



(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)



1-0036119

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

(13) B

(21) 1-2020-02098

(22) 13/04/2020

(45) 26/06/2023 423

(43) 25/08/2020 389ASC

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

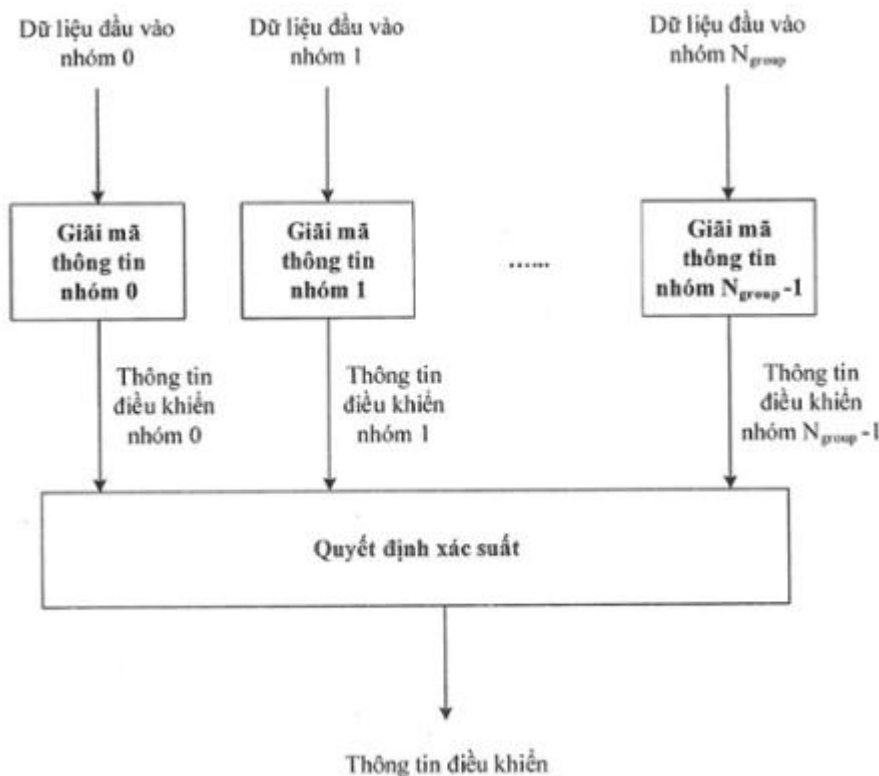
Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

(72) HUỖNH QUỐC ANH (VN); LƯƠNG XUÂN HÀO (VN); VÕ TÙNG CƯỜNG (VN).

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

(54) PHƯƠNG PHÁP GIẢI MÃ KÊNH ĐIỀU KHIỂN ĐƯỜNG LÊN TRONG HỆ THỐNG TRẠM THU PHÁT GỐC VÔ TUYẾN BẰNG THÔNG HỢP INTERNET VẠN VẬT KẾT NỐI NB-IOT BẰNG ỨNG DỤNG XÁC SUẤT

(57) Sáng chế đề xuất phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên trong hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến bằng thông hợp internet vạn vật kết nối NB-IoT dựa trên ứng dụng xác suất bao gồm chín bước, cụ thể: bước 1: ước lượng và nội suy kênh truyền; ước 2: cân bằng kênh; bước 3: giải điều chế băng gốc; bước 4: giải xáo trộn; bước 5: tính toán và xác định tham số giải mã thông tin điều khiển; bước 6: xác định UE có truyền thông tin điều khiển hay không; bước 7: xác định thông tin điều khiển ở từng nhóm; bước 8: kết luận thông tin điều khiển; bước 9: xác định bảng tra cứu thống kê để tìm ngưỡng.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề xuất phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên (uplink) trong hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến băng thông hẹp internet vạn vật kết nối NB-IoT bằng ứng dụng xác suất. Cụ thể, sáng chế được đề cập dựa trên ứng dụng xác suất trong hệ thống băng thông hẹp Internet vạn vật kết nối (Narrowband - Internet of things, NB-IoT).

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong môi trường thực tế, tín hiệu thu phát thông qua sóng điện từ giữa trạm thu phát gốc vô tuyến và thiết bị người dùng (User Equipment – UE) bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, đặc biệt là kênh truyền và nhiễu. Việc này làm cho dữ liệu truyền từ trạm thu phát gốc vô tuyến đến UE có thể bị sai lệch so với mong muốn. Lúc này, hệ thống cần một cơ chế báo hiệu từ UE đến trạm thu phát gốc vô tuyến để lập lịch cho truyền lại dữ liệu và kênh điều khiển đường lên hay còn gọi là kênh chia sẻ đường lên vật lý băng hẹp (Narrowband Physical Uplink Shared Channel - NPUSCH) định dạng hai sẽ đảm nhiệm vai trò này. Bởi vì đa đường và nhiễu, trạm thu phát gốc vô tuyến có thể sẽ thu và giải mã sai tín hiệu báo hiệu. Ví dụ UE truyền tín hiệu báo hiệu nhưng trạm thu phát gốc vô tuyến giải mã là không truyền (gọi là mất báo hiệu) hoặc UE không truyền tín hiệu báo hiệu nhưng trạm thu phát gốc vô tuyến lại giải mã ra là có truyền (gọi là nhầm báo hiệu). Việc này ảnh hưởng đến quá trình lập lịch và làm giảm dung lượng hệ thống.

Dựa trên đặc tính truyền lặp lại cùng một dữ liệu ở các khe thời gian liên tiếp nhau, kênh truyền ít biến động vì UE hầu như đứng yên và thông qua các ứng dụng của toán học xác suất thống kê, tác giả sáng chế đã tiến hành thử nghiệm và tìm ra phương pháp giải mã cho kênh điều khiển đường lên một cách hiệu quả, chính xác để giải quyết vấn đề nêu trên.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên dựa trên ứng dụng xác suất nhằm đảm bảo giải mã chính xác thông tin báo hiệu truyền từ UE đến trạm thu phát gốc. Từ đó giúp giảm thiểu tỉ lệ lỗi và nâng cao chất lượng cũng như dung lượng của hệ thống một cách tối đa.

Để đạt được mục đích nêu trên, sáng chế đề xuất phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên dựa trên ứng dụng xác suất, bao gồm các bước sau:

Bước 1: ước lượng và nội suy kênh truyền;

Bước 2: cân bằng kênh;

Bước 3: giải điều chế băng gốc;

Bước 4: giải xáo trộn;

Bước 5: tính toán và xác định tham số giải mã thông tin điều khiển;

Bước 6: xác định UE có truyền thông tin điều khiển hay không;

Bước 7: xác định thông tin điều khiển ở từng nhóm;

Bước 8: kết luận thông tin điều khiển;

Bước 9: xác định bảng tra cứu thống kê để tìm ngưỡng.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ thể hiện cấu trúc dữ liệu đầu phát được sử dụng làm đầu vào cho phương pháp thực hiện trong sáng chế;

Hình 2 là hình vẽ thể hiện cấu trúc dữ liệu đầu thu được sử dụng làm đầu vào cho phương pháp thực hiện trong sáng chế;

Hình 3 là hình vẽ thể hiện lưu đồ giải thuật tổng quát giải mã kênh điều khiển đường lên;

Hình 4 là hình vẽ thể hiện lưu đồ giải thuật chi tiết giải mã thông tin trong từng nhóm.

Mô tả chi tiết sáng chế

Cách thức thực hiện của phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên trong hệ thống NB-IoT theo sáng chế là dùng các kỹ thuật toán học và xác suất thống kê để tìm ra thông tin ước lượng phù hợp nhất tại một thời điểm nào đó. Trong quá trình thực hiện, tác giả sáng chế đã sử dụng các công thức toán học cơ bản như đại số tuyến tính (ma trận), giải tích, xác suất thống kê,...

Bên cạnh đó, tác giả sáng chế cũng mô phỏng lại phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên trong hệ thống NB-IoT theo sáng chế trên môi trường giả lập có thông số đầu vào được lấy từ cả môi trường giả lập và môi trường thực tế dựa trên rất nhiều cấu

hình khác nhau nhằm mô phỏng lại giống với môi trường thực tế nhất. Mô phỏng là bước rất quan trọng để phát triển phương pháp theo sáng chế một cách nhanh chóng trước khi đưa ra hệ thống thực tế.

Cuối cùng, phương pháp theo sáng chế được áp dụng lên mạch xử lý tín hiệu số (Digital Signal Processing - DSP) để cho thấy sự hiệu quả của phương pháp này thông qua các bài kiểm tra dựa vào chuẩn cho trước.

Phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên trong hệ thống NB-IoT được phát triển dựa trên kỹ thuật ước lượng nhiễu trung bình và kỹ thuật tính toán các tham số lựa chọn đáp ứng theo sự thay đổi của nhiễu trung bình ước lượng được. Nguyên tắc cơ bản của phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên trong hệ thống NB-IoT là dùng bộ lọc trung bình để khử nhiễu cho kênh truyền, đồng thời cũng ước lượng được mức nhiễu mà hệ thống gặp phải. Từ mức nhiễu này, cùng với các kỹ thuật lựa chọn ngưỡng dựa vào xác suất để tìm ra thông tin điều khiển chính xác. Nhiễu ước lượng được càng chính xác và bộ tham số dữ liệu thống kê càng lớn thì khả năng giải mã càng tốt và hiệu năng của hệ thống càng cao.

