



(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)



1-0052682

(51)^{2022.01} H04B 7/00

(13) B

(21) 1-2022-06360

(22) 30/09/2022

(45) 27/10/2025 451

(43) 27/03/2023 420A

(73) TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỄN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)

Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

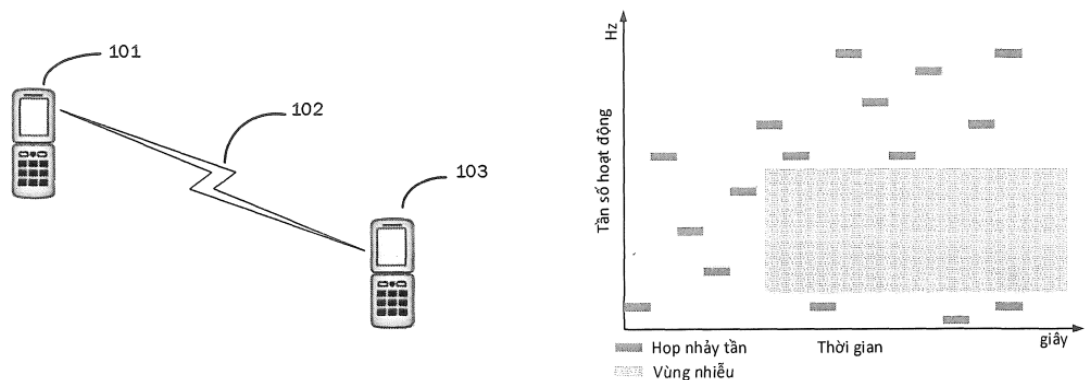
(72) VŨ HOÀNG LONG (VN); NGUYỄN PHAN KHÁNH HÀ (VN); LÊ ĐĂNG HIẾU (VN); ĐẶNG HỮU TÙNG (VN); NGUYỄN MẠNH LINH (VN).

(74) Công ty TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP THAY ĐỔI TẦN SỐ THÍCH NGHI CHO THIẾT BỊ THÔNG TIN VÔ TUYẾN DẢI RỘNG

(21) 1-2022-06360

(57) Sáng chế đề xuất một hệ thống và phương pháp thay đổi tần số thích nghi cho thiết bị truyền tin vô tuyến băng rộng. Hệ thống được tổ chức thành hai chiều, được tổ chức thành: chiều phát (Tx) gồm có: khối giám sát phổ dải rộng; khối cập nhật bảng tần thích nghi; khối truyền đồng bộ và thông tin điều khiển; khối truyền tin và dữ liệu thăm dò; khối thu nhận thông tin phản hồi; chiều thu (Rx) gồm có: khối thu đồng bộ và thông tin điều khiển; khối thu thông tin và dữ liệu thăm dò; khối đánh giá chất lượng kênh truyền; khối gửi thông tin phản hồi. Phương pháp thay đổi tần số thích nghi bao gồm: giải pháp đánh giá chất lượng kênh truyền tại thiết bị thu; giải pháp đánh giá và cập nhật bảng tần số thích nghi tại thiết bị phát.



Hình 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập tới hệ thống và phương pháp thay đổi tần số thích nghi cho thiết bị thông tin vô tuyến dải rộng. Cụ thể, hệ thống và phương pháp thay đổi tần số thích nghi cho phép thiết bị thông tin vô tuyến dải rộng được ứng dụng trong hệ thống truyền tin.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong những năm gần đây, công nghệ truyền tin thích nghi (Cognitive Radio – CR) đang dần được ứng dụng trong các thiết bị thông tin vô tuyến. Công nghệ CR giúp các thiết bị thông tin vô tuyến có khả năng nhận thức thông minh môi trường vô tuyến xung quanh và thích nghi nhanh trong mọi điều kiện thông qua khả năng:

- Tự động phân tích, đánh giá chất lượng kênh truyền băng rộng trong thời gian thực, phát hiện các kênh bị ảnh hưởng bởi nhiễu từ các nguồn khác nhau.
- Tự động thay đổi các tham số hoạt động (tần số, công suất, loại mã hóa, dạng điều chế...) phù hợp với điều kiện môi trường nhằm tối ưu hiệu quả truyền tin.

Một trong những chức năng thích nghi quan trọng nhất của một thiết bị thông tin vô tuyến ứng dụng công nghệ CR là khả năng thay đổi tần số thích nghi theo điều kiện môi trường. Tính năng thay đổi tần số thích nghi cho phép các thiết bị thông tin vô tuyến có khả năng lựa chọn các tần số truyền tin một cách thích nghi tự động theo điều kiện môi trường thay vì chỉ lựa chọn theo một bảng tần số cố định đã thiết lập trước.

Thông qua khả năng thay đổi tần số thích nghi, các thiết bị thông tin vô tuyến có khả năng hoạt động, sống sót và nâng cao hiệu quả truyền tin trong các điều kiện khác nhau (khi bị nhiễu điện từ lớn hoặc bị chế áp chủ động từ môi trường xung quanh). Do đó, tính bảo mật của thông tin, khả năng đảm bảo quá trình liên lạc được thông suốt, không bị gián đoạn và tối ưu kênh truyền trong các điều kiện khác nhau được đảm bảo bởi hệ thống nhảy tần thích nghi.

Để thực hiện được chức năng thay đổi tần số thích nghi, các thiết bị thông tin cần có khả năng: (i) giám sát, đánh giá chất lượng các kênh truyền và lựa chọn băng

tần số thích nghi và (ii) trao đổi thông tin về bảng tần số thích nghi giữa các thiết bị khác đảm bảo thống nhất tần số giữa bên thu và bên phát.

Trong sáng chế này, tác giả đề xuất hệ thống và phương pháp thay đổi tần số thích nghi cho thiết bị thông tin vô tuyến dải rộng cho phép:

Giám sát và đánh giá kênh truyền: dựa trên kỹ thuật giám sát phổ dải rộng (spectrum sensing) cung cấp khả năng quan sát phổ dải rộng, đánh giá, ước lượng các kênh truyền (tốt/xấu) trong toàn bộ dải tần hoạt động và kỹ thuật đánh giá chất lượng của từng kênh truyền dựa trên tỉ lệ lỗi trên bit – (Bit Error Rate – BER);

Giao thức thay đổi tần số thích nghi: cho phép các thiết bị vô tuyến có khả năng đồng bộ, trao đổi thông tin bảng tần số thích nghi, truyền tin và gửi phản hồi về chất lượng kênh truyền.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất một hệ thống và phương pháp thay đổi tần số thích nghi cho thiết bị thông tin vô tuyến dải rộng, hệ thống này bao gồm các khối được chia theo hai chiều của quá trình thu và phát tín hiệu:

Chiều phát (Tx): khối giám sát phổ băng rộng, khối cập nhật bảng tần số thích nghi, khối truyền đồng bộ và thông tin điều khiển, khối truyền dữ liệu và thông tin thăm dò, và khối nhận phản hồi;

Chiều thu (Rx): khối thu đồng bộ và thông tin điều khiển, khối thu thông tin và dữ liệu thăm dò; khối ước lượng và đánh giá chất lượng tần số, và khối phát thông tin phản hồi.

Tại chiều phát (Tx) của hệ thống thay đổi tần số thích nghi, phương pháp truyền tin thay đổi tần số thích nghi được thiết kế bao gồm các bước:

Bước 1.1: giám sát phổ băng rộng. Mỗi thiết bị thông tin vô tuyến dải rộng trước khi bắt đầu truyền thông đều tự thực hiện quá trình giám sát phổ dải rộng tại những thời điểm nhất định. Trạng thái kênh truyền (tốt/xấu) tại mỗi tần số trong băng tần giám sát là cơ sở để lựa chọn bảng tần số thích nghi của các thiết bị khi một thiết bị thông tin phát (gọi là master) khởi tạo phiên truyền thông.

Bước 1.2: cập nhật bảng tần số thích nghi. Thiết bị phát (master) cập nhật bảng tần số thích nghi dựa trên các thông tin đầu vào là kết quả quá trình giám sát phổ và dữ liệu phản hồi về chất lượng kênh truyền của các tần số từ thiết bị thu (gọi là slave) (nếu có), và lựa chọn các tần số hoạt động tốt ở cả hai chiều thu phát.

