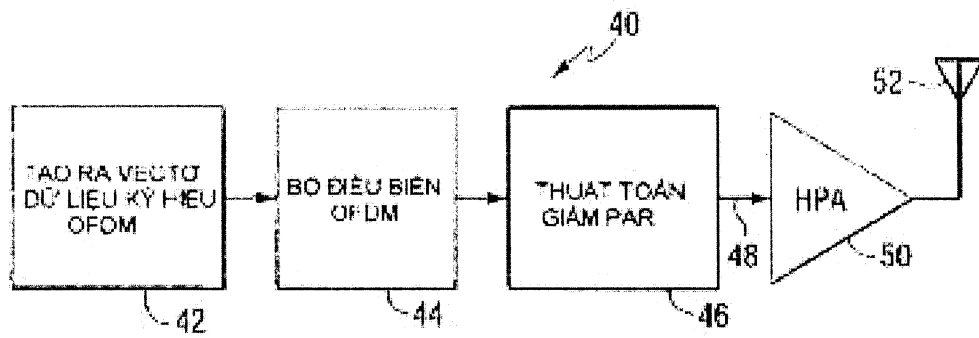


FIG. 3

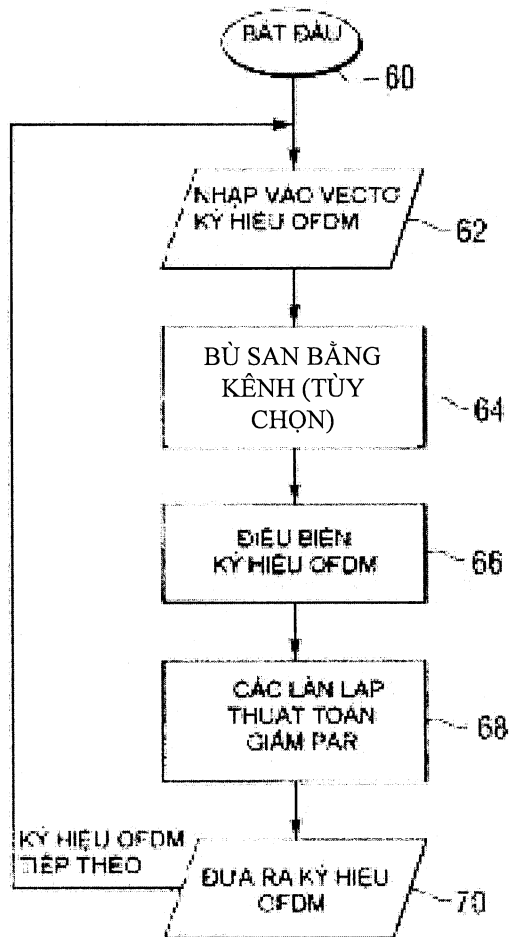


FIG. 4

3/6

