



(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)



1-0036563

(51)^{2020.01} H04L 1/00; H04L 5/00; G06F 11/00

(13) B

(21) 1-2020-06180

(22) 27/10/2020

(45) 25/08/2023 425

(43) 25/02/2021 395

(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) ĐỒNG QUANG TRUNG (VN); NGUYỄN VIỆT HÙNG (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACILAW)

(54) HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NÂNG CAO HIỆU NĂNG ƯỚC LƯỢNG
KÊNH TRUYỀN CỦA HỆ THỐNG TRUYỀN TIN SỬ DỤNG SÓNG MANG
TRỰC GIAO

(57) Sáng chế đề xuất hệ thống và phương pháp nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền của hệ thống truyền tin sử dụng sóng mang trực giao (OFDM), thông qua quá trình áp dụng đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trước đó để tính toán/xác định/nâng cao đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại, với việc sử dụng phương pháp đệ quy với hai tham số α , β , và áp dụng trạng thái CRC của quá trình giải mã các khối dữ liệu trước đó để lựa chọn đáp ứng kênh truyền cho thời điểm hiện tại.

Bước 1: thực hiện biến đổi Fourier chuyển tín hiệu OFDM sang miền tần số, và thực hiện quá trình ước lượng đáp ứng kênh truyền tại các ký tự hoa tiêu. Thực hiện ước lượng tham số SNR và Doppler.



Bước 2: thực hiện quá trình giải điều chế tín hiệu QAM, và đưa vào bộ giải mã kênh để thu dữ liệu luồng bit truyền đi. Kiểm tra giá trị CRC để xem khối dữ liệu hiện tại có bị lỗi không.



Bước 3: ước lượng (nâng cao ước lượng) đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại với sự hỗ trợ từ trạng thái CRC của khối dữ liệu trước đó và đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trước đó có sử dụng trọng số (α, β) .

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập tới hệ thống và phương pháp nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền của hệ thống truyền tin sử dụng sóng mang trực giao (OFDM- Orthogonal Frequency Division Multiplexing), được ứng dụng trong lĩnh vực công nghệ truyền thông điện tử.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Thành phần chính của một hệ thống truyền tin, quyết định đến hiệu năng của hệ thống (tỉ lệ bit bị lỗi) đó là khối ước lượng kênh truyền. Trong hệ thống truyền tin sử dụng điều chế sóng mang trực giao (OFDM) thì quá trình ước lượng kênh truyền là quá trình ước lượng đáp ứng kênh truyền tại tất cả các sóng mang, để có thể bù trừ, loại bỏ các ảnh hưởng của kênh truyền lên các sóng mang con (trong chuẩn 4G, 5G thì các sóng mang con được gọi là các RE - resource element).

Các hệ thống truyền tin OFDM thường cung cấp các kí tự hoa tiêu (pilot) để thực hiện quá trình ước lượng kênh truyền như Hình 1 và Hình 2. Trong đó mỗi ký tự OFDM (OFDM symbol) sẽ mang các kí tự hoa tiêu $P(i,j)$ chen lẫn giữa các kí tự QAM truyền thông tin có ích, với trục ngang biểu diễn miền thời gian, trục dọc biểu diễn miền tần số.

Hiệu năng của một bộ thu OFDM đó là khả năng loại bỏ nhiễu (nhiều do môi trường, nhiễu giao thoa) ra khỏi các kí tự hoa tiêu (pilot), đặc biệt trong trường hợp nền nhiễu cao (với tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu (signal to noise ratio) thấp). Một giải pháp giảm công suất nhiễu đó là sử dụng nhiều kí tự hoa tiêu trong cả miền thời gian và miền tần số để tăng độ tin cậy cũng như tăng hiệu năng giải mã của hệ thống. Tuy nhiên việc truyền nhiều kí tự hoa tiêu sẽ làm giảm tốc độ truyền dữ liệu, do các kí tự hoa tiêu không truyền thông tin có ích, từ đó làm giảm hiệu năng hệ thống.

Trong các hệ thống truyền tin vô tuyến sử dụng điều chế OFDM thế hệ mới, tại điểm thu, thông thường có những khối chính như tham chiếu Hình 3:

- Khối cân bằng kênh: có nhiệm vụ loại bỏ các tác động của kênh truyền như vấn đề đa đường, vấn đề dop-ler hay vấn đề pha-đỉnh (fading). Đầu vào của khối là luồng tín

hiệu sau biến đổi Fourier của tín hiệu OFDM. Bên trong khối cân bằng kênh truyền, các sóng mang con mang kí tự hoa tiêu được tách ra và được lưu trong bộ nhớ để thực hiện quá trình cân bằng kênh, và hỗ trợ quá trình loại bỏ tác động của kênh truyền tại các sóng mang con mang dữ liệu có ích.

- Khối giải điều chế QAM: là khối giải điều chế mềm các tín hiệu QAM, thực hiện quá trình tìm điểm trên giải đồ chòm sao gần nhất với dữ liệu IQ thu được.
- Khối giải ghép xen: loại bỏ dữ liệu bit dư thừa đã được thêm vào tại phía phát. Phía phát ghép xen luồng bit dữ liệu truyền đi với luồng bit dư thừa để tăng tính bảo mật, cũng như tăng hiệu suất phổ tín hiệu.
- Khối tổng hợp điều chế QAM: khối này thường có trong các chuẩn 4G, 5G. Mục đích để tổng hợp lại dữ liệu QAM từ nhiều luồng xử lý song song trước đó. Mỗi luồng xử lý song song bao gồm một khối giải điều chế QAM và một khối giải ghép xen.
- Khối giải xáo trộn: đặt trả lại các dữ liệu QAM ở đúng vị trí vốn có của nó. Do phía phát đã thực hiện xáo trộn luồng dữ liệu để tăng tính bảo mật cũng như khả năng sửa lỗi.
- Khối giải mã kênh: thực hiện quá trình sửa lỗi do nhiễu trong quá trình truyền. Đầu ra của khối giải mã kênh là luồng bit dữ liệu và trạng thái CRC (Cyclic Redundancy Check) của luồng bit dữ liệu đó.
- Khối kiểm tra trạng thái CRC: sử dụng trạng thái CRC cho phép biết được luồng bit thu được bị lỗi hoặc không bị lỗi. Nếu bị lỗi, thì yêu cầu phía phát truyền lại khối dữ liệu đó.

Trong hệ thống truyền tin vô tuyến hiện nay (kể cả hệ thống 4G và 5G) sử dụng điều chế OFDM tham chiếu Hình 3, có những hạn chế như sau: quá trình ước lượng đáp ứng kênh truyền luôn luôn được thực hiện tại mỗi chu kỳ thời gian (thời điểm t) và giá trị đáp ứng kênh truyền chỉ được sử dụng để ước lượng dữ liệu truyền đi tại thời điểm đó (thời điểm t), mà không có sự tận dụng giá trị đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trong quá khứ (thời điểm $t-1$, $t-2$,...). Việc tận dụng giá trị đáp ứng kênh truyền trong quá khứ có các điểm lợi:

- Nâng cao giá trị tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR - signal to noise ratio.