Bước 1.3: truyền thông tin đồng bộ, điều khiển. Khi khởi tạo phiên truyền thông, thiết bị phát truyền đi thông tin đồng bộ và các thông tin điều khiển chứa danh sách các tần số thuộc băng tần số thích nghi. Thông tin được truyền trên các tần số tuân theo thứ tự là một chuỗi các tần số thay đổi được thống nhất trước giữa hai thiết bị (đã được biết trước bởi cả hai thiết bị vô tuyến).

Bước 1.4: truyền dữ liệu, thông tin thăm dò. Thiết bị phát truyền thông tin của người dùng trên các tần số thích nghi đã lựa chọn ở bước 1.2. Thiết bị phát cũng truyền thông tin thăm dò chất lượng kênh truyền (probing) trên các tần số thuộc dải tần hoạt động.

Bước 1.5: nhận phản hồi. Với mô hình hoạt động bán song công, tại những thời điểm nhất định, thiết bị phát cần chuyển từ trạng thái phát sang trạng thái thu để nhận dữ liệu phản hồi từ thiết bị thu (hoặc slave) chứa thông tin đánh giá chất lượng kênh truyền của các tần số trong dải tần hoạt động.

Tại chiều thu (Rx) của hệ thống thay đổi tần số thích nghi, quá trình được thực hiện theo các bước:

Bước 2.1: thu đồng bộ, thông tin điều khiển. Thiết bị thu (hoặc slave) thực hiện lắng nghe kênh truyền trên một chuỗi các tần số với thứ tự thay đổi đã biết trước (thống nhất giữa bên thu và bên phát) để thực hiện quá trình thu tín hiệu đồng bộ với thiết bị phát. Sau khi đồng bộ thành công với thiết bị phát, thông tin điều khiển chứa dữ liệu băng tần số thích nghi phát bởi thiết bị phát sẽ được thu và cập nhật tại thiết bị thu để thống nhất thứ tự thay đổi tần số giữa hai thiết bị trong quá trình truyền tin.

Bước 2.2: nhận dữ liệu và thông tin thăm dò. Thiết bị thu nhận thông tin người dùng trên các tần số thuộc băng tần số thích nghi, và thông tin thăm dò kênh truyền trên các tần số trong dải tần hoạt động để kiểm tra chất lượng kênh truyền.

Bước 2.3: đánh giá chất lượng tần số. Thiết bị thu so sánh và đánh giá chất lượng kênh truyền trên các tần số trong dải tần hoạt động bằng cách kiểm tra độ chính xác của dữ liệu thăm dò thu được với dữ liệu thăm dò biết trước. Từ đó, đưa ra ước lượng về tỉ lệ lỗi bit (BER) phản ánh chất lượng kênh truyền.

Bước 2.4: gửi phản hồi. Thiết bị thu cập nhật kết quả đánh giá kênh truyền của dải tần hoạt động hiện tại và xây dựng bảng tần thích nghi mới chứa các tần số hoạt động tốt tại phía thu và gửi lại thông tin này cho thiết bị phát để xây dựng bảng tần thích nghi mới.

Trong sáng chế này, hệ thống đề xuất với khả năng thích nghi có tính tổng quát cao, có thể áp dụng cho các hệ thống truyền tin trong nhiều lĩnh vực khác nhau như các đài vô tuyến điện cầm tay nghiệp dư, các thiết bị vô tuyến cầm tay phục vụ cứu hộ cứu nạn, các hệ thống liên lạc cầm tay trong quân sự...

Trong sáng chế này, hệ thống có khả năng lựa chọn và truyền tin trên nhiều tần số trong bảng tần số tự động thay đổi thích nghi tùy theo điều kiện môi trường (chẳng hạn, chỉ lựa chọn các tần số ở các kênh truyền có điều kiện tốt, không bị nhiễu), thay vì chỉ truyền trên một danh sách các tần số trong bảng tần số cố định đã được thiết lập trước.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: sơ đồ minh họa hệ thống thông tin vô tuyến trong đó sáng chế có thể áp dụng;

Hình 2: lưu đồ minh họa hoạt động của thiết bị phát (master) của hệ thống truyền tin thay đổi tần số thích nghi;

Hình 3: lưu đồ minh họa hoạt động của thiết bị thu (slave) của hệ thống truyền tin thay đổi tần số thích nghi;

Hình 4: một lưu đồ minh họa kiến trúc khối giám sát phổ dải rộng trong hệ thống đề xuất;

Hình 5: luồng xử lý quá trình cập nhật bảng tần thích nghi tại thiết bị phát;

Hình 6: luồng xử lý quá trình đánh giá chất lượng kênh truyền tại thiết bị thu.

Mô tả chi tiết sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất một hệ thống và phương pháp thay đổi tần số thích nghi cho thiết bị thông tin vô tuyến băng rộng. Hình 1 minh họa một hệ thống thông tin liên lạc giữa hai thiết bị thông tin vô tuyến gồm có thiết bị phát 101 (master) và thiết bị thu 103 (slave). Thiết bị phát 101 và thiết bị thu 103 trao đổi thông tin trên đường truyền không dây 102 và có chức năng thay đổi tần số truyền tin theo thời gian.

Hình 2 mô tả hoạt động của thiết bị phát 101 ở chiều phát tín hiệu, bao gồm các khối: khối giám sát phổ băng rộng 201, khối cập nhật bảng tần số thích nghi 202, khối truyền đồng bộ và thông tin điều khiển 203, khối truyền dữ liệu và thông tin thăm dò 204 và khối nhận phản hồi 205. Cụ thể:

Khối giám sát phổ băng rộng 201:

Chức năng của khối giám sát phổ băng rộng 201 là thực hiện giám sát phổ tín hiệu trong toàn bộ dải tần hoạt động của thiết bị thông tin vô tuyến và xác định các băng tần đang bị nhiễu (bị chiếm dụng). Kết quả giám sát phổ băng rộng có vai trò quan trọng:

- Là thông tin đầu vào của khối cập nhật bảng tần số thích nghi 202 khi chưa có phản hồi đánh giá chất lượng kênh truyền từ khối nhận phản hồi 205 từ thiết bị thu 103.
- Hỗ trợ, kết hợp cùng với thông tin phản hồi về chất lượng kênh truyền của các tần số thuộc dải tần hoạt động tại phía thu từ khối nhận phản hồi 205, và xây dựng bảng tần số thích nghi tại khối cập nhật bảng tần số thích nghi 202 theo cả hai chiều phát và thu.

Khối giám sát phổ băng rộng 201, tham chiếu Hình 4, bao gồm các khối nhỏ hơn:

Khối phân đoạn phổ 401: trong mỗi chu kỳ giám sát phổ, khối phân đoạn phổ 401 sẽ chia tín hiệu dải rộng thu được thành M dải con tương ứng với băng thông xử lý tức thời của hệ thống.

Khối tính toán công suất phổ 402: dữ liệu đầu vào của khối là M tín hiệu dải con từ khối phân đoạn phổ 401. Tại khối này, dữ liệu IQ của hai đoạn liên tiếp được lấy chồng (overlapping) với một tỷ lệ cho trước (ví dụ 50% trùng nhau), và nhân với hàm cửa sổ Hanning, trước khi thực hiện biến đổi Fourier nhanh (FFT). Giá trị FFT được tính toán sẽ được chuẩn hóa theo số điểm tính FFT và phổ công suất được tính theo công thức:

$$Power_spectrum(k) = FFT_I(k)^2 + FFT_Q(k)^2$$

Phổ công suất được tính toán sẽ được điều chỉnh biên độ để bù ảnh hưởng của quá trình thực hiện nhân với hàm cửa sổ bằng cách nhân với một hệ số điều chỉnh tương ứng với cửa sổ Hanning đã sử dụng. Cuối cùng, phổ công suất được tính trung bình trên toàn bộ M đoạn.

