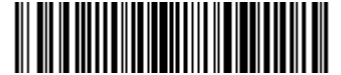




(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

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

(11)



2-0003801

(51) **H04L 25/00**
2022.01

(13) **Y**

(21) 2-2023-00792

(22) 30/12/2021

(67) 1-2021-08504

(45) 25/11/2024 440

(43) 25/03/2022 408

(73) Tập đoàn công nghiệp - viễn thông quân đội (VN)

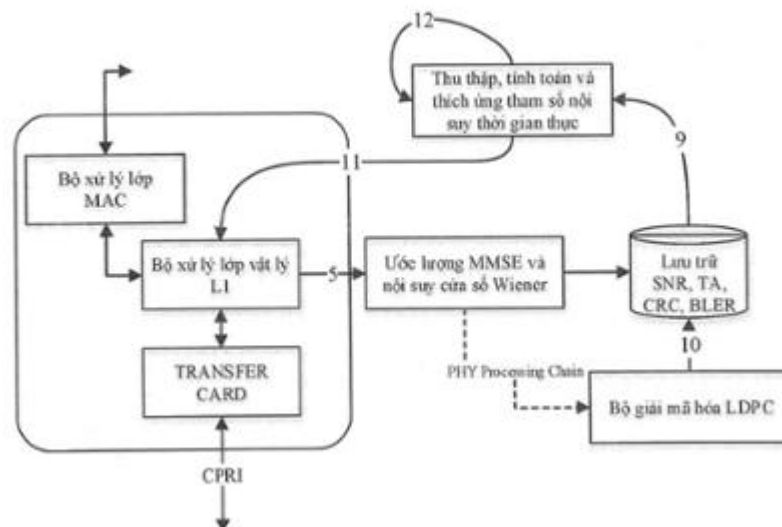
Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội.

(72) Nguyễn Trung Tiến (VN); Lương Xuân Hào (VN); Lê Trường Giang (VN).

(74) Công ty TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) **PHƯƠNG PHÁP ƯỚC LƯỢNG VÀ NỘI SUY MIỀN TÀN SÓ THÍCH ỨNG
KÊNH TRUYỀN TRONG HỆ THỐNG TRẠM THU PHÁT GÓC VÔ TUYẾN 5G**

(57) Giải pháp hữu ích đề cập đến phương pháp ước lượng và nội suy kênh truyền tuyến thu thích ứng theo môi trường truyền dẫn trong hệ thống trạm thu phát góc vô tuyến thế hệ mới (Next Generation Node B - gNodeB hay New Radio - NR), bao gồm: a) thiết lập tham số khởi tạo và thu thập dữ liệu đầu vào của hệ thống theo từng TTI; b) đánh giá và tính toán các tham số và ma trận trọng số nội suy theo môi trường vô tuyến; và c) hiệu chỉnh các tham số và ma trận trọng số nội suy thích ứng môi trường theo thời gian, là đầu vào của khối ước lượng và nội suy kênh truyền của L1.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích đề cập đến phương pháp ước lượng và nội suy miền tần số thích ứng kênh truyền trong hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến 5G (Next Generation Node B - gNodeB). Cụ thể, phương pháp được đề cập giúp tối ưu khả năng bù ảnh hưởng kênh truyền lên dữ liệu thu và tăng hiệu năng giải mã của hệ thống trong điều kiện môi trường vô tuyến thay đổi liên tục.