- Tiết kiệm tài nguyên tính toán, trong một số trường hợp, thay vì phải tốn tài nguyên để ước lượng giá trị đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại (thời điểm t), thì có thể dùng trực tiếp giá trị đáp ứng kênh truyền tại thời điểm trong quá khứ (thời điểm $t-1$) và coi đó là đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại (thời điểm t).
- Chưa tận dụng hết giá trị trạng thái CRC: Trạng thái CRC từ trước đến giờ chỉ mới được sử dụng ở một mục đích duy nhất đó là yêu cầu phía phát truyền lại khối dữ liệu nếu như trạng thái CRC bị sai và ngược lại. Tuy nhiên, trạng thái CRC đúng còn có thể được sử dụng để thông báo là giá trị đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại là đúng, và ngược lại, khi trạng thái CRC sai còn có thể được thông báo là giá trị đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại là chưa đúng.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích thứ nhất của sáng chế là đề cập đến một hệ thống nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền của hệ thống truyền tin sử dụng sóng mang trực giao (OFDM). Tác giả đề xuất sử dụng thông tin trạng thái CRC của luồng bit dữ liệu đầu ra của khối giải mã kênh (ở thời điểm quá khứ) là thông tin điều khiển quá trình nâng cao hiệu năng cân bằng kênh truyền của hệ thống truyền tin OFDM.

Để đạt được mục đích thứ nhất, sáng chế đề xuất một hệ thống phân thu nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền bao gồm các khối chính: khối cân bằng kênh, khối ước lượng các tham số SNR và đóp-lơ, khối giải điều chế QAM, khối giải mã kênh, khối kiểm tra trạng thái CRC và lựa chọn đáp ứng kênh truyền tại kí tự hoa tiêu của khối dữ liệu trước đó, và khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền. Trong đó điểm khác biệt ở:

- Khối cân bằng kênh: tại khối này, đáp ứng kênh truyền tại các kí tự hoa tiêu được xác định thông qua việc sử dụng đáp ứng kênh truyền tại các kí tự hoa tiêu ở thời điểm trong quá khứ và coi như là đáp ứng kênh truyền của các kí tự hoa tiêu ở thời điểm hiện tại, hoặc sử dụng đáp ứng kênh truyền của các kí tự hoa tiêu ở đầu ra khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền.
- Khối kiểm tra trạng thái CRC: thực hiện xác định trạng thái giải mã kênh ở thời điểm trước đó (thời điểm $t-1$, $t-2$...), để quyết định sử dụng đáp ứng kênh truyền ở thời điểm trong quá khứ (thời điểm $t-1$, $t-2$, ...) hay sử dụng đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại (thời điểm t).

- Khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền: là thành phần quan trọng quyết định hiệu năng của khối ước lượng kênh truyền. Tại đó, cho phép sử dụng đáp ứng kênh truyền ở các thời điểm trong quá khứ và đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại, thông qua các tham số (α, β) và phép toán đệ quy, để xác định đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại (thời điểm t) nếu như trạng thái CRC của khối dữ liệu ở thời điểm quá khứ (thời điểm $t-1$) là sai. Quá trình tổng hợp đáp ứng kênh truyền ở khối này được thực hiện thông qua đáp ứng kênh truyền tại các ký tự hoa tiêu.

Mục đích thứ hai của sáng chế là đề cập đến một phương pháp nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền của hệ thống truyền tin sử dụng sóng mang trực giao (OFDM). Phương pháp được đề cập sử dụng đáp ứng kênh truyền của hệ thống truyền tin OFDM ở các thời điểm trong quá khứ (thời điểm $t-1$, $t-2$...) để nâng cao khả năng ước lượng đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại (thời điểm t). Để đạt được mục đích thứ hai, sáng chế đề xuất phương pháp gồm các bước:

Bước 1: thực hiện quá trình ước lượng đáp ứng kênh truyền tại các ký tự hoa tiêu. Thực hiện ước lượng tham số SNR và đốp-lơ.

Bước 2: thực hiện quá trình giải điều chế tín hiệu QAM, và đưa vào bộ giải mã kênh để thu dữ liệu luồng bit truyền đi. Kiểm tra giá trị CRC để xem khối dữ liệu hiện tại có bị lỗi không.

Bước 3: ước lượng (nâng cao ước lượng) đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại với sự hỗ trợ từ trạng thái CRC của khối dữ liệu trước đó và đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trước đó có sử dụng trọng số (α, β) .

Trong đó bước 1 và bước 3 đóng vai trò chính trong nội dung sáng chế. Bước 2 là bước tổng quan có thể dùng chung trong các hệ thống truyền tin vô tuyến, là các khối tham chiếu, không bị giới hạn về mặt kỹ thuật, nên sẽ không cần thiết nêu chi tiết ở trong nội dung sáng chế này.

Kết quả đầu ra của hệ thống và phương pháp là nâng cao tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR tại các ký tự hoa tiêu, thông qua trạng thái CRC của khối dữ liệu bit tại các thời điểm trong quá khứ để từ đó nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền ở thời điểm hiện tại, giảm thiểu nhiễu tại các sóng mang mang thông tin có nghĩa, nâng cao hiệu năng sửa lỗi cũng như hiệu năng truyền tin của hệ thống.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình ảnh minh họa phân bố vị trí các kí tự hoa tiêu theo đường chéo trong miền thời gian và tần số trong chuẩn DVB;

Hình 2 là hình ảnh minh họa phân bố vị trí các kí tự hoa tiêu trong miền thời gian và tần số trong chuẩn 4G;

Hình 3 là hình ảnh minh họa các khối chính của hệ thống truyền tin sử dụng dạng điều chế OFDM;

Hình 4 là hình ảnh minh họa kiến trúc hệ thống xác định đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại (thời điểm t) dựa vào trạng thái của khối trạng thái CRC thông qua đáp ứng kênh truyền tại thời điểm trước đó (thời điểm $t-1$);

Hình 5 là hình ảnh minh họa quá trình tính toán tương quan giữa hai kí tự hoa tiêu với thời gian trễ là $T_{trễ}$ kí tự OFDM;

Hình 6 là hình ảnh minh họa quá trình nâng cao ước lượng kênh truyền tại các kí tự hoa tiêu sử dụng đáp ứng kênh truyền tại các kí tự hoa tiêu ở thời điểm trước đó;

Hình 7 là hình ảnh minh họa chuỗi thực hiện quá trình nâng cao ước lượng kênh truyền trong hệ thống truyền tin sử dụng điều chế OFDM.

Mô tả chi tiết sáng chế

Phần sau đây mô tả chi tiết các phương án thực hiện sáng chế thông qua diễn giải và hình vẽ kèm theo. Trong đó các thuật ngữ chuyên môn trong sáng chế này được hiểu như sau:

- Hệ thống truyền tin đa sóng mang trực giao: là các hệ thống truyền tin vô tuyến sử dụng các sóng mang trực giao để truyền các kí tự QAM. Đây thường là hệ thống truyền tin tốc độ cao, thường được sử dụng rộng rãi hiện nay, trong chuẩn 4G, 5G và DVB-T.
- Kí tự hoa tiêu: là các kí tự mà cả bên phát và bên thu đều biết. Các kí tự hoa tiêu được sử dụng để ước lượng đáp ứng kênh truyền tại từng thời điểm của hệ thống.
- Tham số SNR: (signal to noise ratio) là tham số tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu. Là tham số đặc trưng cho hiệu năng truyền tin của hệ thống, và được sử dụng để ước lượng đáp ứng kênh truyền.