Khối ước lượng ngưỡng tín hiệu 403: dữ liệu của mỗi đoạn tín hiệu băng hẹp từ khối phân đoạn phổ 401 và mật độ phổ công suất từ khối tính toán công suất phổ 402 là đầu vào của khối ước lượng ngưỡng tín hiệu 403 nhằm ước lượng nền nhiễu. Do việc ước lượng nền nhiễu thường có sai lệch và các tín hiệu thu bị thăng giáng nhanh, thay vì trực tiếp dùng nền nhiễu để phát hiện tín hiệu, khối ước lượng ngưỡng tín hiệu

403 xác định ngưỡng tín hiệu bằng nền nhiễu cộng thêm một giá trị dịch (offset) trong thang đo deciBen (dB). Các thành phần phổ có mật độ công suất lớn hơn hoặc bằng giá trị ngưỡng tín hiệu sẽ được xem là có tín hiệu tồn tại (bị chiếm dụng/có nhiễu), ngược lại xem như không có tín hiệu trong băng. Công thức để xác định ngưỡng phát tín hiệu $D_m[k]$ như sau:

$$D_m[k](dB) = F_m[k](dB) + T_{offset}(dB)$$

trong đó, F_m là giá trị nền nhiễu ước lượng được; T_{offset} là giá trị dịch so với nền nhiễu, đơn vị dB. Việc thiết lập giá trị T_{offset} dựa trên đặc điểm của tín hiệu băng rộng cần giám sát và đảm bảo sự cân bằng giữa tăng độ nhạy phát hiện tín hiệu mong muốn (T_{offset} có giá trị nhỏ) và giảm xác suất phát hiện nhầm tín hiệu thành nhiễu (T_{offset} có giá trị lớn).

Khối phân tích phổ dải rộng 404: đầu vào của khối này là ngưỡng phát hiện tín hiệu và mật độ phổ công suất của các đoạn tín hiệu dải hẹp. Bằng cách so sánh mật độ phổ công suất với ngưỡng phát hiện tín hiệu trong mỗi dải, khối phân tích phổ dải rộng 404 quyết định dải tần nào đang có nhiễu, dải tần nào đang trống và xây dựng bảng tần số thích nghi. Theo đó, bảng tần số thích nghi chỉ chứa các tần số mà dải tần tương ứng được đánh giá là tốt (tức là được xác định không bị chiếm dụng tại dải tần chứa tần số này).

Khối cập nhật bảng tần số thích nghi 202:

Từ kết quả thu được từ khối giám sát phổ băng rộng 201 và khối nhận thông tin phản hồi 205 (nếu có), khối cập nhật bảng tần số thích nghi 202 lựa chọn các tần số được đánh giá là tốt theo cả hai chiều phát và thu từ danh sách các tần số hoạt động của bảng tần số hiện tại. Kết quả của khối này là bảng tần số mới chứa các tần số có chất lượng kênh truyền tốt ở điều kiện hiện tại.

Trường hợp thiết bị phát mới khởi tạo phiên truyền thông, danh sách các tần số thuộc bảng tần số thích nghi được lựa chọn trực tiếp từ kết quả của khối giám sát phổ băng rộng 201.

Hình 5 biểu diễn quá trình lựa chọn và thay đổi tần số trong bảng tần số thích nghi của thiết bị phát. Theo đó:

Đối với mỗi tần số F_i trong bảng tần số hoạt động hiện tại, một tần số sẽ được đánh dấu là xấu khi kênh truyền ứng với tần số đó đang được đánh giá là kém và loại bỏ khỏi bảng tần số thích nghi 503 nếu:

- Chất lượng kênh truyền ở tần số này sau quá trình giám sát băng rộng 201 xác định là xấu tại phía phát 501;
- Hoặc thông tin phản hồi thu được từ ở khối nhận phản hồi 205 xác định chất lượng kênh ở tần số là xấu tại phía thu 502.

Cơ chế lựa chọn này đảm bảo mỗi tần số thuộc bảng tần số thích nghi luôn có chất lượng kênh tốt ở cả hai chiều thu và phát 504.

Quá trình đánh giá và lựa chọn được thực hiện với mỗi tần số trong bảng tần số hoạt động hiện tại 505.

Để đảm bảo tính đa dạng của danh sách tần số và thứ tự các tần số thay đổi, kết quả của quá trình đánh giá chất lượng kênh của danh sách các tần số thuộc bảng tần số hoạt động hiện tại, kích thước của bảng tần số thích nghi mới được so sánh với kích thước tối thiểu của bảng tần số thích nghi – là số lượng tần số có trong bảng tần số thích nghi (ví dụ: $0,2 * \text{kích thước ban đầu của bảng tần số hoạt động}$) 506. Nếu:

- Kích thước bảng tần số thích nghi $>$ ngưỡng xác định trước, cập nhật danh sách tần số bảng tần số thích nghi cho thông tin điều khiển 508.
- Ngược lại, lựa chọn dải tần hoạt động khác 507 và thực hiện quá trình đánh giá lại từ đầu.

Khối truyền đồng bộ và thông tin điều khiển 203:

Khối truyền đồng bộ và thông tin điều khiển 203 cho phép thiết bị phát khởi tạo phiên truyền các thông tin đồng bộ và điều khiển đến thiết bị thu lần lượt trên một chuỗi các tần số được xác định trước giữa hai thiết bị. Giá trị tần số và thứ tự của chuỗi tần số này được thống nhất trước giữa hai thiết bị và có thể được sinh ra bằng thuật toán sinh chuỗi ngẫu nhiên sử dụng các thông tin chung, bí mật và duy nhất của cả hai như địa chỉ của thiết bị, các khóa..., kết hợp với thời gian hệ thống để làm cho chuỗi thứ tự này thay đổi theo thời gian nhưng cả hai phía thu và phát vẫn đều biết. Thông qua khối truyền đồng bộ và thông tin điều khiển 203, thiết bị phát đảm bảo thiết bị thu có thể đồng bộ và thu dữ liệu điều khiển chứa bảng tần số thích nghi chính xác, trước khi chuyển sang khối truyền dữ liệu và thông tin thăm dò 204.

Khối truyền dữ liệu và thông tin thăm dò 204:

Khối truyền dữ liệu và thông tin thăm dò 204 thực hiện việc phát đi dữ liệu cần gửi trên các tần số thuộc bảng tần số thích nghi, ghép xen với các đoạn dữ liệu thăm dò trên các tần số khác nhau thuộc dải tần hoạt động, nhằm mục đích cho phép thiết bị thu đánh giá chất lượng kênh truyền của dải tần hoạt động tại thời điểm hiện tại.

Để có thể đánh giá chất lượng kênh, thiết bị phát phát đi một chuỗi bit thăm dò (probing) có dạng (pattern) cố định, và biết trước ở cả hai phía thu và phát. Chuỗi bit được phát đi lần lượt trên các tần số khác nhau của dải tần băng rộng. Quá trình phát dữ liệu thăm dò này được ghép xen kẽ cùng với quá trình truyền thông tin của người dùng nhằm tăng tính ngẫu nhiên, đảm bảo độ an toàn thông tin.

Khối nhận phản hồi 205:

Khối nhận phản hồi 205 nhằm mục đích thu thông tin về kết quả đánh giá các tần số trong bảng tần số hoạt động tại phía thu. Thông tin này được xem như đầu vào của khối cập nhật bảng tần thích nghi 202 nhằm cập nhật và thay đổi kênh truyền trong bảng tần số thích nghi. Với mô hình truyền tin bán song công, tại những thời điểm cho trước, thiết bị phát cần chuyển trạng thái từ phát sang thu để nhận các bản tin chứa thông tin phản hồi trước khi điều chỉnh bảng tần số và tiếp tục truyền tin.

Hình 3 mô tả hoạt động của thiết bị thu 103 ở chiều thu tín hiệu, bao gồm các khối: khối đồng bộ và thông tin điều khiển 301, khối nhận dữ liệu và thông tin thăm dò 302, khối đánh giá chất lượng tần số 303, khối gửi phản hồi 304.