Tình trạng kỹ thuật của Giải pháp hữu ích

Trong các hệ thống viễn thông nói chung và hệ thống gNodeB nói riêng, việc ước lượng và bù kênh truyền của thiết bị tuyến thu có vai trò quan trọng và ảnh hưởng trực tiếp tới chất lượng và thông lượng của toàn hệ thống mạng. Hơn nữa, hệ thống tiến hóa vô tuyến mới (New Radio - NR) sử dụng phổ tần rộng và linh hoạt trong một tế bào mạng (cell) nên rất dễ bị ảnh hưởng bởi sự can nhiễu giữa các thành phần trong tế bào mạng và các tế bào mạng lân cận nhau. Hiện nay, theo quy chuẩn của tổ chức dự án đối tác thế hệ thứ 3 (The 3rd Generation Partnership Project - 3GPP), việc ước lượng kênh truyền tại phía thu sẽ dựa trên tín hiệu hoa tiêu là tín hiệu tham chiếu giải mã hóa (Demodulation Reference Signal - DMRS). Mục đích của việc ước lượng kênh truyền này là để thực hiện bù ảnh hưởng kênh truyền lên các vị trí chứa dữ liệu người dùng trong khung tín hiệu. Tuy nhiên, vì đặc tính môi trường vô tuyến luôn biến thiên theo cả miền thời gian và tần số, cần quá trình nội suy kênh truyền ước lượng được tại các vị trí DMRS sang các vị trí chứa dữ liệu người dùng. Có nhiều thuật toán ước lượng dựa trên tín hiệu hoa tiêu phổ biến hiện nay như ước lượng bình phương cực tiểu (Least-Square - LS), ước lượng tối thiểu bình phương lỗi (Minimum Mean Square Error - MMSE), và ước lượng hợp lý cực đại (Maximum Likelihood - ML). Tương tự, các phương pháp nội suy kênh truyền bao gồm nội suy tuyến tính, nội suy dùng đa thức và nội suy sử dụng lọc cửa sổ Wiener. Trong đó, ước lượng MMSE kết hợp với

nội suy cửa sổ Wiener thường được lựa chọn dựa trên tiêu chí độ chính xác đáp ứng chỉ tiêu về tỉ lệ lỗi khối (Block Error Rate - BLER) và mức độ phức tạp trong tính toán đáp ứng thời gian xử lý trong một khoảng thời gian truyền (Transmission Time Interval - TTI). Tuy nhiên, công nghệ 5G hiện tại với các băng tần có bước sóng ngắn dễ bị suy hao bởi các yếu tố của môi trường vô tuyến nên mức tín hiệu trên nhiễu (Signal to Noise Ratio - SNR) sụt giảm nhanh và thay đổi liên tục. Hơn nữa, tốc độ truyền tải cao của 5G ứng với thời gian một TTI bị rút ngắn đi. Như vậy, việc tối ưu và phát triển các thuật toán ước lượng và nội suy kênh truyền đóng vai trò rất quan trọng trong việc đảm bảo những yêu cầu về chất lượng và hiệu năng của hệ thống 5G.

Hiện nay, có các đề xuất tối ưu thuật toán cho ước lượng và nội suy kênh truyền như thuật toán hủy bỏ giao thoa kế cận (Successive Interference Cancellation - SIC) hoặc các bộ lọc nội suy dựa trên khảo sát môi trường vô tuyến có sẵn nhằm nâng cao khả năng giải mã tín hiệu.

Tuy nhiên, các giải pháp nêu trên có một số nhược điểm sau:

- Thuật toán SIC có độ phức tạp tính toán cao, đặc biệt trong điều kiện đáp ứng kết nối nhiều thiết bị di động (User Equipment – UE), vì số lần lặp của ước lượng kênh truyền tương ứng với số lượng UE. Do đó, việc triển khai thuật toán trong hệ thống còn phụ thuộc vào khả năng đáp ứng của phần cứng với các tính toán phức tạp trong giới hạn độ dài một TTI. Cụ thể, với thuật toán ước lượng MMSE và nội suy cửa sổ Wiener thông thường, việc triển khai thuật toán này với phần mềm chạy trên các máy chủ Intel mới đã xảy ra tình trạng quá thời gian xử lý một TTI với các cấu hình cấp phát tài nguyên miền thời gian và tần số lớn. Do đó, việc triển khai thêm thuật toán SIC đòi hỏi sử dụng các phần cứng tăng tốc xử lý như bộ xử lý tín hiệu số (Digital Signal Processor - DSP) hoặc FPGA. Tuy nhiên sẽ làm tăng độ phức tạp của kiến trúc hệ thống và giá thành sản phẩm.
- Các bộ lọc nội suy dựa trên các khảo sát có sẵn có thể không đảm bảo khả năng thích ứng với môi trường vô tuyến thay đổi liên tục và đa dạng. Điều này có thể thấy qua các trường hợp cấp phát tài nguyên miền thời gian và tần số lớn đi kèm với tỉ lệ