- Giải điều chế QAM: là khối giải điều chế các kí tự QAM, để thực hiện quá trình chuyển thành các dữ liệu trên giản đồ chòm sao QAM tương ứng, tùy thuộc và hệ thống truyền tin.
- Cân bằng kênh: là loại bỏ các vấn đề gây ra bởi môi trường truyền đi, như các vấn đề đađường, pha-đỉnh, tốc độ đốp-lơ...
- Giải mã kênh: là quá trình sử dụng các loại mã sửa sai để sửa lại những bit bị lỗi trong quá trình truyền tin trong môi trường vô tuyến.
- Giải ghép xen: Tại bên phát, một chuỗi thông tin dư thừa sẽ được thêm vào trong chuỗi dữ liệu truyền đi với mục đích tăng tính bảo mật thông tin. Bên thu sẽ thực hiện giải ghép xen để loại bỏ các bit thông tin dư thừa trong chuỗi dữ liệu thu được.
- Giải xáo trộn: Bên phát thực hiện hoán đổi (xáo trộn) vị trí của các bit thông tin, nhằm nâng cao khả năng chống nhiễu cục bộ do môi trường truyền tin. Phía thu sẽ thực hiện giải xáo trộn để đưa các bit thông tin về trạng thái ban đầu.
- Kiểm tra trạng thái CRC: chuỗi bit CRC là một chuỗi thường có kích thước 16 hoặc 24 bit, được chèn vào chuỗi thông tin có nghĩa tại phần phát. Quá trình kiểm tra trạng thái CRC là quá trình xác định giá trị 16 hoặc 24 bit tại phần thu, với mục đích cho biết khi trạng thái CRC đúng thì hệ thống biết là dữ liệu truyền đi đã được giải mã đúng. Còn khi trạng thái CRC sai thì hệ thống sẽ yêu cầu bên phát gửi lại khối dữ liệu đã bị sai.

Hệ thống và phương pháp đề xuất được áp dụng kiến trúc phân bố vị trí các kí tự hoa tiêu như tham chiếu Hình 1, Hình 2, Hình 4, Hình 5, Hình 6 như thể hiện dưới đây chỉ có tác dụng làm rõ và sẽ không áp đặt bất kỳ giới hạn nào đối với giải pháp kỹ thuật.

Để đạt được mục đích thứ nhất của sáng chế, tham chiếu Hình 4, hệ thống nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền của hệ thống truyền tin sử dụng sóng mang trực giao (OFDM) bao gồm: khối cân bằng kênh, khối ước lượng tham số SNR và đốp-lơ, khối giải điều chế QAM, khối giải mã kênh, khối kiểm tra trạng thái CRC và lựa chọn đáp ứng kênh truyền tại kí tự hoa tiêu của khối dữ liệu trước đó, khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền.

Trong đó, các khối: khối giải điều chế QAM, khối giải mã kênh là các khối tổng quan có thể dùng chung trong các hệ thống truyền tin vô tuyến (kể cả 4G và 5G), là các

khối tham chiếu, không bị giới hạn về mặt kỹ thuật, nên sẽ không cần thiết nêu chi tiết ở trong nội dung sáng chế này.

Trong đó điểm mới của sáng chế nằm ở các khối: khối tính toán ước lượng các tham số SNR và đốp-lơ, khối kiểm tra trạng thái CRC và lựa chọn đáp ứng kênh truyền tại ký tự hoa tiêu của khối dữ liệu trước đó và khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền. Cụ thể:

- Khối tính toán ước lượng các tham số SNR và đốp-lơ: tham chiếu Hình 4, khối tính toán ước lượng các tham số SNR và đốp-lơ để xác định số lượng đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trong quá khứ để tính toán cho đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại;
- Khối kiểm tra trạng thái CRC: tham chiếu Hình 4, khi trạng thái của chuỗi trạng thái CRC của khối dữ liệu trước đó (thời điểm $t-1$) cho phép bản tin của khối dữ liệu trước đó được giải mã đúng và giá trị đốp-lơ là nhỏ, thì đáp ứng kênh truyền tại các vị trí ký tự hoa tiêu ở khối dữ liệu ở thời điểm trước đó ($t-1$) sẽ được sử dụng và trở thành đáp ứng kênh truyền của hệ thống tại thời điểm hiện tại (thời điểm t). Trong trường hợp trạng thái chuỗi trạng thái CRC của khối dữ liệu ở thời điểm trước đó ($t-1$) chỉ ra rằng bản tin dữ liệu ở thời điểm trước đó ($t-1$) bị giải mã sai thì đáp ứng kênh truyền tại các ký tự hoa tiêu ở thời điểm hiện tại (thời điểm t) sẽ được sử dụng kết hợp với đáp ứng kênh truyền ở thời điểm quá khứ (thời điểm $t-1$) tại khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền để thực hiện quá trình tính toán và tạo ra đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại. Quá trình nâng cao khả năng ước lượng kênh truyền được điều khiển bởi trạng thái của chuỗi bit CRC và giá trị đốp-lơ tính toán ở trong khối ước lượng tham số SNR và đốp-lơ.

Tham chiếu Hình 4, khi trạng thái CRC của khối dữ liệu ở thời điểm trước đó ($t-1$) là giải mã sai hoặc khi giá trị đốp-lơ lớn, đáp ứng kênh truyền ở thời điểm trước đó ($t-1$) và đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại (t) sẽ được kết hợp với nhau có trọng số α , β và sẽ được thực hiện trong khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền.

- Khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền: quá trình tổng hợp xác định đáp ứng kênh truyền (tại khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền) của khối dữ liệu tại thời điểm hiện tại (t) có thể được sử dụng đáp ứng kênh truyền của nhiều khối dữ liệu ở các thời điểm liên tiếp trước đó ($t-1$; $t-2$; $t-3$...). Quá trình tính toán đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại thông qua đáp ứng kênh truyền ở các thời điểm trước đó được xử lý trong khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền theo dạng đệ quy. Trong trường hợp, giả sử kênh truyền không thay

đổi giữa hai khối dữ liệu, liên tiếp nhau thì có thể sử dụng đáp ứng kênh truyền tại hai thời điểm liên tiếp nhau. Trong trường hợp kênh truyền không thay đổi giữa nhiều thời điểm liên tiếp nhau, thì đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trước đó ($t-1$; $t-2$; $t-3 \dots$) có thể được sử dụng để thực hiện xác định đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại (t), có sử dụng trọng số. Trong trường hợp sử dụng quá trình kết hợp tuyến tính đáp ứng kênh truyền, có thể coi trọng số $\beta = \alpha = 1/2$. Như vậy, đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại (t) là giá trị trung bình của đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại (t) và đáp ứng kênh truyền tại thời điểm ngay trước đó ($t-1$). Trong trường hợp sử dụng quá trình kết hợp đáp ứng kênh truyền dưới dạng coi trọng số dưới dạng vòng lặp bộ lọc, có thể coi $\beta = 1 - \alpha$. Quá trình kết hợp đáp ứng kênh truyền có trọng số α, β được coi là quá trình lọc nhiễu tại các ký tự hoa tiêu, từ đó nâng cao tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR tại các ký tự hoa tiêu. Trong trường hợp trạng thái CRC của khối dữ liệu trước đó ($t-1$) là giải mã đúng, thì trọng số β có thể được lựa chọn đủ lớn để nâng cao độ tin cậy đáp ứng kênh truyền ở thời điểm trước đó ($t-1$) so với thời điểm hiện tại (t).