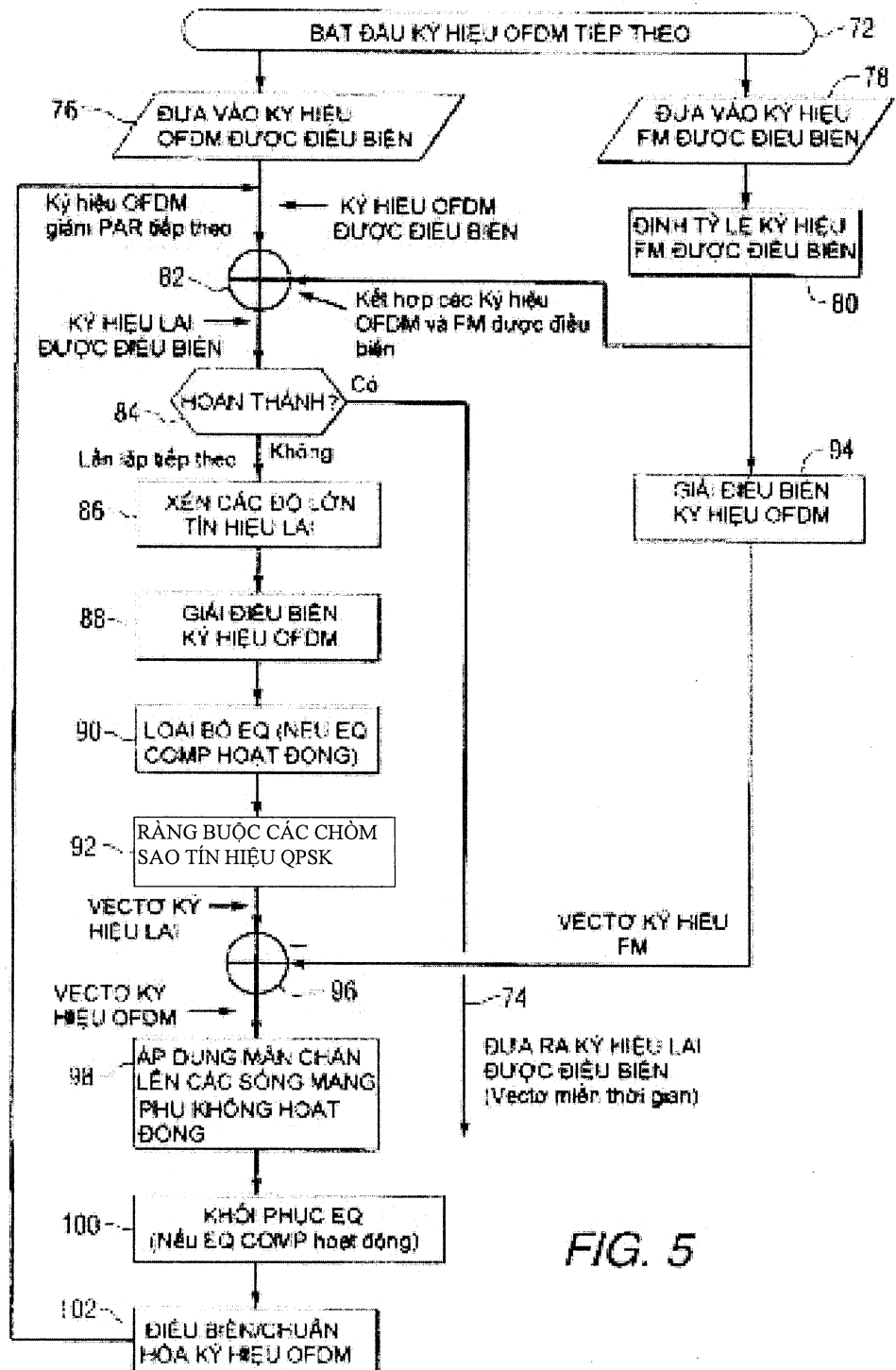


FIG. 5

4/6

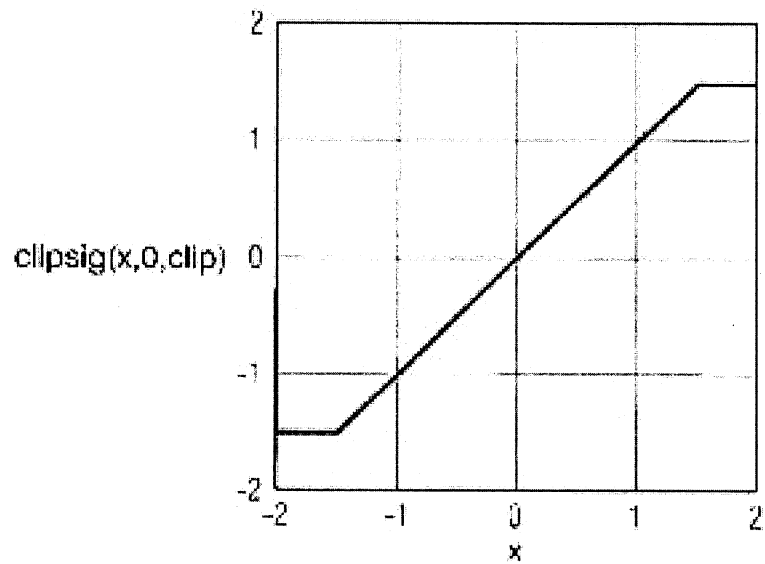


FIG. 6

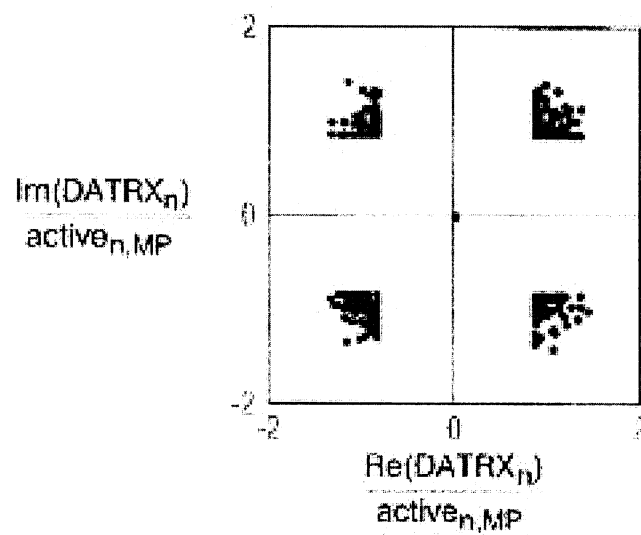