Khối đồng bộ và thông tin điều khiển 301:

Chức năng của khối đồng bộ và thông tin điều khiển 301 cho phép thiết bị thu đồng bộ với thiết bị phát và thu nhận thông tin điều khiển chứa danh sách các tần số trong bảng tần số thích nghi. Thiết bị thu lắng nghe, thu tín hiệu đồng bộ và thông tin điều khiển theo một chuỗi tần số thay đổi bao gồm các tần số và thứ tự được xác định trước bởi hai thiết bị. Thứ tự thay đổi tần số và giá trị các tần số được xác định bằng cách sử dụng thuật toán sinh chuỗi ngẫu nhiên đã được thống nhất giữa hai thiết bị giống như trong khối truyền đồng bộ và thông tin điều khiển 203 của bên phát. Thông tin điều khiển thu được chứa danh sách các tần số có chất lượng kênh tốt thuộc bảng tần số thích nghi và các tần số này được sử dụng trong quá trình thu dữ liệu và thông tin thăm dò tại khối nhận dữ liệu và thông tin thăm dò 302.

Khối nhận dữ liệu và thông tin thăm dò 302:

Thiết bị thu nhận thông tin của bên phát trên các tần số trong bảng tần số thích nghi (những tần số được đánh giá là tốt). Các tần số của quá trình truyền tin này được ghép xen với các tần số của quá trình truyền dữ liệu thăm dò (là chuỗi dữ liệu biết trước tại hai bên thu phát), nhằm mục đích đánh giá chất lượng kênh tại mỗi tần số của dải tần hoạt động ở phía thu tại khối đánh giá chất lượng tần số 303. Việc ghép xen quá trình truyền dữ liệu và truyền thông tin thăm dò giúp tăng tính ngẫu nhiên của chuỗi thay đổi tần số.

Khối đánh giá chất lượng tần số 303:

Khối đánh giá chất lượng tần số 303 đánh giá chất lượng kênh truyền ở mỗi tần số trong dải tần hoạt động của phía thu thông qua chỉ số giá trị chất lượng kênh (Link Quality Value - LQV). Giá trị chất lượng kênh được xác định bằng tỉ lệ bit lỗi (Bit Error Rate - BER) của dữ liệu thăm dò thu được ở tần số này khi so sánh với chuỗi dữ liệu thăm dò đã biết trước.

$$LQV_i = \frac{\text{Số lượng bits lỗi}}{\text{Số bits thăm dò trên tần số } i}$$

Hình 6 biểu diễn lược đồ hoạt động của khối đánh giá chất lượng tần số 303. Theo đó, để đánh giá chất lượng truyền tin trên tần số ith ,

- Giá trị LQV được tính tại tần số thứ i sẽ được so sánh với ngưỡng $T1$ ở mỗi chu kỳ truyền tin 601. Giá trị $T1$ được lựa chọn như là giới hạn dưới của khả năng giải mã thông tin.
- Nếu LQV tại ith lớn hơn $T1$ 602, tương đương với điều kiện kênh truyền tại tần số này đang ở trạng thái xấu, tần số ith được xác định là chất lượng kém và cần thay thế trong bảng tần thích nghi 603.
- Ngược lại, nếu LQV tại ith nhỏ hơn $T1$, để tăng độ chính xác cho khả năng ước lượng trạng thái kênh truyền, giá trị LQV tại tần số ith được tính trung bình $\overline{LVQ}_i$ trên một số N chu kỳ truyền tin liên tiếp 604.

$$\overline{LVQ}_i = \frac{\sum_{n=1}^N LVQ_i^n}{N}$$

- Giá trị $\overline{LVQ}_i$ được so sánh với ngưỡng $T2$, với giá trị $T2$ được lựa chọn sao cho hiệu năng của quá trình truyền tin tốt (ví dụ, tỉ lệ lỗi BER hoặc số lần truyền lại thấp), và kích thước bảng tần số thích nghi đủ lớn 605.

- Nếu $\overline{LVQ}_i < T2$, tần số ith được xác định là xấu 603; ngược lại, tần số ith được xác định là tốt 606.

Khối gửi phản hồi 304:

Thông tin về chất lượng kênh truyền tại các tần số thuộc dải tần hoạt động ở phía thu sẽ được phản hồi cho bên phát thông qua khối gửi phản hồi 304. Thông tin này cho phép thiết bị phát biết được trạng thái kênh tại phía thu và từ đó cập nhật và thay đổi kênh truyền trong bảng tần số thích nghi đảm bảo hiệu năng truyền tin tốt theo cả hai chiều. Thông tin này được phản hồi tại những thời điểm cho trước, chẳng hạn kết thúc quá trình nhận dữ liệu và thông tin thăm dò kênh truyền ở khối nhận dữ liệu và thông tin thăm dò 302, thiết bị thu chuyển từ trạng thái thu sang trạng thái phát và gửi bản tin thông báo cho thiết bị phát.

Phương pháp thay đổi tần số thích nghi cho thiết bị thông tin vô tuyến dải rộng được thực hiện như sau:

Tại chiều phát (Tx) của hệ thống thay đổi tần số thích nghi, phương pháp truyền tin thay đổi tần số thích nghi được thiết kế bao gồm các bước:

Bước 1.1: giám sát phổ băng rộng - bước này được thực hiện ở khối giám sát phổ băng rộng 201. Mỗi thiết bị thông tin vô tuyến dải rộng trước khi bắt đầu truyền thông đều tự thực hiện quá trình giám sát phổ dải rộng tại những thời điểm nhất định. Thông tin đầu vào là tín hiệu IQ băng rộng được lấy mẫu và số hóa. Kết quả đầu ra là trạng thái phổ băng rộng, cụ thể là trạng thái kênh truyền (tốt/xấu) tại mỗi tần số trong băng tần giám sát. Thông tin này là cơ sở để lựa chọn băng tần số thích nghi của các thiết bị khi một thiết bị thông tin phát (gọi là Master) khởi tạo phiên truyền thông.

Bước 1.2: cập nhật bảng tần số thích nghi - bước này được thực hiện ở khối cập nhật bảng tần số thích nghi 202. Thiết bị phát (master) cập nhật bảng tần số thích nghi dựa trên các thông tin đầu vào là kết quả quá trình giám sát phổ và dữ liệu phản hồi về chất lượng kênh truyền của các tần số từ thiết bị thu (gọi là slave) (nếu có), và lựa chọn các tần số hoạt động tốt ở cả hai chiều thu phát. Kết quả đầu ra là bảng tần số chứa các tần số thích nghi có điều kiện hoạt động tốt tại cả hai bên thu và phát.

Bước 1.3: truyền thông tin đồng bộ, điều khiển - bước này được thực hiện ở khối truyền đồng bộ và thông tin điều khiển 203. Thông tin đồng bộ, danh sách chứa các tần số thuộc bảng tần thích nghi ở bước 1.2 và các thông tin khác (như chế độ hoạt động, chế độ truyền tin, tốc độ truyền tin...) được kết hợp để tạo thành thông tin điều

khiến và truyền đi khi khởi tạo phiên truyền thông. Thông tin được truyền trên các tần số tuân theo thứ tự là một chuỗi các tần số thay đổi được thống nhất trước giữa hai thiết bị (đã được biết trước bởi cả hai thiết bị vô tuyến).

Bước 1.4: truyền dữ liệu, thông tin thăm dò - bước này được thực hiện ở khối truyền dữ liệu và thông tin thăm dò 204. Đầu vào là dữ liệu chứa thông tin của người dùng (như thoại, hình ảnh, văn bản...) được mã hóa, điều chế và phát đi trên các tần số thích nghi đã lựa chọn ở bước 1.2. Thiết bị phát cũng truyền thông tin thăm dò chất lượng kênh truyền (probing) trên các tần số thuộc dải tần hoạt động. Kết quả đầu ra của bước này là dữ liệu đã được mã hóa, điều chế chứa thông tin và dữ liệu thăm dò kênh truyền.