Tại thời điểm ban đầu, khi chỉ có một khối dữ liệu được xử lý, lúc này đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu đầu tiên được sử dụng để thực hiện cân bằng kênh tại thời điểm đó, qua chuỗi xử lý sẽ đưa ra ở đầu ra trạng thái CRC của khối dữ liệu đầu tiên, và đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu đầu tiên cũng được lưu giữ trong bộ nhớ và trở thành giá trị hỗ trợ nâng cao đáp ứng kênh truyền tại khung dữ liệu tiếp theo nếu như trạng thái CRC của dữ liệu đầu ra tại thời điểm ban đầu là giải mã đúng.

Theo mục đích thứ hai của sáng chế đề cập đến phương pháp nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền của hệ thống truyền tin sử dụng sóng mang trực giao (OFDM). Tham chiếu Hình 7, phương pháp được đề xuất bao gồm các bước:

Bước 1: thực hiện quá trình ước lượng đáp ứng kênh truyền tại các ký tự hoa tiêu. Thực hiện ước lượng tham số SNR và Doppler.

Tham chiếu Hình 4, bước 1 được thực hiện trong hai khối: khối cân bằng kênh và khối ước lượng tham số SNR và Doppler.

Tham chiếu Hình 4, dữ liệu IQ của từng ký tự OFDM sau khi biến đổi Fourier để chuyển từ miền thời gian sang miền tần số, dữ liệu IQ thu được sẽ được tách ra dữ liệu IQ cho ký tự hoa tiêu và dữ liệu IQ cho dữ liệu QAM. Dữ liệu IQ $r_{l,m}$ của ký tự hoa tiêu

$p_{l,m}$ sẽ được sử dụng để ước lượng đáp ứng kênh truyền tại các kí tự hoa tiêu của kí tự OFDM thứ l và của sóng mang thứ m , theo công thức sau (là công thức phổ biến):

$$h_{l,m} = \frac{r_{l,m} p_{l,m}^*}{|p_{l,m}|^2}$$

Trong trường hợp các kí tự hoa tiêu được sử dụng là các kí tự điều chế QPSK, như vậy $|p_{l,m}|^2 = 1$, do đó:

$$h_{l,m} = r_{l,m} p_{l,m}^*$$

Đáp ứng kênh truyền tại các vị trí kí tự hoa tiêu sau khi đã được ước lượng sẽ được sử dụng trong nhiều trường hợp khác nhau: để ước lượng các tham số tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR tại các sóng mang mang kí tự hoa tiêu, để ước lượng tham số Doppler, để nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền tại các khối dữ liệu tiếp theo trong cả trường hợp xảy ra vấn đề Doppler cao hay thấp.

Tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR tại các sóng mang mang kí tự hoa tiêu được tính theo công thức dưới đây, đây là công thức do tác giả đề xuất:

$$SNR = \frac{\sum_k \sum_{i=0}^{N_{sc}-1} |h_{k,i}|^2}{\sum_k \sum_{i=0}^{N_{sc}-1} |r_{k,i} - h_{k,i} * p_{k,i}|^2}$$

Trong đó $h_{k,i}$ là đáp ứng kênh truyền tại kí tự OFDM thứ k trong miền thời gian, và ở vị trí sóng mang mang kí tự hoa tiêu thứ i ; $r_{k,i}$ là kí tự IQ thu được trong miền tần số, trước khi thực hiện quá trình cân bằng kênh; $p_{k,i}$ là kí tự hoa tiêu được truyền đi tại kí tự OFDM thứ k trong miền thời gian, và ở vị trí sóng mang mang kí tự hoa tiêu thứ i . Trong đó, cần chú ý rằng, chỉ số k là chỉ số các kí tự OFDM có chứa các sóng mang con mang kí tự hoa tiêu.

Hiệu năng của một bộ thu phụ thuộc vào khả năng loại bỏ nhiễu (hay nói theo cách khác là tăng SNR) tại các kí tự hoa tiêu, đặc biệt ở nền nhiễu cao. Công suất nhiễu bị giảm đi tương ứng tỉ lệ với số lượng kí tự hoa tiêu được sử dụng theo công thức phổ biến sau:

$$\sigma_{filt}^2 \sim \frac{\sigma_0^2}{N_{pilot}}$$

Tham chiếu Hình 5, các sóng mang con mang kí tự hoa tiêu được sử dụng cách nhau $T_{tr\tilde{e}}$ là số lượng kí tự OFDM. Quá trình xác định giá trị tần số đốp-lơ được dựa trên quá trình tính toán tương quan giữa các đáp ứng kênh truyền tại các sóng mang con mang kí tự hoa tiêu, và được tính toán trung bình trên tổng số N_{sc} sóng mang con mang kí tự hoa tiêu. Như tham chiếu Hình 5, giá trị tương quan để xác định tần số đốp-lơ được thực hiện theo công thức sau (đây là công thức do tác giả đề xuất):

$$C = \frac{1}{N * N_{sc}} \sum_k \sum_{i=0}^{N_{sc}-1} h_{k,i} h_{k+T_{tr\tilde{e}},i}^*$$

Trong đó, cần chú ý rằng, chỉ số k là chỉ số các kí tự OFDM có chứa các sóng mang con mang kí tự hoa tiêu. Và N là tổng số kí tự OFDM có sóng mang con mang kí tự hoa tiêu.

Quá trình tính toán trung bình các giá trị tương quan ở trên là một bước lọc nhiễu tương quan. Do các sóng mang con mang kí tự hoa tiêu trải đều theo cả miền thời gian và miền tần số, nên quá trình tính toán tương quan trên có thể được mở rộng theo miền tần số cho dải tần rộng hơn với băng thông 20MHz như 4G hay tới 100MHz của 5G với số lượng sóng mang con mang kí tự hoa tiêu trong 1 kí tự OFDM càng tăng, tới 200 kí tự hoa tiêu trong một kí tự OFDM như ở 4G. Và quá trình tính toán tương quan trung bình ở trên có thể được mở rộng ra cả miền thời gian, với quá trình tương quan cho các sóng mang mang kí tự hoa tiêu ở các thời điểm trong cả quá khứ lẫn tương lai. Giá trị đốp-lơ được tính toán trong khối ước lượng tham số SNR và đốp-lơ, tham chiếu Hình 4.