Hình 1 và Hình 2 mô tả cấu trúc dữ liệu đầu vào sử dụng cho phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên trong hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến băng thông hẹp Internet vạn vật kết nối NB-IoT theo sáng chế. Đây là dữ liệu miền tần số sau bộ giải điều chế ghép kênh phân chia theo tần số trực giao (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM) thông qua phép biến đổi Fourier nhanh (Fast Fourier Transform – FFT). Ứng với mỗi cấu hình lặp N_{Rep} , số lượng khe thời gian cho mỗi lần truyền thông tin điều khiển là $N_{slot} = 4N_{Rep}$. Toàn bộ các khe thời gian này được chia thành N_{group} nhóm, mỗi nhóm có $N_{group,slot}$ khe thời gian. Mỗi giá trị N_{slot} sẽ ứng với một giá trị $N_{group,slot}$ và sẽ được mô tả trong phần ví dụ thực hiện sáng chế.

Mỗi nhóm các khe thời gian sẽ được thực hiện giải mã và cho ra một thông tin điều khiển nhóm, sau cùng bộ quyết định xác suất sẽ tổng hợp và thống kê dựa vào các thông tin điều khiển nhóm để đưa ra quyết định cho thông tin điều khiển cuối cùng, quá trình này được mô tả trong Hình 3.

Mỗi khe thời gian gồm bảy ký hiệu trong đó, ký hiệu thứ hai, thứ ba và thứ tư mang tín hiệu tham khảo giải mã (DMRS). Tín hiệu tham khảo giải mã là tín hiệu được tạo ra dựa vào các thông số đã biết trước như chỉ số định danh tạm thời mạng vô tuyến (Radio

Network Temporary Identifier - RNTI), số hiệu định danh của trạm thu phát gốc (Number of Cell Identifier - NcellID) để phục vụ cho ước lượng kênh truyền của mỗi khe thời gian, từ đó có thể tính toán được kênh truyền chung cho mỗi nhóm thông qua bộ lọc trung bình. Sau khi thực hiện bộ ước lượng kênh truyền, nhiễu đầu ra sẽ được tính toán tương ứng. Kênh truyền, nhiễu và các tín hiệu thu muốn tái tạo sẽ qua bộ cân bằng để thu lại tín hiệu gần giống nhất với tín hiệu ở đầu phát. Cuối cùng, các bước giải điều chế băng gốc, giải xáo trộn, tính toán tham số thống kê và lựa chọn thông tin điều khiển sẽ được thực hiện. Toàn bộ các bước từ ước lượng kênh truyền cho đến khi giải mã thông tin điều khiển nhóm được mô tả trong Hình 4.

Một cách chi tiết, phương pháp theo sáng chế được thực hiện trên hệ thống máy vi tính bao gồm chín bước cụ thể như sau:

Bước 1: ước lượng và nội suy kênh truyền:

Ước lượng và nội suy kênh truyền được thực hiện dựa trên cơ sở đã biết trước tín hiệu tham khảo giải mã ở đầu thu. Một cách cơ bản, tín hiệu khi qua đầu thu sẽ chịu ảnh hưởng bởi kênh truyền và nhiễu, mối liên hệ giữa chúng được thể hiện như sau:

$$y = Hx + n$$

trong đó, y là véc-tơ tín hiệu thu được ở các ăng-ten, H là ma trận kênh truyền, x là tín hiệu thực sự phát đi và là tín hiệu mong muốn thu lại được, n là nhiễu ảnh hưởng đến hệ thống.

Có rất nhiều giải thuật ước lượng kênh truyền khác nhau, và mong muốn khôi phục lại giá trị x sau khi cân bằng sao cho càng giống với x nhất càng tốt. Trong sáng chế này, tác giả sử dụng phương pháp ước lượng kênh truyền bình phương tối thiểu kết hợp với bộ lọc trung bình. Đối với cách ước lượng này, các tham số cần thu được để phục vụ cho cân bằng bao gồm ma trận H và công suất nhiễu tại mỗi ký hiệu trong lưới tài nguyên. Ma trận H và công suất nhiễu này có được bằng cách nội suy ra từ ma trận H và công suất nhiễu trung bình của tín hiệu tham khảo bằng phương pháp nội suy gần giống hệt nhau theo từng nhóm do sự thay đổi rất ít của kênh truyền. Quá trình ước lượng và nội suy kênh truyền gồm các bước:

Bước 1.1: ước lượng bình phương tối thiểu (Least Square - LS):

Ước lượng bình phương tối thiểu là bước đầu tiên mà hầu hết các giải thuật ước lượng kênh truyền đều sử dụng. Đây là bước ước lượng thô dựa vào véc-tơ tín hiệu thu được và tín hiệu tham khảo đã biết trước, được thực hiện trước khi ước lượng tinh để có được kênh truyền và nhiễu mong muốn gần giống với thực tế nhất. Ước lượng kênh truyền thô được thực hiện theo công thức sau đây:

$$H_{LS}(s, k_{dmrs}) = y_{dmrs}(s, k_{dmrs}) \times \text{conj}\{x_{dmrs}(s, k_{dmrs})\} \quad (1)$$

trong đó:

- $H_{LS}(s, k_{dmrs})$ là véc-tơ kênh truyền LS thứ k_{dmrs} tại khe thời gian thứ s ($N_{Rx} \times 1$);
- $y_{dmrs}(s, k_{dmrs})$ là véc-tơ DMRS thứ k_{dmrs} thu được tại khe thời gian thứ s ($N_{Rx} \times 1$);
- $x_{dmrs}(s, k_{dmrs})$ là giá trị DMRS thứ k_{dmrs} đã biết trước tại khe thời gian thứ s ;
- Số ăng-ten phát đường lên luôn là 1;
- $s = 0 \rightarrow N_{slot} - 1$;
- $k_{dmrs} = 0, 1, 2$;
- N_{slot} là số lượng khe thời gian mà kênh điều khiển đường lên sử dụng cho lần truyền hiện tại;
- $\text{conj}\{.\}$ là hàm liên hiệp phức;

Bước 1.2: ước lượng kênh truyền trung bình:

Bước này còn gọi là ước lượng kênh truyền tinh dựa vào ma trận kênh truyền thô để thu được ma trận kênh truyền mong muốn gần giống với thực tế nhất. Do UE trong hệ thống NB-IoT chủ yếu đứng yên, nên kênh truyền ảnh hưởng đến tín hiệu trong quá trình truyền sẽ ít thay đổi theo thời gian. Vì thế, các kênh truyền bình phương tối thiểu LS lân cận hầu như giống nhau và chỉ bị sai lệch bởi ảnh hưởng của nhiễu Gauss. Theo định lý giới hạn trung tâm, tổng của nhiễu Gauss trong trường hợp số lượng mẫu lớn sẽ tiến về 0, nên có thể dùng bộ lọc trung bình để khử nhiễu này. Bộ lọc trung bình được thực hiện theo công thức sau đây:

$$H_{\text{mean}}(g) = \frac{1}{3N_{\text{group,slot}}} \sum_{m=gN_{\text{group,slot}}}^{(g+1)N_{\text{group,slot}}-1} \sum_{n=0}^2 H_{\text{LS}}(m, n) \quad (2)$$

trong đó:

- $H_{\text{mean}}(g)$ là véc-tơ kênh truyền trung bình tại nhóm thứ g ($N_{\text{Rx}} \times 1$);
- $N_{\text{group,slot}}$ là số lượng khe thời gian sử dụng để tính kênh truyền trung bình trong mỗi nhóm;
- $g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1$;
- N_{group} là số lượng nhóm kênh truyền trung bình;

$$N_{\text{group}} = \frac{N_{\text{slot}}}{N_{\text{group,slot}}}$$

Bước 1.3: ước lượng công suất nhiễu trung bình:

Công suất nhiễu trung bình cho từng nhóm là tham số quan trọng làm đầu vào cho bộ cân bằng. Bởi vì tín hiệu tham khảo giải mã có công suất bằng 1, nên có thể dễ dàng tính nhiễu và công suất nhiễu cho mỗi nhóm dựa vào sự chênh lệch biên độ giữa ma trận kênh truyền thô và ma trận kênh truyền tinh theo công thức sau đây:

$$N(s, k_{\text{dmrs}}) = H_{\text{LS}}(s, k_{\text{dmrs}}) - H_{\text{mean}}\left(\left\lfloor \frac{s}{N_{\text{group,slot}}} \right\rfloor\right) \quad (3)$$

$$N_{\text{mean}}(g) = \frac{1}{3N_{\text{group,slot}}N_{\text{Rx}}} \sum_{m=gN_{\text{group,slot}}}^{(g+1)N_{\text{group,slot}}-1} \sum_{n=0}^2 \{N(m, n)^H \times N(m, n)\} \quad (4)$$

trong đó:

- $N(s, k_{\text{dmrs}})$ là véc-tơ nhiễu thứ k_{dmrs} tại khe thời gian thứ s ($N_{\text{Rx}} \times 1$);
- $N_{\text{mean}}(g)$ là công suất trung bình của nhiễu tại nhóm thứ g ;
- $s = 0 \rightarrow N_{\text{slot}} - 1$;
- $k_{\text{dmrs}} = 0, 1, 2$;
- $g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1$;

Bước 1.4: nội suy kênh truyền và công suất nhiễu:

Nội suy kênh truyền và công suất nhiễu để có được ma trận kênh truyền và công suất nhiễu tương ứng cho từng ký hiệu trong lưới tài nguyên. Ứng với mỗi nhóm, có một kênh truyền trung bình và một công suất nhiễu trung bình. Giá trị kênh truyền và công suất nhiễu này sẽ là kênh truyền cho tất cả các ký hiệu của tất cả các khe thời gian thuộc cùng nhóm, có thể biểu diễn hàm nội suy kênh truyền và công suất nhiễu theo công thức sau đây:

$$H(s, k_{\text{data}}) = H_{\text{mean}} \left(\left\lfloor \frac{s}{N_{\text{group,slot}}} \right\rfloor \right) \quad (5)$$

$$N(s, k_{\text{data}}) = N_{\text{mean}} \left(\left\lfloor \frac{s}{N_{\text{group,slot}}} \right\rfloor \right) \quad (6)$$

trong đó:

- $H(s, k_{\text{data}})$ là véc-tơ kênh truyền được nội suy ra tại khe thời gian thứ s và ký hiệu thứ k_{data} ($N_{\text{Rx}} \times 1$);
- $N(s, k_{\text{data}})$ là công suất nhiễu trung bình được nội suy ra tại khe thời gian thứ s và ký hiệu thứ k_{data} ;
- $s = 0 \rightarrow N_{\text{slot}} - 1$;
- $k_{\text{data}} = 0, 1, 2, 3$;

Bước 2: cân bằng kênh:

Sau khi ước lượng kênh truyền, cân bằng kênh được sử dụng để khôi phục lại tín hiệu miền tần số sao cho gần giống với tín hiệu ở đầu phát, cân bằng kênh được thực hiện thông qua bộ cân bằng lỗi bình phương trung bình tối thiểu (Minimum Mean Squared Error - MMSE). Đây là bộ cân bằng khá phổ biến trong các hệ thống viễn thông và được mô tả thông qua công thức sau đây:

$$\hat{x}(s, k_{\text{data}}) = \left\{ \begin{aligned} & [H(s, k_{\text{data}})^H \times H(s, k_{\text{data}}) + N(s, k_{\text{data}})]^{-1} \\ & \times H(s, k_{\text{data}})^H \times y(s, k_{\text{data}}) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

trong đó:

- $\hat{x}(s, k_{\text{data}})$ là giá trị ký hiệu băng gốc mang dữ liệu đã khôi phục lại sau cân bằng tại khe thời gian thứ s và ký hiệu thứ k_{data} ;
- $y(s, k_{\text{data}})$ là véc-tơ ký hiệu băng gốc mang dữ liệu thu được tại khe thời gian thứ s và ký hiệu thứ k_{data} ;

- $s = 0 \rightarrow N_{\text{slot}} - 1$;
- $k_{\text{data}} = 0, 1, 2, 3$;

Bước 3: giải điều chế băng gốc:

Sau cân bằng kênh, cần phải giải điều chế băng gốc để biến đổi trở lại các ký hiệu băng gốc ước lượng được thành các bit (đơn vị thông tin), ở đây tác giả sáng chế sử dụng kỹ thuật tính cực đại khả năng logarit (Maximum Log Likelihood) để tạo ra các tỉ số cực đại khả năng (Log Likelihood Ratio – LLR) hay còn gọi là các bit mềm, phép toán LLR cho kiểu điều chế pha nhị phân BPSK được thực hiện theo công thức sau:

$$b_{\text{scb}}(4s + k_{\text{data}}) = -\sqrt{\frac{1}{2}} [\mathcal{R}\{\hat{x}(s, k_{\text{data}})\} + \mathcal{I}\{\hat{x}(s, k_{\text{data}})\}] \quad (8)$$

trong đó:

- $b_{\text{scb}}(i)$ là giá trị bit mềm thứ i sau khi giải điều chế băng gốc;
- $i = 0 \rightarrow 4N_{\text{slot}} - 1$;
- $s = 0 \rightarrow N_{\text{slot}} - 1$;
- $k_{\text{data}} = 0, 1, 2, 3$;
- $\mathcal{R}\{.\}$ là hàm lấy phần thực của số phức;
- $\mathcal{I}\{.\}$ là hàm lấy phần ảo của số phức;

Bước 4: giải xáo trộn:

Sau khi giải điều chế băng gốc, giải xáo trộn được sử dụng để trả lại đúng hiện trạng của các bit giống như trước khi xáo trộn, quá trình này thực hiện ngược lại so với xáo trộn ở đầu phát, tuy nhiên phép toán thực hiện với các bit mềm nên sẽ có một số thay đổi so với bit cứng ở đầu phát. Giải xáo trộn được thực hiện theo công thức sau đây:

$$b_{\text{enc,harq}}(i) = [1 - 2c(i)]. b_{\text{scb}}(i) \quad (9)$$

trong đó:

- $b_{\text{enc,harq}}(i)$ là giá trị bit mềm thứ i sau khi giải xáo trộn;
- $i = 0 \rightarrow 4N_{\text{slot}} - 1$;

- $c(i)$ là chuỗi mã giả ngẫu nhiên được tạo ra dựa vào mô tả trong phần 10.1.3.1 tài liệu “3GPP TS 36.211: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation”.

Bước 5: tính toán và xác định tham số giải mã thông tin điều khiển:

Giải xáo trộn cho các bit mềm sau khi đã mã hóa và bị ảnh hưởng bởi nhiễu, lúc này, cần phải tính toán các tham số thống kê phù hợp dựa vào các bit mềm này để phục vụ cho giải mã ra thông tin điều khiển. Quá trình tính toán các tham số thống kê và giải mã thông tin điều khiển gồm các bước sau:

Bước 5.1: tính toán khoảng cách Euler:

Khoảng cách Euler cho biết sự sai lệch giữa các bit mềm thu được và các bit mềm có khả năng được phát. Đối với kênh điều khiển đường lên chỉ có thể phát bit 0, hoặc bit 1 hoặc không phát gì. Việc tính toán khoảng cách Euler từ bit mềm thu được đến hai bit tham khảo 0 và 1 là cơ sở để tính toán các tham số lựa chọn thống kê để quyết định bit nào được truyền. Bit 0 được mã hóa thành các bit toàn 0 và khi chuyển đổi sang bit mềm sẽ có dạng một chuỗi toàn giá trị -1 . Tương tự, bit 1 được mã hóa thành các bit toàn 1 và khi chuyển đổi sang bit mềm sẽ có dạng một chuỗi các giá trị $+1$. Do đó, khoảng cách Euler giữa bit mềm thu được và các bit 0, 1 phát đi có thể được tính toán thông qua công thức sau đây:

$$d_0(g) = \frac{1}{4N_{\text{group,slot}}} \sum_{i=4gN_{\text{group,slot}}}^{4(g+1)N_{\text{group,slot}}-1} [b_{\text{enc,harq}}(i) + 1]^2 \quad (10)$$

$$d_1(g) = \frac{1}{4N_{\text{group,slot}}} \sum_{i=4gN_{\text{group,slot}}}^{4(g+1)N_{\text{group,slot}}-1} [b_{\text{enc,harq}}(i) - 1]^2 \quad (11)$$

trong đó:

- $d_0(g)$ là khoảng cách Euler đối với bit 0 của nhóm thứ g ;
- $d_1(g)$ là khoảng cách Euler đối với bit 1 của nhóm thứ g ;
- $g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1$;

Bước 5.2: tính toán tham số lựa chọn thống kê:

Có rất nhiều cách chọn tham số lựa chọn thống kê và mỗi cách sẽ cho hiệu quả khác nhau trong việc quyết định. Dựa vào quá trình nghiên cứu và thử nghiệm tác giả sáng chế

chọn hai tham số R (tỉ lệ giá trị khoảng cách Euler tối đa trên khoảng cách Euler tối thiểu đến hai bit thông tin điều khiển có thể xảy ra), và $d^{\min}$ (khoảng cách Euler tối thiểu) để làm tham số lựa chọn thống kê. Cách tính toán hai tham số này được thực hiện theo công thức sau đây:

$$R(g) = \frac{\max\{d_0(g), d_1(g)\}}{\min\{d_0(g), d_1(g)\}} \quad (12)$$

$$d^{\min}(g) = \min\{d_0(g), d_1(g)\} \quad (13)$$

trong đó:

- $R(g)$ là giá trị khoảng cách Euler tối đa trên khoảng cách Euler tối thiểu tại nhóm thứ g ;
- $d^{\min}(g)$ là giá trị khoảng cách Euler tối thiểu tại nhóm thứ g ;
- $g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1$;

Bước 5.3: xác định ngưỡng cho R ($R_{\text{threshold}}$) và $d^{\min}$ ($d_{\text{threshold}}^{\min}$):

Ngưỡng là giá trị biên mà hệ thống dùng để so sánh với tham số lựa chọn thống kê nhằm quyết định thông tin điều khiển có được truyền hay không, ngưỡng này phải có độ tin cậy cao và hiệu quả khi thực hiện. Một cách lý tưởng, nếu hệ thống không bị ảnh hưởng bởi nhiễu, thì R sẽ tiến về vô cùng và $d^{\min}$ tiến về 0, điều này không xảy ra trong thực tế. Do đó, các tham số trên sẽ bị sai lệch tùy thuộc vào nhiễu của môi trường và chỉ có thể ước lượng. Vì vậy, tác giả lựa chọn công suất nhiễu ước lượng để làm tiêu chí lựa chọn ngưỡng cho R và $d^{\min}$. Bên cạnh đó, độ chính xác của nhiễu ước lượng được lại phụ thuộc vào số ăng-ten thu, số khe thời gian trong một nhóm nên hai tham số này cũng được chọn là tiêu chí để tìm ngưỡng. Các tham số ngưỡng sẽ được tìm thấy thông qua bảng tra cứu, bảng này được tạo ra dựa vào quá trình thống kê dữ liệu với số mẫu rất lớn và sẽ được nêu ra trong Bước 9. Các tham số ngưỡng được mô tả như sau:

- $R_{\text{threshold}}(g)$ là ngưỡng dưới của giá trị tỉ lệ để phát hiện có truyền thông tin điều khiển tại nhóm thứ g .
- $d_{\text{threshold}}^{\min}(g)$ là ngưỡng trên của giá trị khoảng cách Euler tối thiểu để phát hiện có truyền thông tin điều khiển tại nhóm thứ g .