FIG. 7

5/6

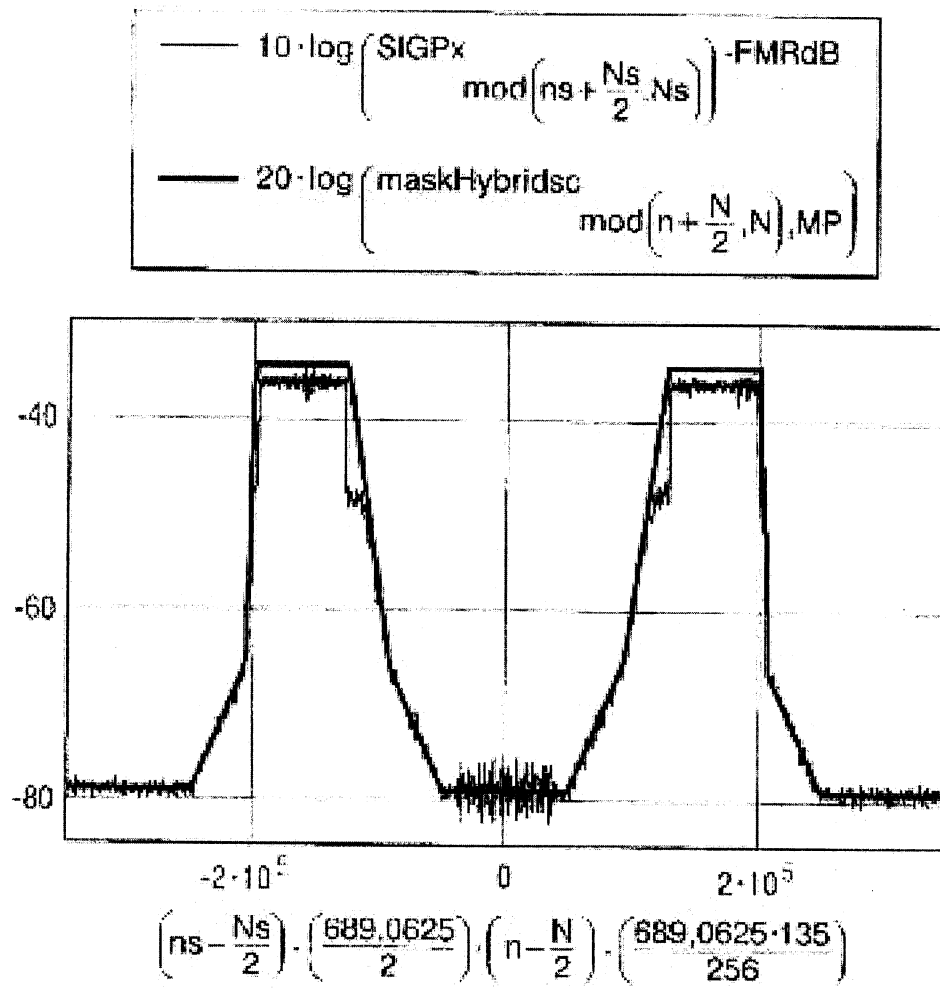


FIG. 8

6/6

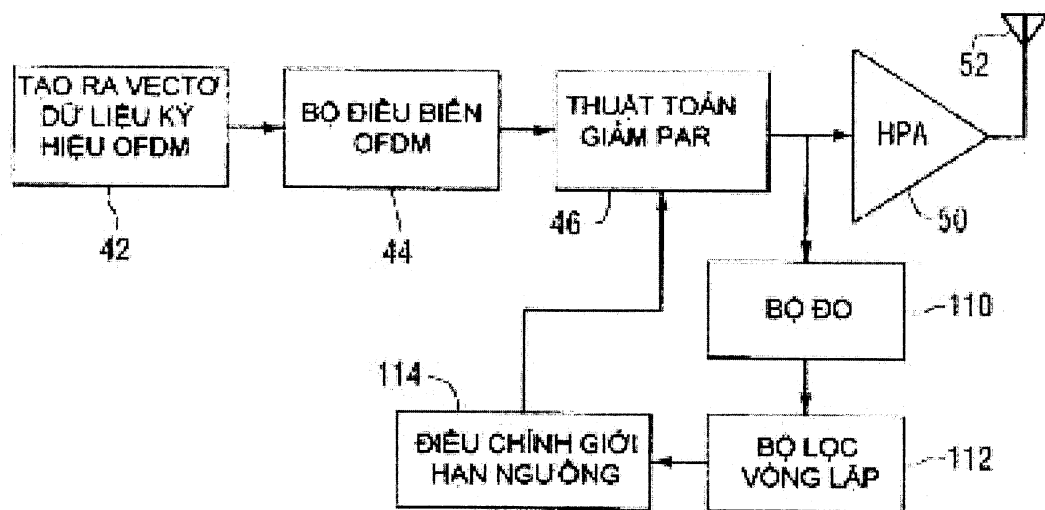


FIG. 9