Bước 1.5: nhận phản hồi - bước này được thực hiện ở khối nhận phản hồi 205. Với mô hình hoạt động bán song công, tại những thời điểm nhất định, thiết bị phát cần chuyển từ trạng thái phát sang trạng thái thu để nhận dữ liệu phản hồi từ thiết bị thu (hoặc slave) chứa thông tin đánh giá chất lượng kênh truyền của các tần số trong dải tần hoạt động (đầu ra của khối gửi phản hồi 304). Kết quả là bảng tần số chứa các tần số hoạt động tốt tại phía thu.

Tại chiều thu (Rx) của hệ thống thay đổi tần số thích nghi, quá trình được thực hiện theo các bước:

Bước 2.1: thu đồng bộ, thông tin điều khiển - bước này được thực hiện ở khối đồng bộ và thông tin điều khiển 301. Thiết bị thu (hoặc slave) thực hiện lắng nghe kênh truyền trên một chuỗi các tần số với thứ tự thay đổi đã biết trước (thống nhất giữa bên thu và bên phát) để thực hiện quá trình thu tín hiệu đồng bộ với thiết bị phát. Tại quá trình này, thiết bị nhận tín hiệu băng rộng đã được lấy mẫu, số hóa và xử lý tại các tần số cho trước. Sau khi đồng bộ thành công với thiết bị phát, thông tin điều khiển chứa dữ liệu bảng tần số thích nghi phát bởi thiết bị phát sẽ được giải mã và cập nhật tại thiết bị thu để thống nhất thứ tự thay đổi tần số giữa hai thiết bị trong quá trình truyền tin. Kết quả đầu ra tại bước này là bảng tần số thích nghi chứa danh sách các tần số được sử dụng tại chu kỳ truyền tin hiện tại.

Bước 2.2: nhận dữ liệu và thông tin thăm dò - khối nhận dữ liệu và thông tin thăm dò 302. Đầu vào của khối là tín hiệu thu nhận chứa thông tin cần truyền trên các tần số thuộc bảng tần thích nghi và dữ liệu thăm dò thu được ở khối đồng bộ và thông

tin điều khiển 301. Dữ liệu thăm dò kênh truyền trên các tần số trong dải tần hoạt động được sử dụng để kiểm tra chất lượng kênh truyền.

Bước 2.3: đánh giá chất lượng tần số - bước này được thực hiện ở khối đánh giá chất lượng tần số 303. Dựa trên dữ liệu đầu vào là dữ liệu thăm dò kênh truyền thu được tại các tần số thuộc dải tần hoạt động, thiết bị thu so sánh và đánh giá chất lượng kênh truyền bằng cách kiểm tra độ chính xác của dữ liệu thăm dò thu được với dữ liệu thăm dò biết trước. Từ đó, đưa ra ước lượng về tỉ lệ lỗi bit (BER) phản ánh chất lượng kênh truyền theo lược đồ Hình 6. Thông tin này là cơ sở để xây dựng bảng tần số chứa các tần số hoạt động tốt (cụ thể là giá trị BER phải nhỏ hơn ngưỡng quy định mô tả ở khối đánh giá chất lượng tần số 303) tại phía thu.

Bước 2.4: gửi phản hồi - bước này được thực hiện ở khối gửi phản hồi 304. Thiết bị thu cập nhật kết quả đánh giá kênh truyền của dải tần hoạt động hiện tại và xây dựng bảng tần thích nghi mới chứa các tần số hoạt động tốt tại phía thu và gửi lại thông tin này cho thiết bị phát để cập nhật bảng tần thích nghi mới.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống thay đổi tần số thích nghi cho thiết bị thông tin vô tuyến dải rộng bao gồm thiết bị phát và thiết bị thu trao đổi thông tin trên đường truyền không dây, cụ thể: tại thiết bị phát, gồm:

khối giám sát phổ băng rộng, gồm:

khối phân đoạn phổ: trong mỗi chu kỳ giám sát phổ, khối phân đoạn phổ sẽ chia tín hiệu dải rộng thu được thành M dải con tương ứng với băng thông xử lý tức thời của hệ thống;

khối tính toán công suất phổ: dữ liệu đầu vào của khối là M tín hiệu dải con từ khối phân đoạn phổ; tại khối này, dữ liệu IQ của hai đoạn liên tiếp được lấy chồng (overlapping) với một tỷ lệ cho trước (ví dụ 50% trùng nhau), và nhân với hàm cửa sổ hanning, trước khi thực hiện biến đổi fourier nhanh (FFT); giá trị FFT được tính toán sẽ được chuẩn hóa theo số điểm tính FFT và phổ công suất được tính theo công thức:

$$Power_spectrum(k) = FFT_I(k)^2 + FFT_Q(k)^2$$

phổ công suất được tính toán sẽ được điều chỉnh biên độ để bù ảnh hưởng của quá trình thực hiện nhân với hàm cửa sổ bằng cách nhân với một hệ số điều chỉnh tương ứng với cửa sổ hanning đã sử dụng; cuối cùng, phổ công suất được tính trung bình trên toàn bộ M đoạn;

khối ước lượng ngưỡng tín hiệu: dữ liệu của mỗi đoạn tín hiệu băng hẹp từ khối phân đoạn phổ và mật độ phổ công suất từ khối tính toán công suất phổ là đầu vào của khối ước lượng ngưỡng tín hiệu nhằm ước lượng nền nhiễu; do việc ước lượng nền nhiễu thường có sai lệch và các tín hiệu thu bị thăng giáng nhanh, thay vì trực tiếp dùng nền nhiễu để phát hiện tín hiệu, khối ước lượng ngưỡng tín hiệu xác định ngưỡng tín hiệu bằng nền nhiễu cộng thêm một giá trị dịch (offset) trong thang đo deciben (dB); các thành phần phổ có mật độ công suất lớn hơn hoặc bằng giá trị ngưỡng tín hiệu sẽ được xem là có tín hiệu tồn tại (bị chiếm dụng/có nhiễu), ngược lại xem như không có tín hiệu trong băng; công thức để xác định ngưỡng phát tín hiệu $D_m[k]$ như sau:

$$D_m[k](dB) = F_m[k](dB) + T_{offset}(dB)$$

trong đó, F_m là giá trị nền nhiễu ước lượng được; T_{offset} là giá trị dịch so với nền nhiễu, đơn vị dB; việc thiết lập giá trị T_{offset} dựa trên

đặc điểm của tín hiệu băng rộng cần giám sát và đảm bảo sự cân bằng giữa tăng độ nhạy phát hiện tín hiệu mong muốn (T_{offset} có giá trị nhỏ) và giảm xác suất phát hiện nhầm tín hiệu thành nhiễu (T_{offset} có giá trị lớn);

khối phân tích phổ dải rộng: đầu vào của khối này là ngưỡng phát hiện tín hiệu và mật độ phổ công suất của các đoạn tín hiệu dải hẹp; bằng cách so sánh mật độ phổ công suất với ngưỡng phát hiện tín hiệu trong mỗi dải, khối phân tích phổ dải rộng quyết định dải tần nào đang có nhiễu, dải tần nào đang trống và xây dựng bảng tần số thích nghi; theo đó, bảng tần số thích nghi chỉ chứa các tần số mà dải tần tương ứng được đánh giá là tốt (tức là được xác định không bị chiếm dụng tại dải tần chứa tần số này);

khối cập nhật bảng tần số thích nghi: từ kết quả thu được từ khối giám sát phổ băng rộng và khối nhận thông tin phản hồi (nếu có), khối cập nhật bảng tần số thích nghi lựa chọn các tần số được đánh giá là tốt theo cả hai chiều phát và thu từ danh sách các tần số hoạt động của bảng tần số hiện tại; kết quả của khối này là bảng tần số mới chứa các tần số có chất lượng kênh truyền tốt ở điều kiện hiện tại; trường hợp thiết bị phát mới khởi tạo phiên truyền thông, danh sách các tần số thuộc bảng tần số thích nghi được lựa chọn trực tiếp từ kết quả của khối giám sát phổ băng rộng;