Bước 2: thực hiện quá trình giải điều chế tín hiệu QAM, và đưa vào bộ giải mã kênh để thu dữ liệu luồng bit truyền đi. Kiểm tra giá trị CRC để xem khối dữ liệu hiện tại có bị lỗi không.

Tham chiếu Hình 4, bước 2 được thực hiện trong ba khối: khối giải điều chế QAM, khối giải mã kênh, khối kiểm tra trạng thái CRC và lựa chọn đáp ứng kênh truyền tại kí tự hoa tiêu của khối dữ liệu trước đó.

Bước này là bước tổng quan có thể dùng chung trong các hệ thống truyền tin vô tuyến, là các khối tham chiếu, không bị giới hạn về mặt kỹ thuật, nên đây không phải là điểm mới của sáng chế này.

Tại bước này, các tín hiệu IQ mang thông tin sau quá trình cân bằng kênh ở bước 1 sẽ thực hiện quá trình giải điều chế QAM để thực hiện quá trình chuyển thành các dữ liệu trên giản đồ chòm sao QAM tương ứng, tùy thuộc vào mục đích truyền tin của hệ thống. Giá trị sau giải điều chế QAM được đưa vào bộ giải mã kênh truyền để khôi phục lại dữ liệu bị lỗi trong quá trình truyền trên kênh truyền. Dữ liệu sau quá trình giải mã kênh được bóc tách, bên cạnh thông tin có ích còn có một chuỗi bit, đại diện cho giá trị trạng thái CRC của hệ thống.

Các khối giải điều chế QAM và giải mã kênh trong sáng chế này chỉ có tác dụng làm rõ và sẽ không áp đặt bất kỳ giới hạn nào đối với giải pháp kỹ thuật. Tùy thuộc vào chức năng của hệ thống truyền tin mà các khối điều chế QAM và giải mã kênh được sử dụng, kèm theo đó là các phương pháp giải điều chế QAM và giải mã kênh tương ứng.

Giá trị trạng thái CRC đặc trưng cho trạng thái dữ liệu sau quá trình giải mã kênh là không còn bit bị lỗi, hoặc đặc trưng cho trạng thái dữ liệu còn có bit dữ liệu nào vẫn còn sai (khối giải mã kênh không sửa được).

Đối với các hệ thống hiện nay, trạng thái CRC được sử dụng để yêu cầu gửi lại dữ liệu khi dữ liệu bị sai. Tuy nhiên, trong nội dung sáng chế này, trạng thái CRC ở thời điểm hiện tại sẽ được sử dụng để lựa chọn đáp ứng kênh truyền cho khối dữ liệu ở thời điểm tương lai (thời điểm $t+1$).

Bước 3: ước lượng (nâng cao ước lượng) đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại với sự hỗ trợ từ trạng thái CRC của khối dữ liệu trước đó và đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trước đó có sử dụng trọng số (α , β).

Tham chiếu Hình 4, bước này được thực hiện trong hai khối: khối kiểm tra trạng thái CRC và lựa chọn đáp ứng kênh truyền tại ký tự hoa tiêu của khối dữ liệu trước đó và khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền.

Trong trường hợp kênh truyền không thay đổi trong hai khối dữ liệu liên tiếp nhau (thời điểm $t-1$, và thời điểm t) khi môi trường ít biến động, giá trị tần số Doppler nhỏ, có thể sử dụng đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu ở thời điểm trước đó (thời điểm $t-1$) là

đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại (thời điểm t) để thực hiện quá trình cân bằng kênh, nếu như trạng thái CRC của khối dữ liệu trước đó (thời điểm $t-1$) là giải mã đúng.

Trong trường hợp, trạng thái CRC của khối dữ liệu trước đó là giải mã sai thì có thể sử dụng đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu ở thời điểm $t-1$ và của khối dữ liệu ở thời điểm hiện tại (thời điểm t) để ước lượng đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại (thời điểm t) thông qua quá trình tính toán đệ quy sử dụng cặp biến (α, β) tại khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền, và sau đó thực hiện quá trình cân bằng kênh.

Trong trường hợp môi trường thay đổi nhanh, giá trị đốp-lơ là lớn (vài trăm Hz), thì có thể sử dụng kết hợp đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu ở thời điểm trước đó và đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu ở thời điểm hiện tại để tăng khả năng ước lượng đáp ứng kênh truyền thông qua quá trình kết hợp có trọng số tại khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền.

Giá trị $\alpha, \beta \in [0,1]$ có thể thay đổi, thích nghi với sự thay đổi của môi trường với các tham số đốp-lơ và SNR. Nếu như tần số đốp-lơ cao thì giá trị trọng số β có thể được chọn là nhỏ. Trong trường hợp tần số đốp-lơ nhỏ, thì giá trị trọng số β có thể được chọn là lớn để tận dụng những đáp ứng kênh truyền đã được lọc nhiễu tại các thời điểm trước đó.

Trong trường hợp khối dữ liệu trước đó giải mã sai (sử dụng trạng thái CRC), tuy nhiên các sóng mang con của khối dữ liệu trước đó mang tín hiệu kí tự hoa tiêu ở cùng dải tần số băng hẹp với sóng mang con mang tín hiệu kí tự hoa tiêu ở thời điểm hiện tại có thể thực hiện quá trình lọc để loại bỏ nhiễu, đồng thời tăng tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR tại các sóng mang con mang tín hiệu pilot ở thời điểm hiện tại.

Tham chiếu Hình 6, quá trình nâng cao ước lượng đáp ứng kênh truyền hay cũng chính là quá trình lọc đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại được thể hiện qua công thức sau (đây là công thức do tác giả đề xuất), với k là chỉ số cho thời điểm dữ liệu đang được xử lý:

$$h_k^{filt}(l, m) = \begin{cases} \alpha * h_{k-1}^{filt}(l, m) + \beta * h_k(l, m), & \text{khi } k > 0 \\ h_0(l, m) \end{cases}$$

Tham chiếu Hình 6, quá trình lọc nhiễu tại các sóng mang con mang kí tự hoa tiêu là quá trình đệ quy, có thể sử dụng đáp ứng kênh truyền tại nhiều thời điểm trước đó để

xác định đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại, và số lượng thời điểm trước đó N_{time} được sử dụng để xác định đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại là hàm của tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR và giá trị tần số Doppler:

$$N_{time} = f(\text{SNR, Doppler})$$

Khi tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR là cao (thường $\geq 20\text{dB}$), thì có thể chỉ cần dùng đáp ứng kênh truyền tại một vài thời điểm trước đó để tính toán/xác định đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại. Việc dùng ít đáp ứng kênh truyền tại thời điểm trước đó sẽ tiết kiệm tài nguyên hệ thống cũng như năng lượng tiêu thụ của hệ thống. Khi tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR là thấp (thường $\leq 5\text{dB}$) thì có thể dùng đáp ứng kênh truyền tại nhiều thời điểm trước đó để tính toán/xác định đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại.