mã hóa cao. Đây là các trường hợp yêu cầu độ chính xác cao trong ước lượng kênh truyền vì có thể ảnh hưởng đến hiệu năng của khối giải mã hóa LDPC ở cuối chuỗi xử lý tuyến thu của L1. Cụ thể, tỉ lệ mã hóa cao đồng nghĩa với số bit sửa lỗi của giải thuật LDPC bị giảm nên khả năng sửa lỗi cho các bit mang thông tin bị hạn chế, do đó nên nhiều tầng cao do sai lệch của khối nội suy kênh truyền sẽ càng làm giảm hiệu năng sửa lỗi của khối LDPC. Hệ quả trực tiếp là BLER hệ thống tăng cao khi UE được cấp phát các cấu hình cao. Bên cạnh đó, hệ quả gián tiếp là làm tăng thời gian xử lý của khối LDPC vì bản chất của thuật toán giải mã LDPC sẽ thực hiện lặp giải mã nhiều lần với trường hợp kiểm tra sửa lỗi thất bại. Thông thường khối LDPC là khối chiếm nhiều thời gian xử lý của hệ thống nhất do khối lượng tính toán cao. Do đó, số lượng vòng lặp giải mã tăng sẽ ảnh hưởng nghiêm trọng đến thời gian xử lý chung của toàn hệ thống.

Bản chất kỹ thuật của Giải pháp hữu ích

Do đó, mục đích của giải pháp hữu ích là đề xuất phương pháp tối ưu cho nội suy kênh truyền miền tần số theo cửa sổ Wiener. Trong đó, thích ứng các tham số của cửa sổ nội suy theo môi trường vô tuyến thay đổi dựa trên các thông số hệ thống như SNR và BLER được tính từ kênh PUSCH. Từ đó, giải quyết vấn đề can nhiễu của các thiết bị người dùng trong mạng lưới và đảm bảo chất lượng tín hiệu thu tốt cho phần giải mã tín hiệu. Đề xuất này được áp dụng cụ thể cho kênh PUSCH vì đặc tính DMRS không ánh xạ toàn bộ trên miền tần số, cùng dữ liệu điều chế bậc cao lên đến 256QAM, và tỉ lệ mã hóa xấp xỉ 1. Trong khi đó, có thể thấy kênh PRACH và kênh PUCCH định dạng 0 chỉ sử dụng thuần chuỗi giả ngẫu nhiên Zadoff-Chu và được giải mã ở phía thu bằng tính tương quan của chuỗi này. Kênh PUCCH định dạng 1, 2, 3, 4 thì chỉ sử dụng các điều chế BPSK và QPSK, nên chỉ yêu cầu mức độ ước lượng kênh truyền đơn giản, đồng thời cũng giúp giảm thiểu thời gian xử lý.

Để đạt được mục đích nêu trên, giải pháp hữu ích đề xuất phương pháp ước lượng và nội suy kênh truyền tuyến thu thích ứng theo môi trường truyền dẫn trong hệ thống gNodeB NR bao gồm:

Bước 1: thiết lập tham số khởi tạo và thu thập dữ liệu đầu vào hệ thống; tại bước này, khởi tạo thiết lập hệ thống với số lượng ăng-ten đầu vào, băng thông và các thông tin lập lịch từ tương ứng từ lớp MAC, các ma trận trọng số W của cửa sổ nội suy, thực hiện chia tách hai loại tham số nội suy kênh truyền như sau. Tham số không thay đổi và tham số thay đổi theo môi trường vô tuyến. Sau đó phân tách tín hiệu DMRS thu được tại các vị trí ánh xạ trong lưới tài nguyên miền tần số và tính toán trước chuỗi tín hiệu DMRS với các thông số cấu hình từ MAC.

Bước 2: thực hiện phương pháp ước lượng MMSE và nội suy thích nghi các tham số cửa sổ Wiener. Lần lượt ước lượng thô kênh truyền dựa trên thuật toán LS với chuỗi DMRS thu được và chuỗi DMRS biết trước, ước lượng độ lệch mẫu trên miền thời gian và bù độ lệch mẫu trên ước lượng thô. Nội suy miền tần số lần thứ nhất và lần thứ hai bằng thực hiện nhân ma trận trọng số với ước lượng thô LS sau bù lệch TO để nội suy các vị trí không chứa DMRS trên miền tần số đi kèm các chỉ số chất lượng mạng. Tiếp tục tính toán bảng tra cứu thích ứng kênh truyền ứng với SNR được thực hiện ở mọi TTI và thích nghi chỉ số trải trễ của kênh truyền, trong đó quá trình quét thích nghi chỉ số trải trễ được thực hiện đồng thời theo hai phương thức là theo chu kỳ và không theo chu kỳ để thích nghi chỉ số độ rộng cửa sổ nội suy với kênh truyền vô tuyến. Lựa chọn kết quả trên phiên có chỉ số BLER thấp nhất và cải thiện chất lượng.