Để linh hoạt hơn, tác giả sáng chế sẽ dùng tỉ số công suất tín hiệu trên công suất nhiễu theo giải dB (SNR_{dB}) thay vì dùng công suất nhiễu, và SNR_{dB} được tính theo công thức sau:

$$\text{SNR}_{\text{dB}}(g) = 10 \log_{10} \left[\frac{[H_{\text{mean}}(g)^H \times H_{\text{mean}}(g)]}{N_{\text{Rx}} N_{\text{mean}}(g)} \right] \quad (14)$$

trong đó:

$$- g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1;$$

Bước 6: xác định có truyền thông tin điều khiển trong nhóm hay không:

Trong mỗi nhóm, sau khi so sánh giữa ngưỡng và tham số lựa chọn thống kê, có thể xác định được rằng nhóm đó có khả năng được truyền thông tin điều khiển hay không. Đây là cơ sở để thực hiện bước 7 tiếp theo bên dưới. Phép toán so sánh được thực hiện như sau:

Nếu $R(g) \geq R_{\text{threshold}}(g)$ và $d^{\min}(g) \leq d_{\text{threshold}}^{\min}(g)$ thì xác định có truyền thông tin điều khiển tại nhóm thứ g .

Nếu $R(g) < R_{\text{threshold}}(g)$ hoặc $d^{\min}(g) > d_{\text{threshold}}^{\min}(g)$ thì xác định không truyền thông tin điều khiển tại nhóm thứ g .

trong đó:

$$- g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1;$$

Bước 7: xác định thông tin điều khiển ở từng nhóm:

Trong mỗi nhóm, cần xác định liệu mà nhóm đó có khả năng mang trạng thái nào trong ba trạng thái của thông tin điều khiển (không truyền, truyền bit 0 và truyền bit 1). Đây là cơ sở để tổng hợp thống kê và đưa ra quyết định cuối cùng ở bước 8. Bộ quyết định dựa vào các tính toán đã tìm ra ở bước 5.1 và bước 6 để xác định trạng thái của thông tin điều khiển trong từng nhóm như sau:

$$\text{info}(g) = \begin{cases} 1, & \text{có truyền và } d_0(g) \geq d_1(g) \\ 0, & \text{có truyền và } d_0(g) < d_1(g) \\ -1, & \text{không truyền} \end{cases} \quad (15)$$

trong đó:

- $\text{info}(g)$ là thông tin điều khiển xác định được ở nhóm thứ g ;
- $g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1$;

Bước 8: kết luận thông tin điều khiển:

Quá trình kết luận thông tin điều khiển sau cùng dựa vào các thông tin điều khiển nhóm được thực hiện thông qua các bước sau:

Bước 8.1: tính toán tổng thống kê cho từng trường hợp:

Sau khi có được thông tin điều khiển nhóm, lần lượt thống kê để xác định số lượng thông tin điều khiển chiếm đa số, nhằm quyết định chính xác nhất thông tin điều khiển sau cùng. Phép thống kê được thực hiện như sau:

$$\text{count}_{\text{ACK}} = \sum_{g=0}^{\text{Ngroup}-1} [\text{info}(g) == 1] \quad (16)$$

$$\text{count}_{\text{NACK}} = \sum_{g=0}^{\text{Ngroup}-1} [\text{info}(g) == 0] \quad (17)$$

$$\text{count}_{\text{DTX}} = \sum_{g=0}^{\text{Ngroup}-1} [\text{info}(g) == -1] \quad (18)$$

trong đó:

- $\text{count}_{\text{ACK}}$ là tổng thống kê truyền bit 1.
- $\text{count}_{\text{NACK}}$ là tổng thống kê truyền bit 0.
- $\text{count}_{\text{DTX}}$ là tổng thống kê không truyền.

Bước 8.2: quyết định thông tin điều khiển:

Quyết định thông tin điều khiển được thực hiện theo cách ưu tiên thông tin đã nhận đúng (Acknowledgement - ACK) trước, sau đó đến thông tin nhận sai (Negative Acknowledgement - NACK) và sau cùng là không truyền thông tin điều khiển (Discontinues Transmission - DTX) và được thực hiện theo quy tắc như sau:

Nếu $\text{count}_{\text{ACK}} \geq \text{count}_{\text{NACK}}$ và $\text{count}_{\text{ACK}} \geq \text{count}_{\text{DTX}}$ thì xác định thông tin điều khiển là ACK.

Nếu $\text{count}_{\text{ACK}} < \text{count}_{\text{NACK}}$ và $\text{count}_{\text{NACK}} \geq \text{count}_{\text{DTX}}$ thì xác định thông tin điều khiển là NACK.

Nếu $\text{count}_{\text{ACK}} < \text{count}_{\text{DTX}}$ và $\text{count}_{\text{NACK}} < \text{count}_{\text{DTX}}$ thì xác định không truyền thông tin điều khiển.

Bước 9: xác định bảng tra cứu thống kê để tìm ngưỡng $R_{\text{threshold}}$ và $d_{\text{threshold}}^{\text{min}}$:

Mục đích của bảng tra cứu thống kê là để tìm ngưỡng cho các tham số R và d^{min} tùy thuộc số lượng ăng-ten thu, số khe thời gian trong một nhóm và tỉ số công suất tín hiệu trên công suất nhiễu. Bảng tra cứu thống kê được tìm thông qua các bước sau:

Bước 9.1: thiết đặt mô hình lấy dữ liệu thống kê:

Tạo tín hiệu kênh điều khiển đường lên với các cấu hình số lần lặp khác nhau. Mỗi cấu hình lặp sẽ tương ứng với một giá trị N_{slot} khác nhau.

Cho tín hiệu kênh điều khiển đường lên qua kênh truyền đa đường cần khảo sát. Kênh truyền ở đây thường là kênh truyền không quá phức tạp vì các thiết bị internet vạn vật kết nối IoT thường đứng yên ở một vị trí cố định nào đó hoặc khả năng di chuyển rất ít.

Thêm nhiễu vào kênh truyền dựa vào một dãy các $\overline{\text{SNR}_{\text{dB}}}$ khác nhau.

Ở trạm thu phát gốc, thu tín hiệu kênh điều khiển đường lên với số lượng ăng-ten (N_{RX}) khác nhau.

Dựa vào phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên như bước 1 đến bước 5 nêu trên, tính toán các tham số SNR_{dB} , R và d^{min} . Chú ý SNR_{dB} là giá trị ước lượng được, còn $\overline{\text{SNR}_{\text{dB}}}$ là giá trị chuẩn đặt ra.

Lặp lại quá trình thu phát trên với số lượng lớn, thường là lớn hơn 100000 lần, số lượng thử nghiệm càng lớn, kết quả xác định ngưỡng càng chính xác.

Lúc này, ứng với mỗi giá trị lặp, loại kênh truyền, $\overline{\text{SNR}_{\text{dB}}}$ và số lượng ăng-ten sẽ cho ra một bộ dữ liệu thống kê tương ứng gồm các tham số SNR_{dB} , R và d^{min} .

Bước 9.2: phân tích dữ liệu thống kê để xác định ngưỡng như sau:

Thuật toán để phân tích và tìm ra ngưỡng cho các tham số được mô tả tóm tắt như bên dưới. Trong đó, $N_{\text{percent}}^{\text{reliability}} < 1$ và gần bằng 1. Việc đưa ra $N_{\text{percent}}^{\text{reliability}}$ để đảm bảo loại bỏ các giá trị đột biến.

1: chọn lựa các bộ dữ liệu thống kê có cùng giá trị lặp và số lượng ăng-ten để gộp thành một bộ dữ liệu.

2: phân bộ dữ liệu này ra thành các vùng dữ liệu dựa vào tham số SNR_{dB} , lúc này, ứng với mỗi vùng SNR_{dB} sẽ cho ra một tập các giá trị R và $d^{\min}$.

3: xác định phân bố xác suất của R và $d^{\min}$ trong vùng này.

4.1: $R_{\text{threshold}}$ là giá trị nhỏ hơn $N_{\text{percent}}^{\text{reliability}}$ phần trăm trong tập giá trị chứa R .

4.2: $d_{\text{threshold}}^{\min}$ là giá trị lớn hơn $N_{\text{percent}}^{\text{reliability}}$ phần trăm trong tập giá trị chứa $d^{\min}$.

5: Lặp lại cho toàn bộ các vùng SNR_{dB} để được các giá trị $R_{\text{threshold}}$ và $d_{\text{threshold}}^{\min}$ tương ứng.

6: Lặp lại cho toàn bộ các bộ dữ liệu thống kê để được bảng tra cứu hoàn chỉnh.

Kết quả cuối cùng thu được sau khi thực hiện từ bước 1 đến bước 9 gồm hai phần:

- Bảng tra cứu thống kê phục vụ cho việc giải mã kênh điều khiển đường lên;
- Kết quả giải mã kênh điều khiển đường lên, đây là phương pháp áp dụng vào hệ thống thực tế dựa trên bảng thống kê đã có được.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Tác giả sáng chế đã thiết lập mô hình thử nghiệm phương pháp theo sáng chế với các thông số cấu hình thu được qua quá trình tối ưu hóa. Phương pháp theo sáng chế được thực hiện trên mô hình có số ăng-ten phát là một, số ăng-ten thu lần lượt là một, hai và bốn.