Khi giá trị tần số Doppler nhỏ (thường $\leq 10\text{Hz}$) thì có thể sử dụng đáp ứng kênh truyền tại nhiều thời điểm trước đó để tính toán/xác định đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại.

Quá trình sử dụng đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trước đó cũng có lợi ích khác trong việc tăng hiệu năng ước lượng tần số Doppler. Là do quá trình ước lượng tần số Doppler dựa trên quá trình tính toán tương quan giữa các sóng mang con mang kí tự hoa tiêu tại các thời điểm khác nhau. Bên cạnh đó lúc này, do sử dụng đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trước đó để tăng tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR tại các sóng mang con mang kí tự hoa tiêu, nên hiệu năng ước lượng tần số Doppler tăng lên.

Phương pháp nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền bằng cách nâng cao quá trình xác định đáp ứng kênh truyền tại các sóng mang con mang kí tự hoa tiêu, bao gồm các giải pháp:

- Sử dụng đáp ứng kênh truyền tại các khối dữ liệu trong quá khứ kết hợp với đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại kết hợp với trọng số α, β .
- Sử dụng trạng thái CRC của quá trình giải mã khối dữ liệu ở thời điểm trước đó để xác định đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại.
- Sử dụng tương quan trung bình để lọc nhiễu tương quan tại các sóng mang con mang kí tự hoa tiêu, từ đó nâng cao khả năng ước lượng tham số Doppler.

- Nâng cao hiệu năng giải mã dữ liệu tại thời điểm hiện tại thông qua quá trình lựa chọn đáp ứng kênh truyền phù hợp, dựa theo các tham số: SNR, Đốp-lơ, trạng thái CRC của quá trình giải mã trước đó.
- Lọc nhiễu đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại thông qua quá trình sử dụng đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trước đó.

Trong sáng chế này, giải pháp đề xuất có tính tổng quát cao, có thể áp dụng cho các loại tín hiệu OFDM khác nhau trong các hệ thống truyền tin khác nhau, có thể dùng chung cho cả các chuẩn mạng không dây, DVB-T, 4G, 5G cũng như các chuẩn dạng sóng (waveform) của quân sự, với nền nhiễu cao và giá trị đốp-lơ có thể lớn.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền của các hệ thống sử dụng sóng mang trực giao, được thực hiện ở phía thu bao gồm các khối:

khối cân bằng kênh: để thực hiện quá trình loại bỏ các tham số của môi trường truyền: nhiễu pha, tần số Doppler, vấn đề đa đường pha-đỉnh; quá trình cân bằng kênh là quá trình xác định đáp ứng kênh truyền tại các sóng mang con mang kí tự hoa tiêu; từ đáp ứng kênh truyền tại các kí tự hoa tiêu, tìm ra đáp ứng kênh truyền tại các sóng mang con mang dữ liệu; và cuối cùng loại bỏ đáp ứng kênh truyền tại các sóng mang con mang dữ liệu;

khối giải điều chế QAM: thực hiện quá trình chuyển các kí tự IQ sau khối cân bằng kênh về sát với điểm gần nhất trên giản đồ chòm sao QAM;

khối giải mã kênh: thực hiện quá trình sửa lỗi dữ liệu bị nhiễu do truyền tin trên đường truyền vô tuyến;

khối kiểm tra trạng thái CRC và lựa chọn đáp ứng kênh truyền tại kí tự hoa tiêu của khối dữ liệu trước đó: kiểm tra trạng thái giải mã kênh truyền bản tin sau khối giải mã kênh, xác định xem bản tin thu được có còn bị nhiễu không. Đồng thời, cho phép sử dụng đáp ứng kênh truyền ở thời điểm quá khứ (thời điểm $t-1$) trong việc xác định đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại (thời điểm t);

khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền: bằng cách sử dụng đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu tại các thời điểm trước đó (thời điểm $t-1$, $t-2$, $t-3$,...) để tính toán/xác định/nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền của khối dữ liệu ở thời điểm hiện tại (thời điểm t) thông qua quá trình tính toán đệ quy;

trong đó điểm mới của sáng chế nằm ở các khối: khối tính toán ước lượng các tham số SNR và Doppler, khối kiểm tra trạng thái CRC và lựa chọn đáp ứng kênh truyền tại kí tự hoa tiêu của khối dữ liệu trước đó và khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền; cụ thể:

khối ước lượng tham số SNR và Doppler là tính toán giá trị tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu SNR tại các kí tự hoa tiêu và tham số Doppler, và là hai tham số cần thiết được sử dụng để xác định số lượng đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trong quá khứ để tính toán cho đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại;

khối kiểm tra trạng thái CRC và lựa chọn đáp ứng kênh truyền tại kí tự hoa tiêu của khối dữ liệu trước đó: khi trạng thái của chuỗi trạng thái CRC của khối

dữ liệu trước đó (thời điểm $t-1$) cho phép bản tin của khối dữ liệu trước đó được giải mã đúng, đáp ứng kênh truyền tại các vị trí kí tự hoa tiêu ở khối dữ liệu ở thời điểm trước đó ($t-1$) sẽ được sử dụng và trở thành đáp ứng kênh truyền của hệ thống tại thời điểm hiện tại (thời điểm t); trong trường hợp trạng thái chuỗi trạng thái CRC của khối dữ liệu ở thời điểm trước đó ($t-1$) chỉ ra rằng bản tin dữ liệu ở thời điểm trước đó ($t-1$) bị giải mã sai thì đáp ứng kênh truyền tại các kí tự hoa tiêu ở thời điểm hiện tại (thời điểm t) sẽ được sử dụng kết hợp với đáp ứng kênh truyền ở thời điểm quá khứ (thời điểm $t-1$) tại khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền để thực hiện quá trình tính toán và tạo ra đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại thông qua hai trọng số α , β và phương pháp tính toán đệ quy trong khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền;

khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền: quá trình tổng hợp xác định đáp ứng kênh truyền (tại khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền) của khối dữ liệu tại thời điểm hiện tại (t) có thể được sử dụng đáp ứng kênh truyền của nhiều khối dữ liệu ở các thời điểm liên tiếp trước đó ($t-1$; $t-2$; $t-3$...); quá trình tính toán đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại thông qua đáp ứng kênh truyền ở các thời điểm trước đó được xử lý trong khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền theo dạng đệ quy; tại thời điểm ban đầu, khi chỉ có một khối dữ liệu được xử lý, lúc này đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu đầu tiên được sử dụng để thực hiện cân bằng kênh tại thời điểm đó, qua chuỗi xử lý sẽ đưa ra ở đầu ra trạng thái CRC của khối dữ liệu đầu tiên, và đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu đầu tiên cũng được lưu giữ trong bộ nhớ và trở thành giá trị hỗ trợ nâng cao đáp ứng kênh truyền tại khung dữ liệu tiếp theo nếu như trạng thái CRC của dữ liệu đầu ra tại thời điểm ban đầu là giải mã đúng.