Mô tả tóm tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả tổng quan thiết lập một hệ thống đồng bộ thiết bị người dùng UE với hệ thống khối xử lý phân tán (Distributed Unit - DU)/khối xử lý sóng vô tuyến (Radio Unit - RU) áp dụng phương pháp của giải pháp hữu ích.

Hình 2 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả vị trí luồng xử lý thích ứng tham số nội suy thời gian thực trong chuỗi xử lý chung kênh PUSCH của lớp vật lý.

Hình 3 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả các khối trong chuỗi xử lý chung kênh PUSCH của lớp vật lý.

Hình 4 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả chi tiết các thành phần chính của luồng xử lý ước lượng và nội suy kênh truyền của sơ Wiener thông thường.

Hình 5 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả giải thuật và luồng xử lý của phương pháp hiệu chỉnh đáp ứng tham số nội suy của sơ Wiener theo môi trường.

Hình 6 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả giải thuật thích ứng nội suy với tham số tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu SNR.

Hình 7 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả giải thuật thích ứng nội suy với tham số độ trễ môi trường theo chu kỳ.

Hình 8 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả giải thuật thích ứng nội suy với tham số độ trễ môi trường không theo chu kỳ.

Hình 9 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả giải thuật thích ứng nội suy với tham số độ rộng cửa sổ nội suy.

Hình 10 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả giải thuật luồng xử lý các quá trình thích ứng và quyết định giá trị trọng số nội suy dựa trên các bảng tra cứu nội suy.

Hình 11 là hình vẽ dạng sơ đồ khối mô tả luồng dữ liệu xử lý giao tiếp giữa phần mềm thu thập – tính toán thời gian thực, thiết bị người dùng UE, DU/TFC và RU.

Hình 12 là hình vẽ mô tả cách thiết lập hệ thống và áp dụng Giải pháp hữu ích tại phòng lab thử nghiệm gNodeB của VIETTEL.

Mô tả chi tiết Giải pháp hữu ích

Trong hệ thống tối ưu hệ thống gNodeB, việc ước lượng chính xác thích ứng theo môi trường vô tuyến thay đổi có vai trò quan trọng, để thực hiện được việc bù ảnh hưởng kênh truyền một cách tối ưu giúp cải thiện chất lượng hệ thống tuyến thu. Cụ thể, phương pháp được đề xuất bao gồm các bước:

Bước 1: thiết lập tham số khởi tạo và thu thập dữ liệu đầu vào hệ thống; trong đó bao gồm thiết lập hệ thống như Hình 1 thể hiện tổng quan một hệ thống đầy đủ đáp ứng được yêu cầu thực hiện phương pháp ước lượng và nội suy kênh truyền tuyến thu thích ứng