khối truyền đồng bộ và thông tin điều khiển: cho phép thiết bị phát khởi tạo phiên truyền các thông tin đồng bộ và điều khiển đến thiết bị thu lần lượt trên một chuỗi các tần số được xác định trước giữa hai thiết bị; giá trị tần số và thứ tự của chuỗi tần số này được thống nhất trước giữa hai thiết bị và có thể được sinh ra bằng thuật toán sinh chuỗi ngẫu nhiên sử dụng các thông tin chung, bí mật và duy nhất của cả hai như địa chỉ của thiết bị, các khóa..., kết hợp với thời gian hệ thống để làm cho chuỗi thứ tự này thay đổi theo thời gian nhưng cả hai phía thu và phát vẫn đều biết; thông qua khối truyền đồng bộ và thông tin điều khiển, thiết bị phát đảm bảo thiết bị thu có thể đồng bộ và thu dữ liệu điều khiển chứa bảng tần số thích nghi chính xác, trước khi chuyển sang khối truyền dữ liệu và thông tin thăm dò;

khối truyền dữ liệu và thông tin thăm dò: thực hiện việc phát đi dữ liệu cần gửi trên các tần số thuộc bảng tần số thích nghi, ghép xen với các đoạn dữ liệu thăm dò trên các tần số khác nhau thuộc dải tần hoạt động, nhằm mục đích cho phép thiết bị thu đánh giá chất lượng kênh truyền của dải tần hoạt động tại thời điểm hiện tại; để có thể

đánh giá chất lượng kênh, thiết bị phát phát đi một chuỗi bit thăm dò (probing) có dạng (pattern) cố định, và biết trước ở cả hai phía thu và phát; chuỗi bit được phát đi lần lượt trên các tần số khác nhau của dải tần băng rộng; quá trình phát dữ liệu thăm dò này được ghép xen kẽ cùng với quá trình truyền thông tin của người dùng nhằm tăng tính ngẫu nhiên, đảm bảo độ an toàn thông tin;

khối nhận phản hồi 205: nhằm mục đích thu thông tin về kết quả đánh giá các tần số trong bảng tần số hoạt động tại phía thu; thông tin này được xem như đầu vào của khối cập nhật bảng tần thích nghi nhằm cập nhật và thay đổi kênh truyền trong bảng tần số thích nghi; với mô hình truyền tin bán song công, tại những thời điểm cho trước, thiết bị phát cần chuyển trạng thái từ phát sang thu để nhận các bản tin chứa thông tin phản hồi trước khi điều chỉnh bảng tần số và tiếp tục truyền tin;

tại thiết bị thu, gồm:

khối đồng bộ và thông tin điều khiển: cho phép thiết bị thu đồng bộ với thiết bị phát và thu nhận thông tin điều khiển chứa danh sách các tần số trong bảng tần số thích nghi; thiết bị thu lắng nghe, thu tín hiệu đồng bộ và thông tin điều khiển theo một chuỗi tần số thay đổi bao gồm các tần số và thứ tự được xác định trước bởi hai thiết bị; thứ tự thay đổi tần số và giá trị các tần số được xác định bằng cách sử dụng thuật toán sinh chuỗi ngẫu nhiên đã được thống nhất giữa hai thiết bị giống như trong khối truyền đồng bộ và thông tin điều khiển của bên phát; thông tin điều khiển thu được chứa danh sách các tần số có chất lượng kênh tốt thuộc bảng tần số thích nghi và các tần số này được sử dụng trong quá trình thu dữ liệu và thông tin thăm dò tại khối nhận dữ liệu và thông tin thăm dò;

khối nhận dữ liệu và thông tin thăm dò: thiết bị thu nhận thông tin của bên phát trên các tần số trong bảng tần số thích nghi (những tần số được đánh giá là tốt); các tần số của quá trình truyền tin này được ghép xen với các tần số của quá trình truyền dữ liệu thăm dò (là chuỗi dữ liệu biết trước tại hai bên thu phát), nhằm mục đích đánh giá chất lượng kênh tại mỗi tần số của dải tần hoạt động ở phía thu tại khối đánh giá chất lượng tần số; việc ghép xen quá trình truyền dữ liệu và truyền thông tin thăm dò giúp tăng tính ngẫu nhiên của chuỗi thay đổi tần số;

khối đánh giá chất lượng tần số: đánh giá chất lượng kênh truyền ở mỗi tần số trong dải tần hoạt động của phía thu thông qua chỉ số giá trị chất lượng kênh; giá trị

chất lượng kênh được xác định bằng tỉ lệ bit lỗi của dữ liệu thăm dò thu được ở tần số này khi so sánh với chuỗi dữ liệu thăm dò đã biết trước:

$$LQV_i = \frac{\text{Số lượng bits lỗi}}{\text{Số bits thăm dò trên tần số } i}$$

khối gửi phản hồi: thông tin về chất lượng kênh truyền tại các tần số thuộc dải tần hoạt động ở phía thu sẽ được phản hồi cho bên phát thông qua khối gửi phản hồi; thông tin này cho phép thiết bị phát biết được trạng thái kênh tại phía thu và từ đó cập nhật và thay đổi kênh truyền trong bảng tần số thích nghi đảm bảo hiệu năng truyền tin tốt theo cả hai chiều; thông tin này được phản hồi tại những thời điểm cho trước, chẳng hạn kết thúc quá trình nhận dữ liệu và thông tin thăm dò kênh truyền ở khối nhận dữ liệu và thông tin thăm dò, thiết bị thu chuyển từ trạng thái thu sang trạng thái phát và gửi bản tin thông báo cho thiết bị phát.

2. Phương pháp thay đổi tần số thích nghi cho thiết bị thông tin vô tuyến dải rộng bao gồm:

tại chiều phát:

bước 1.1: giám sát phổ băng rộng - bước này được thực hiện ở khối giám sát phổ băng rộng; mỗi thiết bị thông tin vô tuyến dải rộng trước khi bắt đầu truyền thông đều tự thực hiện quá trình giám sát phổ dải rộng tại những thời điểm nhất định; thông tin đầu vào là tín hiệu IQ băng rộng được lấy mẫu và số hóa; kết quả đầu ra là trạng thái phổ băng rộng, cụ thể là trạng thái kênh truyền (tốt/xấu) tại mỗi tần số trong băng tần giám sát; thông tin này là cơ sở để lựa chọn băng tần số thích nghi của các thiết bị khi một thiết bị thông tin phát (gọi là master) khởi tạo phiên truyền thông;

bước 1.2: cập nhật bảng tần số thích nghi - bước này được thực hiện ở khối cập nhật bảng tần số thích nghi; thiết bị phát (master) cập nhật bảng tần số thích nghi dựa trên các thông tin đầu vào là kết quả quá trình giám sát phổ và dữ liệu phản hồi về chất lượng kênh truyền của các tần số từ thiết bị thu (gọi là slave) (nếu có), và lựa chọn các tần số hoạt động tốt ở cả hai chiều thu phát; kết quả đầu ra là bảng tần số chứa các tần số thích nghi có điều kiện hoạt động tốt tại cả hai bên thu và phát;

bước 1.3: truyền thông tin đồng bộ, điều khiển - bước này được thực hiện ở khối truyền đồng bộ và thông tin điều khiển; thông tin đồng bộ, danh sách chứa các tần số thuộc bảng tần thích nghi ở bước 1.2 và các thông tin khác (như chế độ hoạt động, chế độ truyền tin, tốc độ truyền tin...) được kết hợp để tạo thành thông tin điều khiển

và truyền đi khi khởi tạo phiên truyền thông; thông tin được truyền trên các tần số tuân theo thứ tự là một chuỗi các tần số thay đổi được thống nhất trước giữa hai thiết bị (đã được biết trước bởi cả hai thiết bị vô tuyến);

bước 1.4: truyền dữ liệu, thông tin thăm dò - bước này được thực hiện ở khối truyền dữ liệu và thông tin thăm dò; đầu vào là dữ liệu chứa thông tin của người dùng (như thoại, hình ảnh, văn bản...) được mã hóa, điều chế và phát đi trên các tần số thích nghi đã lựa chọn ở bước 1.2; thiết bị phát cũng truyền thông tin thăm dò chất lượng kênh truyền (probing) trên các tần số thuộc dải tần hoạt động; kết quả đầu ra của bước này là dữ liệu đã được mã hóa, điều chế chứa thông tin và dữ liệu thăm dò kênh truyền;

bước 1.5: nhận phản hồi - bước này được thực hiện ở khối nhận phản hồi; với mô hình hoạt động bán song công, tại những thời điểm nhất định, thiết bị phát cần chuyển từ trạng thái phát sang trạng thái thu để nhận dữ liệu phản hồi từ thiết bị thu (hoặc slave) chứa thông tin đánh giá chất lượng kênh truyền của các tần số trong dải tần hoạt động (đầu ra của khối gửi phản hồi 304); kết quả là bảng tần số chứa các tần số hoạt động tốt tại phía thu;