Sau khi thực hiện theo giải thuật ở bước 9, với số lần truyền 1000000 lần, $N_{\text{percent}}^{\text{reliability}}$ bằng 0,99, bảng tra cứu thống kê được tìm ra như bảng 1 bên dưới. Có thể nhận thấy là vùng SNR_{dB} luôn giới hạn ở mức sao cho đảm bảo $d_{\text{threshold}}^{\min}$ không lớn 0,85 và $R_{\text{threshold}}$ không lớn 7. Kết quả này được rút ra từ quá trình thử nghiệm và tối ưu, nếu $d_{\text{threshold}}^{\min}$ lớn hơn 0,85 thì chắc chắn sẽ rơi vào trạng thái không truyền gì và $R_{\text{threshold}}$ lớn 7 thì chắc chắn là có truyền thông tin điều khiển.

Bảng 1: bảng tra cứu thống kê

N_{RX}	$N_{\text{group,slot}}$	SNR_{dB} (dB)	$R_{\text{threshold}}$	$d_{\text{threshold}}^{\min}$
1	4	< -2	1,58	0,85
		$-2 \rightarrow -1$	1,99	0,79
		$-1 \rightarrow 0$	2,17	0,77
		$0 \rightarrow 1$	2,31	0,74

N_{RX}	$N_{group,slot}$	SNR_{dB} (dB)	$R_{threshold}$	$d_{threshold}^{min}$
		$1 \rightarrow 2$	2,54	0,71
		$2 \rightarrow 3$	2,81	0,67
		$3 \rightarrow 4$	3,35	0,61
		$4 \rightarrow 5$	4,04	0,53
		$5 \rightarrow 6$	4,96	0,47
		> 6	6,42	0,39
	8	< -4	1,49	0,86
		$-4 \rightarrow -3$	1,79	0,82
		$-3 \rightarrow -2$	1,92	0,80
		$-2 \rightarrow -1$	2,05	0,78
		$-1 \rightarrow 0$	2,32	0,73
		$0 \rightarrow 1$	2,67	0,68
		$1 \rightarrow 2$	3,22	0,61
		$2 \rightarrow 3$	3,95	0,53
		$3 \rightarrow 4$	4,97	0,46
		> 4	6,20	0,39
	16	< -6	1,36	0,89
		$-6 \rightarrow -5$	1,57	0,86
		$-5 \rightarrow -4$	1,68	0,84
		$-4 \rightarrow -3$	1,80	0,82
		$-3 \rightarrow -2$	2,01	0,78
		$-2 \rightarrow -1$	2,34	0,72
		$-1 \rightarrow 0$	2,82	0,65
		$0 \rightarrow 1$	3,43	0,57
		$1 \rightarrow 2$	4,33	0,50
		> 2	5,27	0,44
2	4	< -4	1,93	0,78
		$-4 \rightarrow -3$	2,25	0,74
		$-3 \rightarrow -2$	2,40	0,71
		$-2 \rightarrow -1$	2,64	0,68
		$-1 \rightarrow 0$	2,92	0,64

N_{RX}	$N_{group,slot}$	SNR_{dB} (dB)	$R_{threshold}$	$d_{threshold}^{min}$
		$0 \rightarrow 1$	3,35	0,59
		$1 \rightarrow 2$	4,03	0,52
		$2 \rightarrow 3$	5,06	0,44
		> 3	6,89	0,35
	8	< -6	1,76	0,81
		$-6 \rightarrow -5$	2,01	0,78
		$-5 \rightarrow -4$	2,15	0,75
		$-4 \rightarrow -3$	2,34	0,72
		$-3 \rightarrow -2$	2,61	0,68
		$-2 \rightarrow -1$	3,11	0,61
		$-1 \rightarrow 0$	3,86	0,54
		$0 \rightarrow 1$	4,96	0,45
		> 1	6,40	0,38
	16	< -8	1,57	0,84
		$-8 \rightarrow -7$	1,76	0,82
		$-7 \rightarrow -6$	1,87	0,80
		$-6 \rightarrow -5$	2,03	0,77
		$-5 \rightarrow -4$	2,29	0,72
		$-4 \rightarrow -3$	2,76	0,65
		$-3 \rightarrow -2$	3,43	0,57
		$-2 \rightarrow -1$	4,34	0,49
		$-1 \rightarrow 0$	5,51	0,42
		> 0	6,84	0,36
4	4	< -6	2,04	0,77
		$-6 \rightarrow -5$	2,38	0,71
		$-5 \rightarrow -4$	2,50	0,70
		$-4 \rightarrow -3$	2,71	0,66
		$-3 \rightarrow -2$	3,06	0,61
		$-2 \rightarrow -1$	3,56	0,55
		$-1 \rightarrow 0$	4,43	0,47
		> 0	6,25	0,37

N_{RX}	$N_{group,slot}$	SNR_{dB} (dB)	$R_{threshold}$	$d_{threshold}^{min}$
	8	< -8	1,93	0,78
		$-8 \rightarrow -7$	2,16	0,75
		$-7 \rightarrow -6$	2,31	0,72
		$-6 \rightarrow -5$	2,55	0,69
		$-5 \rightarrow -4$	2,87	0,64
		$-4 \rightarrow -3$	3,47	0,56
		$-3 \rightarrow -2$	4,56	0,47
		> -2	6,00	0,39
	16	< -10	1,74	0,81
		$-10 \rightarrow -9$	1,91	0,79
		$-9 \rightarrow -8$	2,05	0,77
		$-8 \rightarrow -7$	2,24	0,73
		$-7 \rightarrow -6$	2,58	0,68
		$-6 \rightarrow -5$	3,15	0,60
		$-5 \rightarrow -4$	3,99	0,52
		> -4	5,09	0,44

Sau khi có bảng tra cứu thống kê, các thông số cấu hình cho N_{slot} , N_{group} , $N_{group,slot}$ dựa theo N_{rep} khi áp dụng vào giải mã kênh điều khiển đường lên được mô tả trong Bảng 2 dưới đây:

Bảng 2: cấu hình độ dài theo khe thời gian

Cấu hình lặp (N_{rep})	Tổng số khe thời gian cho một lần truyền (N_{slot})	Số khe thời gian trong một nhóm ($N_{group,slot}$)	Tổng số nhóm
1	4	4	1
2	8	4	2
4	16	8	2
8	32	8	4
16	64	8	8
32	128	16	8
64	256	16	16

128	512	16	32
-----	-----	----	----

Các bộ thử nghiệm để kiểm tra phương pháp theo sáng chế được mô tả trong bảng 3 và được tạo ra dựa vào phần mô tả trong chương 8 của tài liệu “3GPP TS 36.104: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception”. Trong đó, số lượng ăng-ten cho thử nghiệm là hai.

Bảng 3: cấu hình của bộ thử nghiệm kiểm tra

Chế độ	Băng thông (MHz)	Trường hợp	Số lần lặp (N_{rep})	Đặc tính kênh truyền	$\overline{SNR}$ (dB)
Băng trong (Inband)	5	0	1	EPA 5 Low	6,3
		1	16	EPA 5 Low	-3,9
		2	64	EPA 5 Low	-9,5
	10	3	1	EPA 5 Low	6,3
		4	16	EPA 5 Low	-3,9
		5	64	EPA 5 Low	-9,5
	15	6	1	EPA 5 Low	6,3
		7	16	EPA 5 Low	-3,9
		8	64	EPA 5 Low	-9,5
	20	9	1	EPA 5 Low	6,3
		10	16	EPA 5 Low	-3,9
		11	64	EPA 5 Low	-9,5
Băng bảo vệ (Guardband)	5	12	1	EPA 5 Low	6,3
		13	16	EPA 5 Low	-3,9
		14	64	EPA 5 Low	-9,5
	10	15	1	EPA 5 Low	6,3
		16	16	EPA 5 Low	-3,9
		17	64	EPA 5 Low	-9,5
	15	18	1	EPA 5 Low	6,3
		19	16	EPA 5 Low	-3,9
		20	64	EPA 5 Low	-9,5
	20	21	1	EPA 5 Low	6,3

Chế độ	Băng thông (MHz)	Trường hợp	Số lần lặp (N_{rep})	Đặc tính kênh truyền	$\overline{SNR}$ (dB)
		22	16	EPA 5 Low	-3,9
		23	64	EPA 5 Low	-9,5

Sau khi kiểm tra phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên theo sáng chế bằng các thử nghiệm nêu trên với số lượng lần truyền là 100000, thu được kết quả hiệu năng giải mã sai (dùng tiêu chí mất ACK (Miss ACK) và nhầm ACK (false ACK) để đánh giá) trong Bảng 4 dưới đây:

Bảng 4: kết quả thực hiện phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên

Chế độ	Băng thông (MHz)	Trường hợp	Xác suất lỗi yêu cầu (%)		Xác suất lỗi đạt được (%)		Kết luận
			Mất ACK	Nhầm ACK	Mất ACK	Nhầm ACK	
Băng trong (Inband)	5	0	1	1	0,213	0,245	Đạt yêu cầu
		1	1	1	0,227	0,074	Đạt yêu cầu
		2	1	1	0,083	0,279	Đạt yêu cầu
	10	3	1	1	0,204	0,105	Đạt yêu cầu
		4	1	1	0,197	0,059	Đạt yêu cầu
		5	1	1	0,049	0,076	Đạt yêu cầu
	15	6	1	1	0,036	0,185	Đạt yêu cầu
		7	1	1	0,150	0,142	Đạt yêu cầu
		8	1	1	0,288	0,106	Đạt yêu cầu
	20	9	1	1	0,103	0,250	Đạt yêu cầu
		10	1	1	0,176	0,176	Đạt yêu cầu
		11	1	1	0,068	0,165	Đạt yêu cầu
Băng bảo vệ (Guardband)	5	12	1	1	0,171	0,032	Đạt yêu cầu
		13	1	1	0,141	0,289	Đạt yêu cầu
		14	1	1	0,004	0,002	Đạt yêu cầu
	10	15	1	1	0,102	0,233	Đạt yêu cầu
		16	1	1	0,049	0,246	Đạt yêu cầu