2. Hệ thống nâng cao khả năng ước lượng kênh truyền trong hệ thống truyền tin sử dụng sóng mang trực giao theo điểm 1, trong đó khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền thực hiện quá trình tính toán đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại thông qua đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trong quá khứ kết hợp với 2 trọng số α , β ; dựa vào quá trình biến đổi của kênh truyền mà hai giá trị α , β có thể thích ứng thay đổi theo; giá trị $\alpha, \beta \in [0,1]$ có thể thay đổi, thích nghi với sự thay đổi của môi trường với các tham số dop-ler và SNR; nếu như tần số dop-ler cao thì giá trị trọng số β có thể được chọn là nhỏ;

trong trường hợp tần số Doppler nhỏ, thì giá trị trọng số β có thể được chọn là lớn để tận dụng những đáp ứng kênh truyền đã được lọc nhiễu tại các thời điểm trước đó.

3. Phương pháp nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền trong hệ thống truyền tin sử dụng sóng mang trực giao, bao gồm ba: bước 1: thực hiện quá trình ước lượng đáp ứng kênh truyền tại các ký tự hoa tiêu, thực hiện ước lượng tham số SNR và Doppler; bước 2: thực hiện quá trình giải điều chế tín hiệu QAM, và đưa vào bộ giải mã kênh để thu dữ liệu luồng bit truyền đi, kiểm tra giá trị CRC để xem khối dữ liệu hiện tại có bị lỗi không; bước 3: ước lượng (nâng cao ước lượng) đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại với sự hỗ trợ từ trạng thái CRC của khối dữ liệu trước đó và đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trước đó có sử dụng trọng số (α, β) ; trong đó bước 1 và bước 3 là hai điểm mới, cụ thể:

bước 1: thực hiện quá trình ước lượng đáp ứng kênh truyền tại các ký tự hoa tiêu, thực hiện ước lượng tham số SNR và Doppler; bước này được thực hiện trong hai khối: khối cân bằng kênh và khối ước lượng tham số SNR và Doppler; tại bước này dữ liệu IQ $r_{l,m}$ của ký tự hoa tiêu $p_{l,m}$ sẽ được sử dụng để ước lượng đáp ứng kênh truyền tại các ký tự hoa tiêu của ký tự OFDM thứ l và của sóng mang thứ m :

$$h_{l,m} = \frac{r_{l,m} p_{l,m}^*}{|p_{l,m}|^2}$$

quá trình ước lượng tỉ lệ công suất tín hiệu trên nhiễu được tính theo công thức:

$$SNR = \frac{\sum_k \sum_{i=0}^{N_{sc}-1} |h_{k,i}|^2}{\sum_k \sum_{i=0}^{N_{sc}-1} |r_{k,i} - h_{k,i} * p_{k,i}|^2}$$

và quá trình ước lượng giá trị tần số Doppler dựa trên quá trình tính toán tương quan lọc nhiễu, giữa đáp ứng kênh truyền tại các sóng mang con mang ký tự hoa tiêu, và được tính toán trung bình trên tổng số N_{sc} sóng mang con mang ký tự hoa tiêu và trung bình trên tổng số tín hiệu OFDM mang ký tự hoa tiêu theo công thức:

$$C = \frac{1}{N * N_{sc}} \sum_k \sum_{i=0}^{N_{sc}-1} h_{k,i} h_{k+T_{tr},i}^*$$

bước 3: ước lượng (nâng cao ước lượng) đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại với sự hỗ trợ từ trạng thái CRC của khối dữ liệu trước đó và đáp ứng kênh truyền tại các thời điểm trước đó có sử dụng trọng số (α , β); bước này được thực hiện trong hai khối: khối kiểm tra trạng thái CRC và lựa chọn đáp ứng kênh truyền tại kí tự hoa tiêu của khối dữ liệu trước đó và khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền; tại bước này, xảy ra hai trường hợp sau:

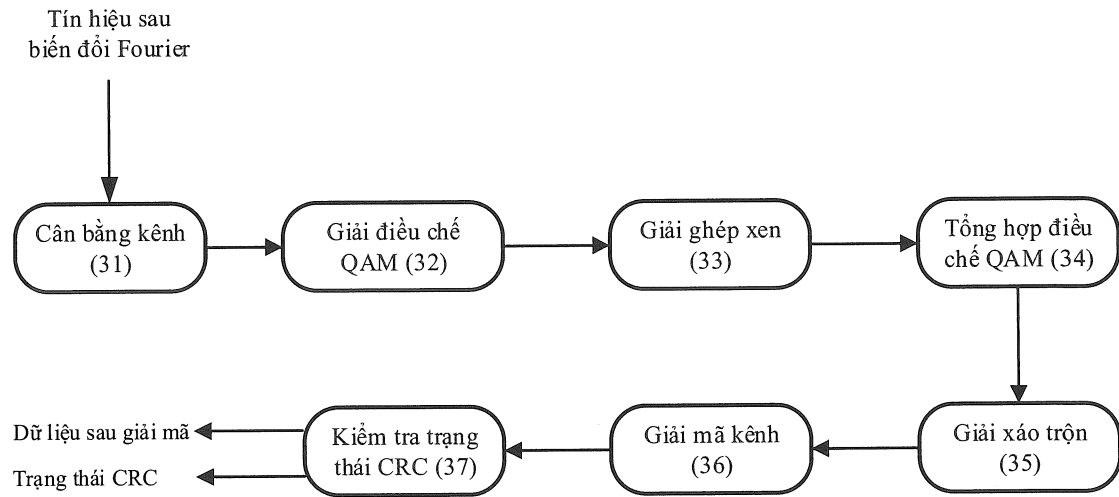
- trong trường hợp kênh truyền không thay đổi trong hai khối dữ liệu liên tiếp nhau (thời điểm $t-1$, và thời điểm t) khi môi trường ít biến động, giá trị tần số dop-ler nhỏ, có thể sử dụng đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu ở thời điểm trước đó (thời điểm $t-1$) là đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại (thời điểm t) để thực hiện quá trình cân bằng kênh, nếu như trạng thái CRC của khối dữ liệu trước đó (thời điểm $t-1$) là giải mã đúng; trong trường hợp trạng thái CRC của khối dữ liệu trước đó là giải mã sai thì có thể sử dụng đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu ở các thời điểm $t-1$, $t-2$, ... trong quá khứ và đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu ở thời điểm hiện tại (thời điểm t) để ước lượng đáp ứng kênh truyền ở thời điểm hiện tại (thời điểm t) thông qua quá trình tính toán đệ quy sử dụng cặp biến (α , β) tại khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền, và sau đó thực hiện quá trình cân bằng kênh;
- trong trường hợp môi trường thay đổi nhanh, giá trị dop-ler là lớn (vài trăm Hz), thì có thể sử dụng kết hợp đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu ở thời điểm trước đó và đáp ứng kênh truyền của khối dữ liệu ở thời điểm hiện tại để tăng khả năng ước lượng đáp ứng kênh truyền thông qua quá trình kết hợp có trọng số tại khối tổng hợp đáp ứng kênh truyền;