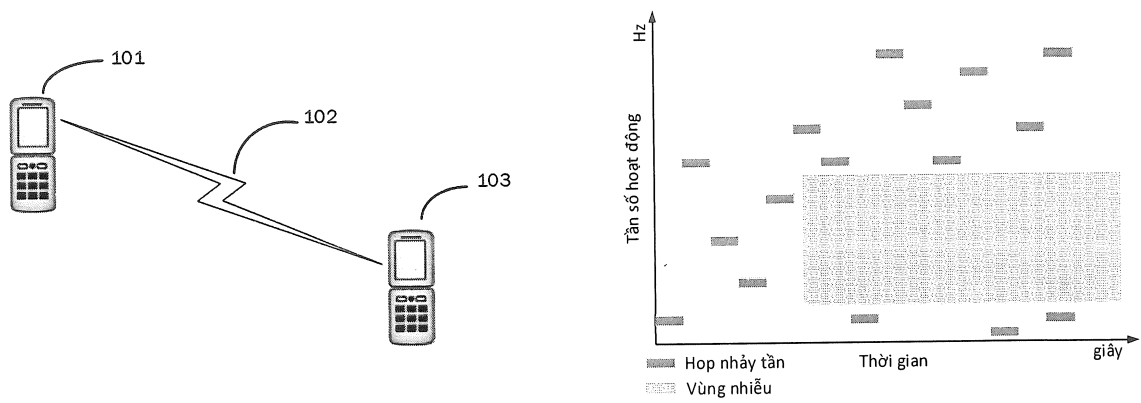
tại chiều thu:

bước 2.1: thu đồng bộ, thông tin điều khiển - bước này được thực hiện ở khối đồng bộ và thông tin điều khiển; thiết bị thu (hoặc slave) thực hiện lắng nghe kênh truyền trên một chuỗi các tần số với thứ tự thay đổi đã biết trước (thống nhất giữa bên thu và bên phát) để thực hiện quá trình thu tín hiệu đồng bộ với thiết bị phát; tại quá trình này, thiết bị nhận tín hiệu băng rộng đã được lấy mẫu, số hóa và xử lý tại các tần số cho trước; sau khi đồng bộ thành công với thiết bị phát, thông tin điều khiển chứa dữ liệu bảng tần số thích nghi phát bởi thiết bị phát sẽ được giải mã và cập nhật tại thiết bị thu để thống nhất thứ tự thay đổi tần số giữa hai thiết bị trong quá trình truyền tin; kết quả đầu ra tại bước này là bảng tần số thích nghi chứa danh sách các tần số được sử dụng tại chu kỳ truyền tin hiện tại;

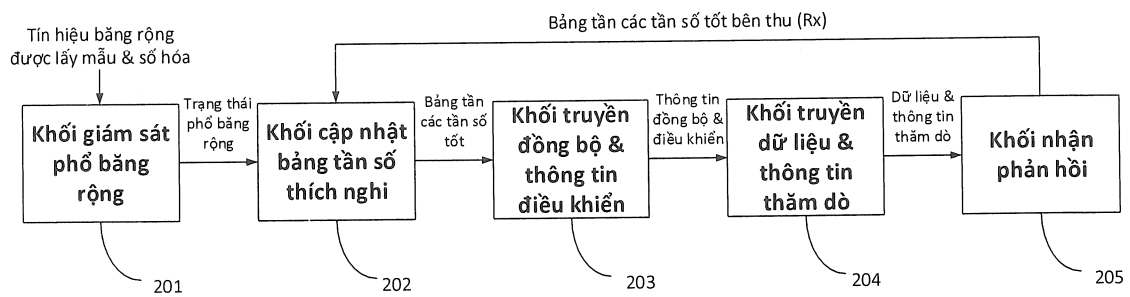
bước 2.2: nhận dữ liệu và thông tin thăm dò - khối nhận dữ liệu và thông tin thăm dò; đầu vào của khối là tín hiệu thu nhận chứa thông tin cần truyền trên các tần số thuộc bảng tần thích nghi và dữ liệu thăm dò thu được ở khối đồng bộ và thông tin điều khiển; dữ liệu thăm dò kênh truyền trên các tần số trong dải tần hoạt động được sử dụng để kiểm tra chất lượng kênh truyền;

bước 2.3: đánh giá chất lượng tần số - bước này được thực hiện ở khối đánh giá chất lượng tần số; dựa trên dữ liệu đầu vào là dữ liệu thăm dò kênh truyền thu được tại các tần số thuộc dải tần hoạt động, thiết bị thu so sánh và đánh giá chất lượng kênh truyền bằng cách kiểm tra độ chính xác của dữ liệu thăm dò thu được với dữ liệu thăm dò biết trước; từ đó, đưa ra ước lượng về tỉ lệ lỗi bit (BER) phản ánh chất lượng kênh truyền; thông tin này là cơ sở để xây dựng bảng tần số chứa các tần số hoạt động tốt (cụ thể là giá trị BER phải nhỏ hơn ngưỡng quy định mô tả ở khối đánh giá chất lượng tần số) tại phía thu;

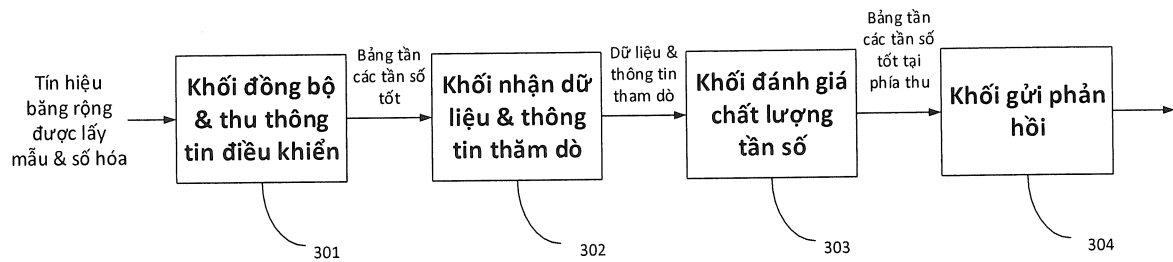
bước 2.4: gửi phản hồi - bước này được thực hiện ở khối gửi phản hồi; thiết bị thu cập nhật kết quả đánh giá kênh truyền của dải tần hoạt động hiện tại và xây dựng bảng tần thích nghi mới chứa các tần số hoạt động tốt tại phía thu và gửi lại thông tin này cho thiết bị phát để cập nhật bảng tần thích nghi mới.