theo môi trường truyền dẫn trong hệ thống gNodeB. Trong hệ thống này, khối xử lý phân tán (Distributed Unit - DU) bao gồm khối máy chủ chạy trên nền tảng bộ vi xử lý chức năng chung (General Purpose Processor - GPP) giao tiếp qua cổng PCIe với khối tăng tốc phần cứng dùng công nghệ mảng cổng lập trình được (Field-Programmable Gate Array - FPGA). Khối FPGA hay còn được gọi là mạch trung chuyển (Transfer Card – TFC) được kết nối với khối vô tuyến từ xa (Radio Unit - RU) thông qua chuẩn giao diện truyền sóng dùng chung (Common Public Radio Interface – CPRI), và một khối mạch cung cấp xung nhịp (clock) đồng bộ lấy từ nguồn vệ tinh định vị toàn cầu (Global Position Satellite - GPS) hoặc nguồn đồng bộ 1588. Trong đó, khối máy chủ GPP đóng vai trò là khối xử lý chạy các lớp phần mềm của hệ thống tương ứng với các tầng của mô hình tham chiếu kết nối các hệ thống mở (Open Systems Interconnection Reference Model - OSI) gồm lớp vật lý xử lý tín hiệu vô tuyến (Layer 1 – L1), lớp phần mềm xử lý cấp phát tài nguyên và lập lịch (Layer 2 – L2), và lớp phần mềm xử lý cấu hình thông tin điều khiển và kết nối mạng internet (Layer 3 – L3). Trong mô hình này, thiết bị người dùng (User Equipment - UE) sẽ thực hiện trao đổi môi trường vô tuyến tín hiệu cao tần cho từng ăng-ten của khối RU. Dữ liệu sau khi đi qua khối RU sẽ được hạ tần số và chuyển đổi tương tự sang số, dữ liệu dạng số thu được sẽ được gửi về khối FPGA qua giao thức CPRI. Khối FPGA thực hiện biến đổi nghịch Fourier (inverse Fast Fourier Transform - iFFT) chuyển dữ liệu miền thời gian về miền tần số. Lớp xử lý tín hiệu L1 sau đó thực hiện ước lượng và nội suy kênh truyền thời gian thực theo từng phiên truyền bản tin với bộ xử lý lớp điều khiển truy cập môi trường (Medium Access Control - MAC) của L2 với UE. Sau đó, các thông tin thu thập được trong bộ phần mềm này sẽ phân tích môi trường trao đổi giữa nhóm UE và gNodeB, từ đó áp dụng bộ tham số nội suy kênh truyền phù hợp với từng nhóm môi trường. Nhờ đó làm tăng khả năng giải mã thành công, giảm bớt nhiễu giữa các thiết bị trong vùng phủ sóng của gNodeB, giúp tăng hiệu năng của khối xử lý giải mã hóa kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (Low Density Parity Check Code – LDPC) nhờ giảm số vòng lặp cần để giải mã dữ liệu. Đồng thời, việc tính toán chính xác các giá trị nhiễu và SNR giúp cải thiện khả năng điều khiển công suất khép kín của layer L2 với UE. Cụ thể, bước 1 được thực hiện qua các bước như sau:

B1.1: khởi tạo thiết lập hệ thống với số lượng ăng-ten đầu vào, băng thông và các thông tin lập lịch từ tương ứng từ lớp MAC, như mô tả Hình 2 và Hình 3 mô tả chi tiết hoạt động của khối xử lý băng gốc trên DU bao gồm bộ xử lý lớp vật lý và bộ xử lý lớp MAC kết hợp với phần mềm thu thập – tính toán tham số nội suy thời gian thực. Các bước thực hiện như sau:

- Thực hiện trao đổi dữ liệu giữa UE và gNodeB sau khi hạ tần và đẩy về DU qua khối CPRI.
- Khối xử lý FPGA TransferCard (TFC) thực hiện iFFT chuyển đổi dữ liệu về miền thời gian và đẩy về L1 qua giao tiếp PCIe.
- Trên vùng nhớ truy cập chung này, bộ xử lý lớp MAC sẽ lấy thông tin giải mã gửi các thông tin lập lịch xuống cho bộ xử lý lớp vật lý.

B1.2: thiết lập các bảng tra cứu mặc định chứa các ma trận trọng số W của cửa sổ nội suy ứng với các tham số bao gồm: khoảng cách sóng mang con (Subcarrier Spacing - μ), chỉ số dịch doppler cực đại của kênh truyền (Doppler Shift), chỉ số nhóm ghép kênh phân chia theo mã không chứa kênh dữ liệu (Code Division Multiplexing Group Without Data – CDM Group Without Data), chỉ số trải trễ cực đại của kênh truyền (Delay Spread), chỉ số độ rộng cửa sổ nội suy, và các điểm tham số tín hiệu trên nhiễu SNR. Cụ thể:

- Thực hiện chia tách hai loại tham số nội suy kênh truyền như sau:

Tham số không thay đổi theo môi trường vô tuyến gồm:

- Tham số khoảng cách sóng mang con μ có năm giá trị tương ứng với 15, 30, 60, 120 và 240 kHz;
- Vì thực hiện nội suy trên miền tần số, $l = l'$, nên tham số dịch doppler của kênh truyền có thể được lược bỏ;
- Chỉ số nhóm ghép kênh phân chia theo mã không chứa kênh dữ liệu gồm hai giá trị tương ứng với hai loại ánh xạ DMRS vào lưới tài nguyên, được mô tả ở bảng 6.4.1.1.3 chuẩn 38.211 của 3GPP;

Tham số thay đổi theo môi trường vô tuyến gồm:

- Tham số trải trễ cực đại có năm giá trị ứng với tham số khoảng cách sóng mang. Tuy nhiên, thực hiện tăng giảm tham số này lên không tương ứng với μ khi môi trường vô tuyến thay đổi tăng giảm độ trải trễ do yếu tố đa đường;
 - Tham số độ rộng cửa sổ nội suy hiện tại có hai giá trị là 1 và 4 RBs (Resource Block - RBs). Độ rộng cửa sổ phụ thuộc vào yếu tố xoay pha trên miền tần số của kênh truyền vô tuyến;
 - Tham số SNR gồm 201 điểm từ -5 đến 45 dB (decibels - dB) với bước nhảy 0,25 dB.
- ▣ Do đó, bảng tra cứu mặc định sẽ gồm 20100 ma trận trọng số nội suy kênh truyền miền tần số Wiener gồm 10050 ma trận cho 1 RB và 10050 ma trận cho 4 RBs, với kích thước ma trận cho 4 RBs sẽ lớn gấp bốn lần ma trận cho 1 RB. Ví dụ, với chỉ số nhóm ghép kênh loại thứ nhất như sau:
- Ánh xạ sáu REs (Resource Element - REs) cho DMRS trong một RB, nên kênh truyền ứng với sáu REs này sẽ được nội suy ra toàn bộ kênh truyền ứng mười hai REs của RB đó. Do đó, kích thước của một ma trận nội suy là (6x12) cho độ rộng cửa sổ một RB. Với hệ thống xử lý số định dạng biểu diễn cố định (fix-point) 16 bits, mỗi giá trị trọng số sẽ là một số phức có 16 bits phần thực và 16 bits phần ảo hay tổng là 4 bytes. Do đó, kích thước lưu trữ của ma trận này trên bộ nhớ là $10050 * 6 * 12 * 4 = 2894400$ bytes.
 - Tương tự, kích thước của một ma trận nội suy là 24x48 cho độ rộng cửa sổ bốn RB và kích thước lưu trữ của ma trận này trên bộ nhớ là $10050 * 24 * 48 * 4 = 46310400$ bytes.
- ▣ Bảng tra cứu có các giá trị SNR cố định biết trước, nên việc tra cứu ma trận nội suy tương ứng với một giá trị SNR đầu vào là dựa trên việc chia dư SNR cho bước nhảy 0,25 dB và lấy giá trị nguyên cao hơn gần nhất. Do đó, việc tra cứu không làm tăng thêm độ phức tạp tính toán cho hệ thống.

B1.3: phân tách tín hiệu DMRS thu được tại các vị trí ánh xạ trong lưới tài nguyên miền tần số và tính toán trước chuỗi tín hiệu DMRS với các thông số cấu hình từ MAC,

Bước 2: thực hiện phương pháp ước lượng MMSE và nội suy thích nghi các tham số của sơ đồ Wiener; chi tiết như Hình 4 và Hình 5 mô tả khối xử lý chính và hoạt động của quá trình thích ứng nội suy theo kênh truyền thời gian thực và sử dụng kết quả đó để đưa ra hiệu chỉnh và điều khiển phù hợp, các bước thực hiện như sau:

B2.1: ước lượng thô kênh truyền dựa trên thuật toán LS với chuỗi DMRS thu được và chuỗi DMRS biết trước, ước lượng thô kênh truyền dựa trên thuật toán LS:

$$\hat{H}_{LS}(k, r) = X^H Y$$

trong đó: X là chuỗi DMRS biết trước ở cả phía phát và phía thu, Y là tín hiệu thu được tại các vị trí ánh xạ DMRS trong lưới tài nguyên.