Chế độ	Băng thông (MHz)	Trường hợp	Xác suất lỗi yêu cầu (%)		Xác suất lỗi đạt được (%)		Kết luận
			Mất ACK	Nhầm ACK	Mất ACK	Nhầm ACK	
	15	17	1	1	0,239	0,261	Đạt yêu cầu
		18	1	1	0,094	0,026	Đạt yêu cầu
		19	1	1	0,159	0,120	Đạt yêu cầu
		20	1	1	0,050	0,078	Đạt yêu cầu
	20	21	1	1	0,181	0,241	Đạt yêu cầu
		22	1	1	0,079	0,130	Đạt yêu cầu
		23	1	1	0,197	0,274	Đạt yêu cầu

Từ kết quả trên đây, kết quả so sánh giữa phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên theo sáng chế và chuẩn quy định với số liệu chi tiết được mô tả trong

bảng 5 dưới đây:

bảng 5: so sánh phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên và chuẩn quy định

Băng thông (MHz)	Xác suất lỗi đạt được (%)		Tỉ lệ lỗi thấp hơn so với chuẩn	
	Mất ACK	Nhầm ACK	Mất ACK	Nhầm ACK
5	0,1398	0,1535	86,02 %	84,65 %
10	0,1400	0,1633	86,00 %	83,67 %
15	0,1295	0,1095	87,05 %	89,05 %
20	0,1340	0,2060	86,60 %	79,40 %
Trung bình	0,1358	0,1581	86,42 %	84,19 %

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên trong hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến băng thông hẹp Internet vạn vật kết nối NB-IoT bằng ứng dụng xác suất được thực hiện trên hệ thống máy vi tính bao gồm chín bước cụ thể như sau:

bước 1: ước lượng và nội suy kênh truyền; gồm các bước:

bước 1.1: thực hiện ước lượng bình phương tối thiểu (least Square - LS) theo công thức sau đây:

$$H_{LS}(s, k_{dmrs}) = y_{dmrs}(s, k_{dmrs}) \times \text{conj}\{x_{dmrs}(s, k_{dmrs})\} \quad (1)$$

trong đó:

- $H_{LS}(s, k_{dmrs})$ là véc-tơ kênh truyền LS thứ k_{dmrs} tại khe thời gian s ($N_{Rx} \times 1$);
- $y_{dmrs}(s, k_{dmrs})$ là véc-tơ DMRS thứ k_{dmrs} thu được tại khe thời gian thứ s ($N_{Rx} \times 1$);
- $x_{dmrs}(s, k_{dmrs})$ là giá trị DMRS thứ k_{dmrs} đã biết trước tại khe thời gian thứ s ;
- N_{Rx} là số ăng-ten thu;
- Số ăng-ten phát đường lên luôn là 1;
- $s = 0 \rightarrow N_{slot} - 1$;
- $k_{dmrs} = 0, 1, 2$;
- N_{slot} là số lượng khe thời gian mà kênh điều khiển đường lên sử dụng cho lần truyền hiện tại;
- $\text{conj}\{\cdot\}$ là hàm liên hiệp phức;

bước 1.2: thực hiện ước lượng trung bình cho mỗi nhóm kênh truyền theo công thức sau đây:

$$H_{mean}(g) = \frac{1}{3N_{group,slot}} \sum_{m=gN_{group,slot}}^{(g+1)N_{group,slot}-1} \sum_{n=0}^2 H_{LS}(m, n) \quad (2)$$

trong đó:

- $H_{mean}(g)$ là véc-tơ kênh truyền trung bình tại nhóm thứ g ($N_{Rx} \times 1$);
- $N_{group,slot}$ là số lượng khe thời gian sử dụng để tính kênh truyền trung bình trong mỗi nhóm;

- $g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1$;
- N_{group} là số lượng nhóm kênh truyền trung bình;

$$N_{\text{group}} = \frac{N_{\text{slot}}}{N_{\text{group,slot}}}$$

bước 1.3: ước lượng công suất nhiễu trung bình tại cho mỗi nhóm kênh truyền theo công thức sau đây:

$$N(s, k_{\text{dmrs}}) = H_{\text{LS}}(s, k_{\text{dmrs}}) - H_{\text{mean}} \left(\left\lfloor \frac{s}{N_{\text{group,slot}}} \right\rfloor \right) \quad (3)$$

$$N_{\text{mean}}(g) = \frac{1}{3N_{\text{group,slot}}N_{\text{Rx}}} \sum_{m=gN_{\text{group,slot}}}^{(g+1)N_{\text{group,slot}}-1} \sum_{n=0}^2 \{N(m, n)^H \times N(m, n)\} \quad (4)$$

trong đó:

- $N(s, k_{\text{dmrs}})$ là véc-tơ nhiễu thứ k_{dmrs} tại khe thời gian thứ s ($N_{\text{Rx}} \times 1$);
- $N_{\text{mean}}(g)$ là công suất trung bình của nhiễu tại nhóm thứ g ;
- $s = 0 \rightarrow N_{\text{slot}} - 1$;
- $k_{\text{dmrs}} = 0, 1, 2$;
- $g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1$;

bước 1.4: nội suy kênh truyền và công suất nhiễu cho mỗi ký hiệu mang dữ liệu trong từng khe thời gian theo công thức sau đây:

$$H(s, k_{\text{data}}) = H_{\text{mean}} \left(\left\lfloor \frac{s}{N_{\text{group,slot}}} \right\rfloor \right) \quad (5)$$

$$N(s, k_{\text{data}}) = N_{\text{mean}} \left(\left\lfloor \frac{s}{N_{\text{group,slot}}} \right\rfloor \right) \quad (6)$$

trong đó:

- $H(s, k_{\text{data}})$ là véc-tơ kênh truyền được nội suy ra tại khe thời gian thứ s và ký hiệu thứ k_{data} ($N_{\text{Rx}} \times 1$);
- $N(s, k_{\text{data}})$ là công suất nhiễu trung bình được nội suy ra tại khe thời gian thứ s và ký hiệu thứ k_{data} ;
- $s = 0 \rightarrow N_{\text{slot}} - 1$;

- $k_{\text{data}} = 0, 1, 2, \dots$

bước 2: cân bằng kênh; bước này được thực hiện dựa theo công thức cân bằng lỗi bình phương trung bình tối thiểu MMSE sau đây:

$$\hat{x}(s, k_{\text{data}}) = \left\{ \begin{aligned} &[H(s, k_{\text{data}})^H \times H(s, k_{\text{data}}) + N(s, k_{\text{data}})]^{-1} \\ &\times H(s, k_{\text{data}})^H \times y(s, k_{\text{data}}) \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

trong đó:

- $\hat{x}(s, k_{\text{data}})$ là giá trị ký hiệu băng gốc mang dữ liệu đã khôi phục lại sau cân bằng tại khe thời gian thứ s và ký hiệu thứ k_{data} ;
- $y(s, k_{\text{data}})$ là véc-tơ ký hiệu băng gốc mang dữ liệu thu được tại khe thời gian thứ s và ký hiệu thứ k_{data} ;
- $s = 0 \rightarrow N_{\text{slot}} - 1$;
- $k_{\text{data}} = 0, 1, 2, 3$;

bước 3: giải điều chế băng gốc; bước này được thực hiện theo công thức sau đây:

$$b_{\text{scb}}(4s + k_{\text{data}}) = -\sqrt{\frac{1}{2}} [R\{\hat{x}(s, k_{\text{data}})\} + I\{\hat{x}(s, k_{\text{data}})\}] \quad (7)$$

trong đó:

- $b_{\text{scb}}(i)$ là giá trị bit mềm thứ i sau khi giải điều chế băng gốc;
- $i = 0 \rightarrow 4N_{\text{slot}} - 1$;
- $\mathcal{R}\{.\}$ là hàm lấy phần thực của số phức;
- $\mathcal{I}\{.\}$ là hàm lấy phần ảo của số phức;

bước 4: giải xáo trộn; bước này được thực hiện theo công thức sau đây:

$$b_{\text{enc,harq}}(i) = [1 - 2c(i)] \cdot b_{\text{scb}}(i) \quad (8)$$

trong đó:

- $\text{bit}_{\text{enc}}^{\text{harq}}(i)$ là giá trị bit mềm thứ i sau khi giải xáo trộn;
- $i = 0 \rightarrow 4N_{\text{slot}} - 1$;
- $c(i)$ là chuỗi mã giả ngẫu nhiên;

bước 5: tính toán và xác định tham số giải mã thông tin điều khiển; bước này gồm các bước:

bước 5.1: thực hiện tính toán khoảng cách euler đối với bit 0 và bit 1 theo công thức sau đây:

$$d_0(g) = \frac{1}{4N_{\text{group,slot}}} \sum_{i=4gN_{\text{group,slot}}}^{4(g+1)N_{\text{group,slot}}-1} [b_{\text{enc,harq}}(i) + 1]^2 \quad (9)$$

$$d_1(g) = \frac{1}{4N_{\text{group,slot}}} \sum_{i=4gN_{\text{group,slot}}}^{4(g+1)N_{\text{group,slot}}-1} [b_{\text{enc,harq}}(i) - 1]^2 \quad (10)$$

trong đó:

- $d_0(g)$ là khoảng cách euler đối với bit 0 của nhóm thứ g ;
- $d_1(g)$ là khoảng cách euler đối với bit 1 của nhóm thứ g ;
- $g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1$;

bước 5.2: thực hiện tính toán tỉ lệ khoảng cách euler tối đa trên khoảng cách euler tối thiểu và giá trị khoảng cách euler tối thiểu theo công thức sau đây:

$$R(g) = \frac{\max\{d_0(g), d_1(g)\}}{\min\{d_0(g), d_1(g)\}} \quad (11)$$

$$d^{\min}(g) = \min\{d_0(g), d_1(g)\} \quad (12)$$

trong đó:

- $R(g)$ là giá trị khoảng cách euler tối đa trên khoảng cách euler tối thiểu tại nhóm thứ g ;
- $d^{\min}(g)$ là giá trị khoảng cách euler tối thiểu tại nhóm thứ g ;
- $g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1$;

bước 5.3: thực hiện xác định ngưỡng cho R ($R_{\text{threshold}}$) và $d^{\min}$ ($d_{\text{threshold}}^{\min}$) dựa vào bảng tra cứu theo các tham số N_{RX} , $N_{\text{group,slot}}$ và $\text{SNR}_{\text{dB}}(g)$;

trong đó:

- $R_{\text{threshold}}(g)$ là ngưỡng dưới của giá trị tỉ lệ để phát hiện có truyền thông tin điều khiển tại nhóm thứ g ;
- $d_{\text{threshold}}^{\min}(g)$ là ngưỡng trên của giá trị khoảng cách euler tối thiểu để phát hiện có truyền thông tin điều khiển tại nhóm thứ g ;

- $\text{SNR}_{\text{dB}}(g)$ là tỉ lệ công suất tín hiệu trên công suất nhiễu tại nhóm thứ g và được tính toán theo công thức:

$$\text{SNR}_{\text{dB}}(g) = 10 \log_{10} \left[\frac{[H_{\text{mean}}(g)^H \times H_{\text{mean}}(g)]}{N_{\text{Rx}} N_{\text{mean}}(g)} \right] \quad (13)$$

- $g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1$;

bước 6: xác định UE có truyền thông tin điều khiển hay không; bước này được thực hiện theo cách thức sau:

nếu $R(g) \geq R_{\text{threshold}}(g)$ và $d^{\min}(g) \leq d_{\text{threshold}}^{\min}(g)$ thì xác định có truyền thông tin điều khiển tại nhóm thứ g ;

nếu $R(g) < R_{\text{threshold}}(g)$ hoặc $d^{\min}(g) > d_{\text{threshold}}^{\min}(g)$ thì xác định không truyền thông tin điều khiển tại nhóm thứ g ;

trong đó:

- $g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1$;

bước 7: xác định thông tin điều khiển ở từng nhóm; bước này được thực hiện theo công thức sau:

$$\text{info}(g) = \begin{cases} 0, & \text{có truyền và } d_0(g) < d_1(g) \\ 1, & \text{có truyền và } d_0(g) \geq d_1(g) \\ -1, & \text{không truyền} \end{cases} \quad (14)$$

trong đó:

- $\text{info}(g)$ là thông tin điều khiển xác định được ở nhóm thứ g ;
- $g = 0 \rightarrow N_{\text{group}} - 1$;

bước 8: kết luận thông tin điều khiển; bước này được thực hiện theo cách thức sau:

bước 8.1: tính toán tổng thống kê cho từng trường hợp:

$$\text{count}_{\text{ACK}} = \sum_{g=0}^{N_{\text{group}}-1} [\text{info}(g) == 1] \quad (15)$$

$$\text{count}_{\text{NACK}} = \sum_{g=0}^{N_{\text{group}}-1} [\text{info}(g) == 0] \quad (16)$$

$$\text{count}_{\text{DTX}} = \sum_{g=0}^{N_{\text{group}}-1} [\text{info}(g) == -1] \quad (17)$$

trong đó:

- $\text{count}_{\text{ACK}}$ là tổng thống kê truyền bit 1;
- $\text{count}_{\text{NACK}}$ là tổng thống kê truyền bit 0;
- $\text{count}_{\text{DTX}}$ là tổng thống kê không truyền;

bước 8.2: quyết định thông tin điều khiển:

nếu $\text{count}_{\text{ACK}} \geq \text{count}_{\text{NACK}}$ và $\text{count}_{\text{ACK}} \geq \text{count}_{\text{DTX}}$ thì xác định thông tin điều khiển là ACK;

nếu $\text{count}_{\text{ACK}} < \text{count}_{\text{NACK}}$ và $\text{count}_{\text{NACK}} \geq \text{count}_{\text{DTX}}$ thì xác định thông tin điều khiển là NACK;

nếu $\text{count}_{\text{ACK}} < \text{count}_{\text{DTX}}$ và $\text{count}_{\text{NACK}} < \text{count}_{\text{DTX}}$ thì xác định không truyền thông tin điều khiển;

bước 9: xác định bảng tra cứu thống kê để tìm ngưỡng $R_{\text{threshold}}$ và $d_{\text{threshold}}^{\min}$.

bước 9.1: thiết đặt mô hình lấy dữ liệu thống kê:

tạo tín hiệu kênh điều khiển đường lên với các cấu hình số lần lặp khác nhau; mỗi cấu hình lặp sẽ tương ứng với một giá trị N_{slot} khác nhau;

cho tín hiệu kênh điều khiển đường lên qua kênh truyền đa đường cần khảo sát;

thêm nhiễu vào kênh truyền dựa vào một dãy các $\overline{\text{SNR}_{\text{dB}}}$ khác nhau;

ở trạm thu phát gốc, thu tín hiệu kênh điều khiển đường lên với số lượng ăng-ten (N_{RX}) khác nhau;

dựa vào phương pháp giải mã kênh điều khiển đường lên như bước 1 đến bước 5, tính toán các tham số SNR_{dB} , R và $d^{\min}$; chú ý SNR_{dB} là giá trị ước lượng được, còn $\overline{\text{SNR}_{\text{dB}}}$ là giá trị chuẩn đặt ra;

lặp lại quá trình thu phát trên với số lượng lớn, thường là lớn hơn 100000 lần, số lượng thử nghiệm càng lớn, kết quả xác định ngưỡng càng chính xác;

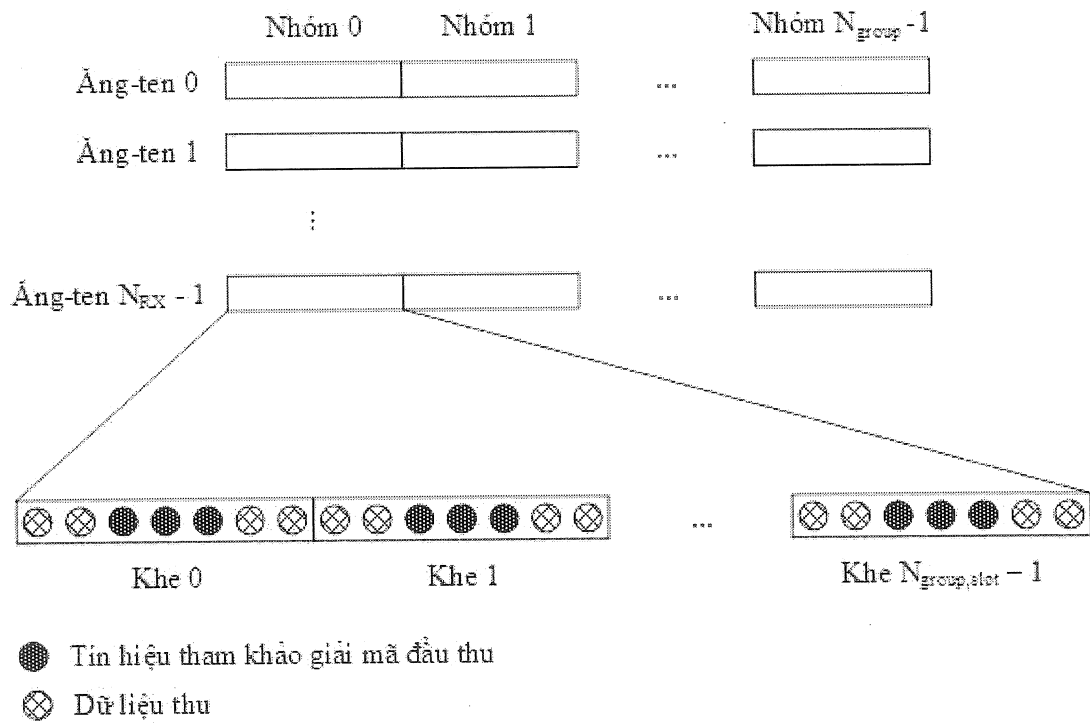
lúc này, ứng với mỗi giá trị lặp, loại kênh truyền, $\overline{\text{SNR}_{\text{dB}}}$, số lượng ăng-ten sẽ cho ra một bộ dữ liệu thống kê tương ứng gồm các tham số SNR_{dB} , R và $d^{\min}$;

bước 9.2: phân tích dữ liệu thống kê để xác định ngưỡng theo các bước sau:

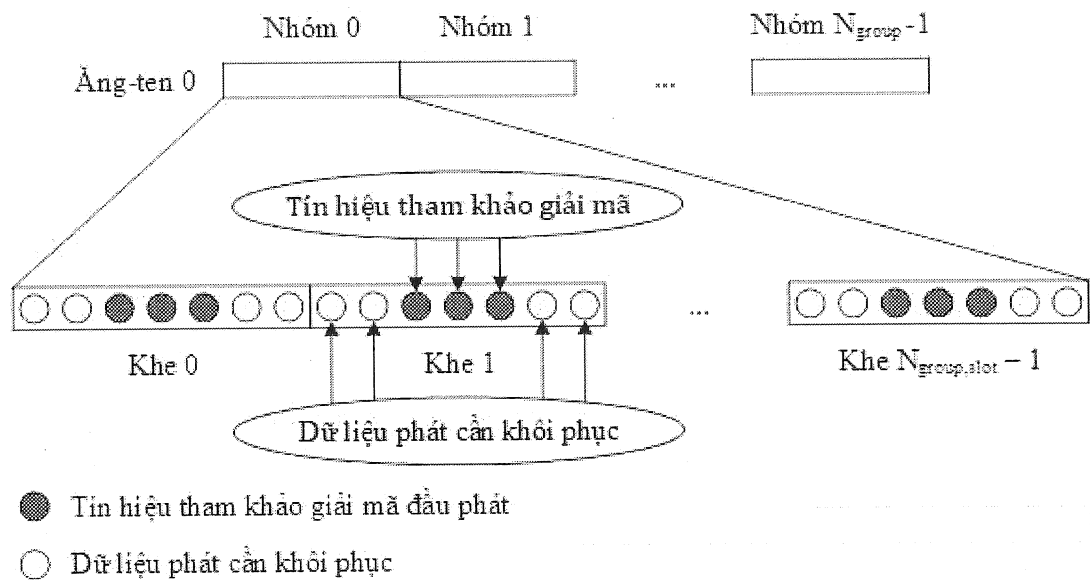
- chọn lựa các bộ dữ liệu thống kê có cùng giá trị lặp và số lượng ăng-ten để gộp thành một bộ dữ liệu;
- phân bộ dữ liệu này ra thành các vùng dữ liệu dựa vào tham số SNR_{dB} , lúc này, ứng với mỗi vùng SNR_{dB} sẽ cho ra một tập các giá trị R và $d^{\min}$;
- xác định phân bố xác suất của R và $d^{\min}$ trong vùng này;
- $R_{\text{threshold}}$ là giá trị nhỏ hơn $N_{\text{percent}}^{\text{reliability}}$ phần trăm trong tập giá trị chứa R ;
- $d_{\text{threshold}}^{\min}$ là giá trị lớn hơn $N_{\text{percent}}^{\text{reliability}}$ phần trăm trong tập giá trị chứa $d^{\min}$;
- lặp lại cho toàn bộ các vùng SNR_{dB} để được các giá trị $R_{\text{threshold}}$ và $d_{\text{threshold}}^{\min}$ tương ứng;
- lặp lại cho toàn bộ các bộ dữ liệu thống kê để được bảng tra cứu hoàn chỉnh;

kết quả cuối cùng thu được sau khi thực hiện gồm hai phần:

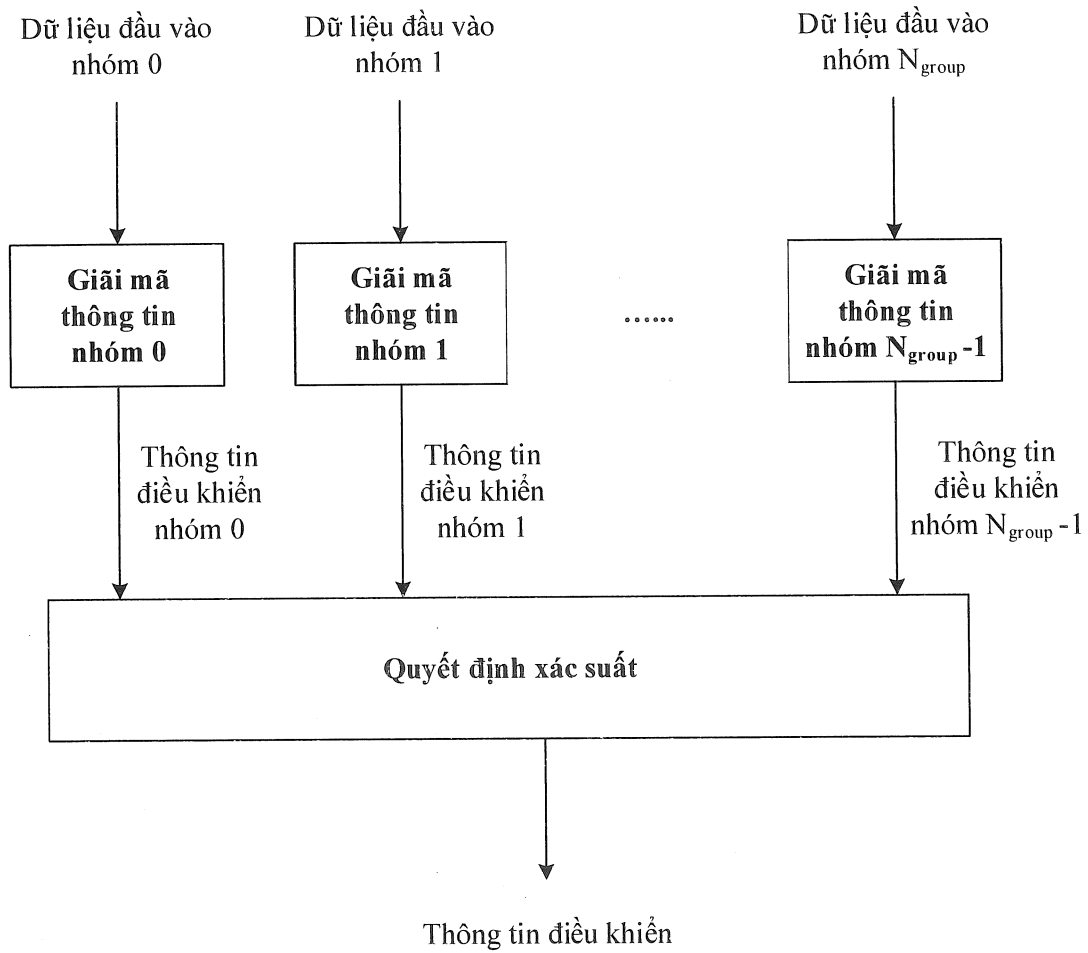
- + bảng tra cứu thống kê phục vụ cho việc giải mã kênh điều khiển đường lên;
- + kết quả giải mã kênh điều khiển đường lên, đây là phương pháp áp dụng vào hệ thống thực tế dựa trên bảng thống kê đã có được.



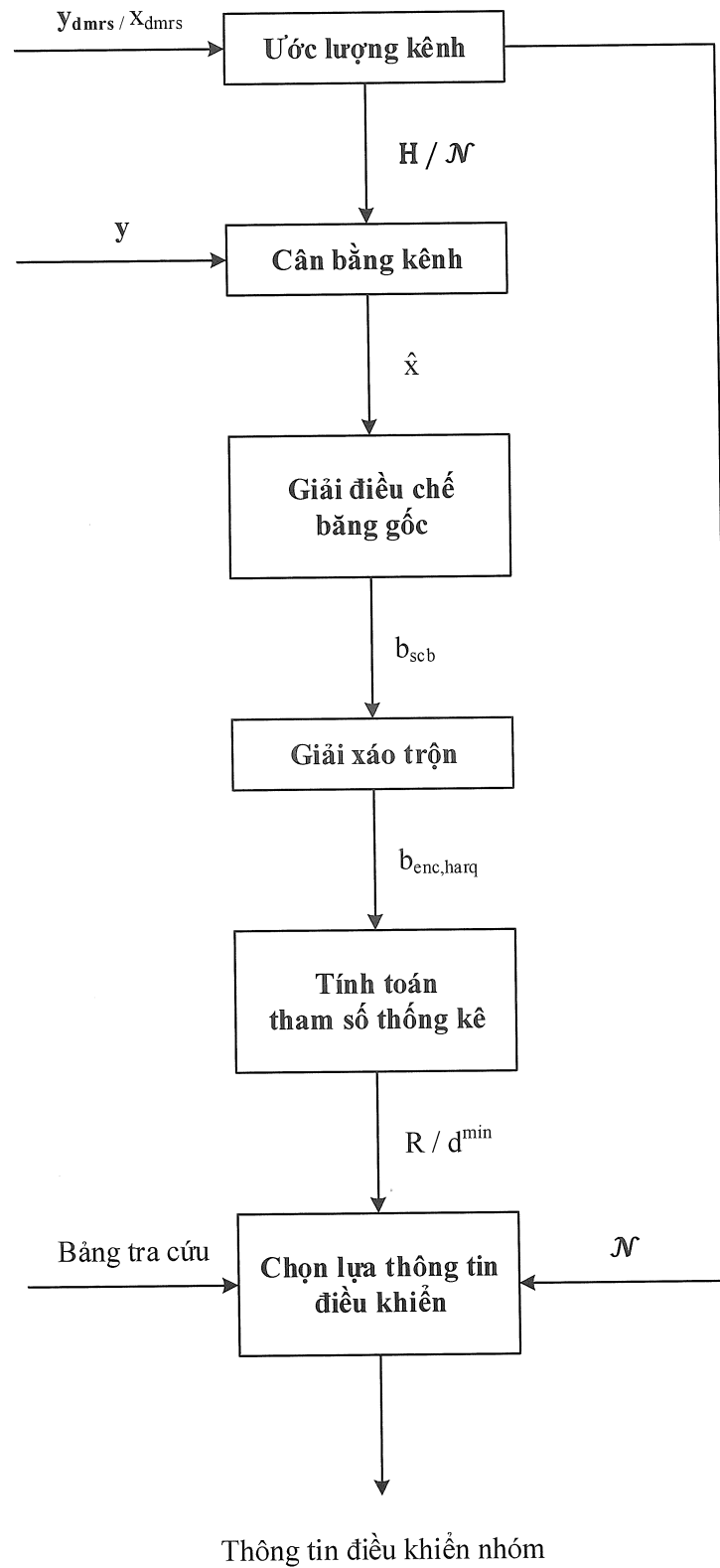
Hình 1



Hình 2



Hình 3



Hình 4