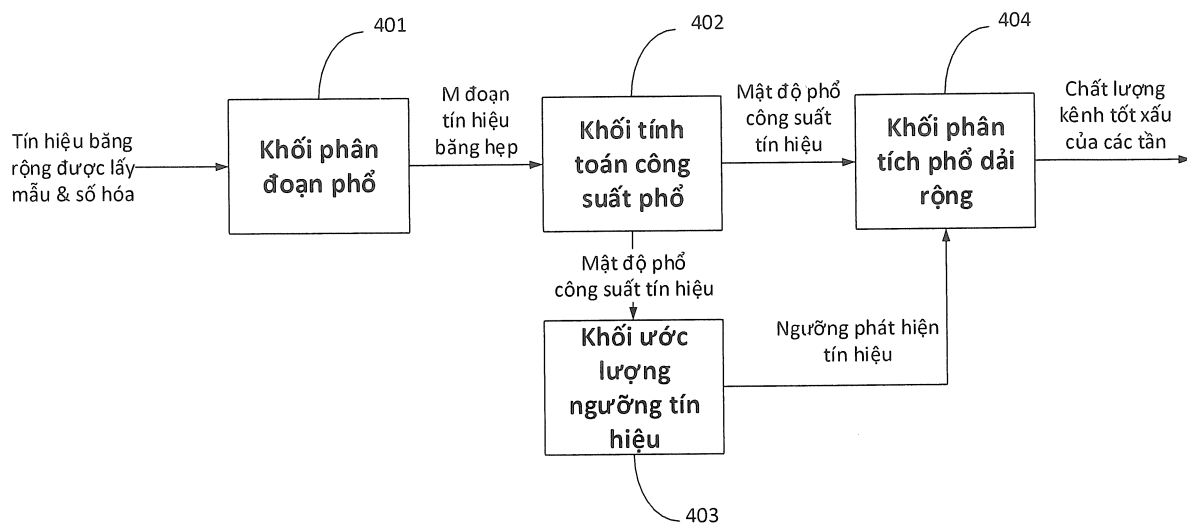
Hình 1



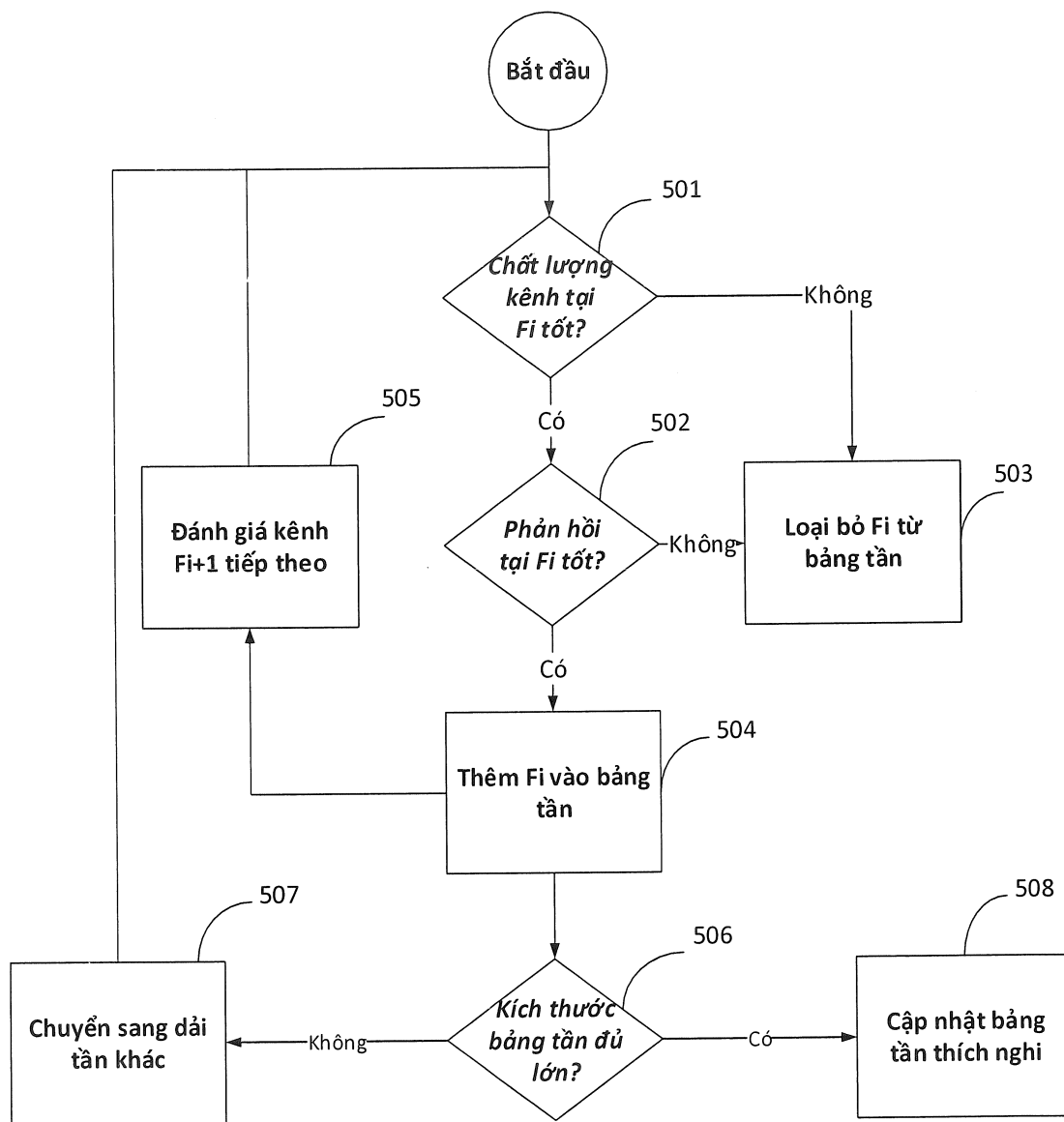
Hình 2



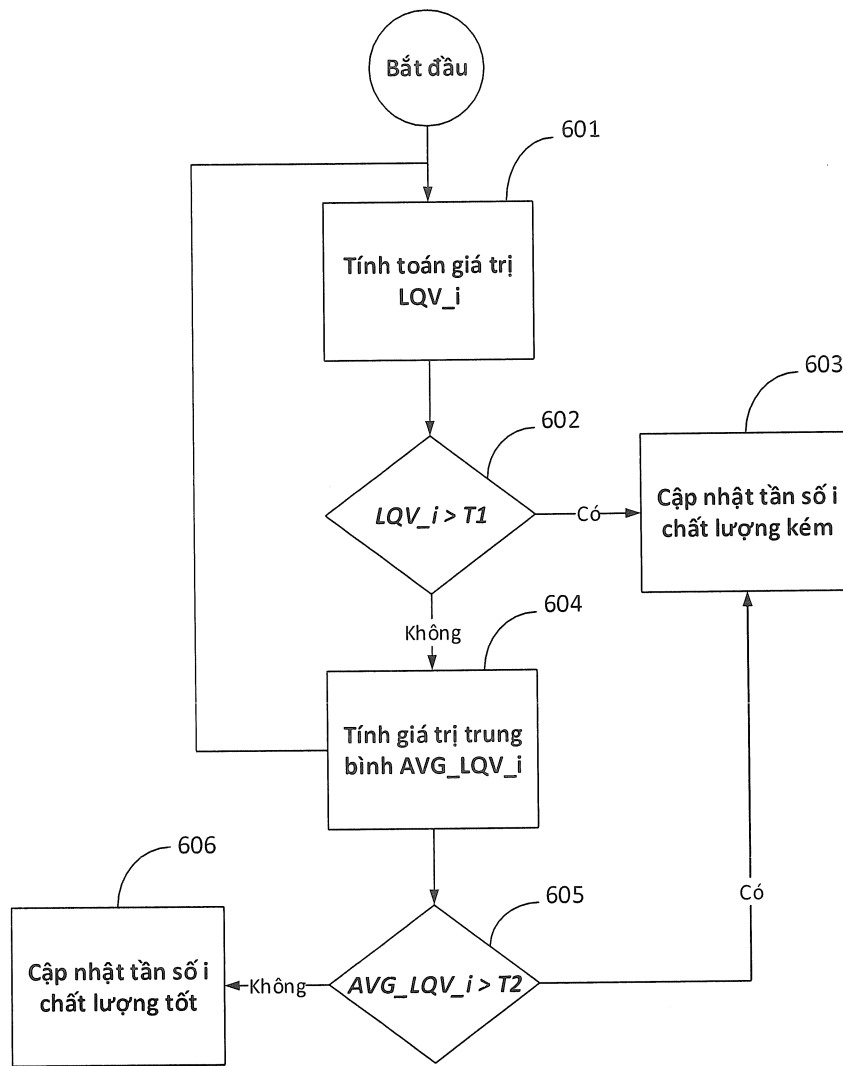
Hình 3



Hình 4



Hình 5



Hình 6