4. Phương pháp nâng cao hiệu năng ước lượng kênh truyền của hệ thống truyền tin sử dụng sóng mang trực giao theo điểm 3, trong đó quá trình nâng cao ước lượng đáp ứng kênh truyền bằng hợp tại sóng mang con mang kí tự hoa tiêu ở thời điểm hiện tại được tính toán thông qua một quá trình lọc đệ quy, sử dụng đáp ứng kênh truyền tại cùng sóng mang con mang kí tự hoa tiêu ở các thời điểm trước đó thông qua công thức:

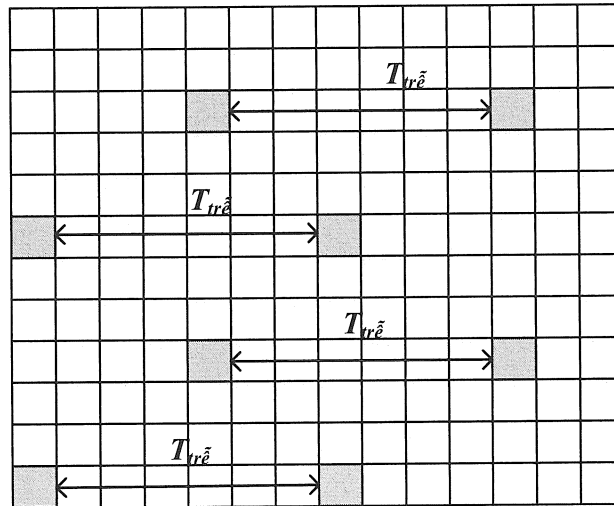
$$h_k^{filt}(l, m) = \begin{cases} \alpha * h_{k-1}^{filt}(l, m) + \beta * h_k(l, m), & \text{khi } k > 0 \\ h_0(l, m) \end{cases}$$

trong đó, số lượng thời điểm trước đó N_{time} được sử dụng để xác định đáp ứng kênh truyền tại thời điểm hiện tại là hàm của hai tham số SNR và đốp-lơ:

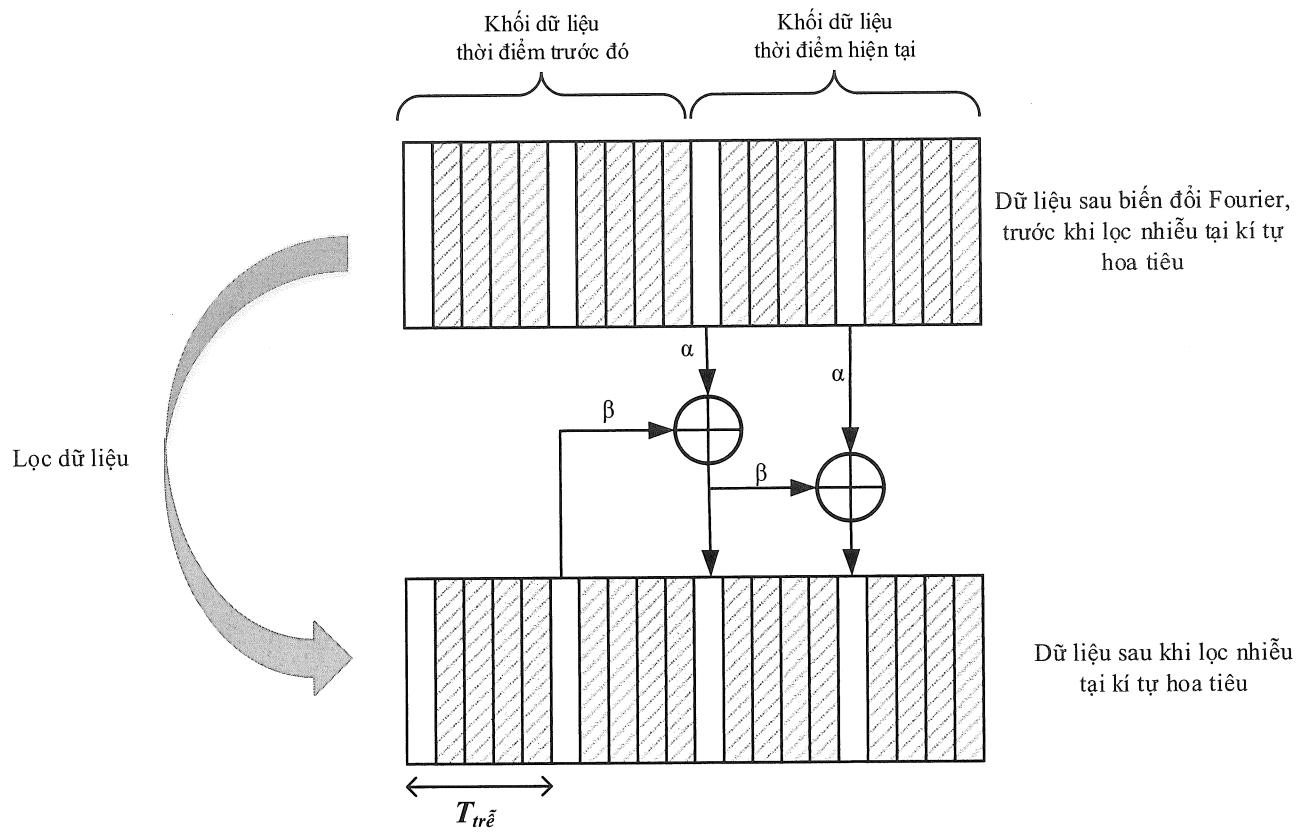
$$N_{time} = f(\text{SNR}, \text{đốp-lơ}).$$



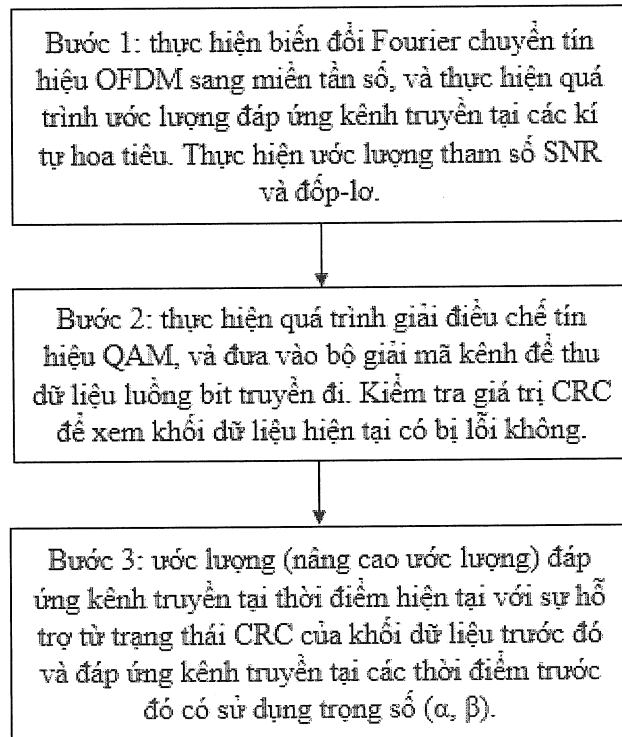
Hình 3



Hình 5



Hình 6



Hình 7