B2.2: ước lượng độ lệch mẫu trên miền thời gian (Timing Offset – TO) của môi trường kênh truyền trên từng ký tự OFDM chứa DMRS; trong đó tính toán được thực hiện trên miền tần số tương ứng với độ lệch pha giữa các sóng mang con với nhau. Thực hiện bù độ lệch TO trên ước lượng thô LS để tránh ảnh hưởng đến tính toán nội suy và nhiễu. Cụ thể:

- Ước lượng độ lệch mẫu trên miền thời gian:
 - Tính toán độ lệch pha giữa các sóng mang con trong cùng một ký tự DMRS:

$$phase(r) = \sum_{k=0}^{K-2} \hat{H}_{LS}(k, r) (\hat{H}_{LS}(k+2, r))^H$$

trong đó K là số sóng mang con có ký tự DMRS;

- Chuyển đổi độ lệch pha sang số mẫu lệch trên miền thời gian (TO):

$$TO_{est} = \frac{angle(\sum_{r=0}^{R-1} phase(r)) * N_{FFT}}{2 * \pi * m}$$

trong đó R là số ăng-ten thu, N_{FFT} là độ dài FFT, $angle$ là hàm $atan2$, và m là khoảng cách giữa hai sóng mang con được dùng để tính độ lệch pha;

- m khác nhau phụ thuộc vào loại ánh xạ DMRS theo hình ..., cụ thể:
 - DMRS loại thứ nhất: $m = 4$, $phase$ được tính giữa sóng mang con 1 và 5, 3 và 7, ...
 - DMRS loại thứ hai: $m = 6$, $phase$ được tính giữa sóng mang con 1 và 7, 2 và 8, ...

B2.3: nội suy miền tần số lần thứ nhất:

- ▣ Trích xuất giá trị ma trận trọng số được tính từ SNR của TTI trước nếu có. Nếu không, sử dụng bản tra cứu mặc định với giá trị SNR khởi tạo 30 dB (vì bước này chưa ước lượng nhiễu và SNR ở TTI hiện tại). Việc sử dụng ma trận trọng số dựa trên SNR của TTI trước đó dựa trên thực tế môi trường kênh truyền thay đổi giữa các TTI liên tiếp là không đáng kể, giúp thích ứng và giảm thiểu sai số so với sử dụng giá trị SNR khởi tạo 30 dB.
- ▣ Thực hiện nhân ma trận trọng số với ước lượng thô LS sau bù lệch TO ở bước B2.2 để nội suy các vị trí không chứa DMRS trên miền tần số.
- ▣ Ma trận nội suy W được tính toán theo công thức sau:

$$W = \Phi_{\hat{H}H} * \Phi_{\hat{H}H}^{-1}$$

Tương quan với vấn đề nội suy kênh truyền của kênh PUSCH, ta có:

- $\hat{H}$ là ước lượng kênh truyền dựa trên tín hiệu tham chiếu DMRS;
- H là ước lượng kênh truyền cho dữ liệu kênh PUSCH;
- $\Phi_{\hat{H}H}$ là ma trận tương quan chéo giữa kênh truyền cho dữ liệu và kênh truyền của tín hiệu tham chiếu DMRS.
- $\Phi_{\hat{H}\hat{H}}$ là ma trận tự tương quan của kênh truyền của tín hiệu tham chiếu DMRS.

Theo đó, Φ_{HH} gồm các trọng số tương quan chéo $\theta(k, l)$ giữa kênh truyền cho dữ liệu tại vị trí sóng mang k , ký tự l và kênh truyền của tín hiệu tham chiếu DMRS tại sóng mang k' , ký tự l' , được tính theo hàm *sinc* như sau:

$$\theta(k, l) = \text{sinc}\left(2f_{D_{max}}T_s(l - l')\right) \cdot \text{sinc}\left(2\tau_{max}\mu(k - k')\right)$$

trong đó τ_{max} là trễ cực đại của kênh truyền (s);

μ là khoảng cách sóng mang con (Hz);

$f_{D_{max}}$ là dịch Doppler cực đại của kênh truyền (Hz);

T_s là chu kỳ lấy mẫu;

$k - k'$ là khoảng cách sóng mang giữa dữ liệu và DMRS;

$l - l'$ là khoảng cách ký tự giữa dữ liệu và DMRS.

Công thức tính Φ_{HH} là ma trận MMSE bao gồm ma trận tự tương quan và tham số tín hiệu trên nhiễu *SNR*:

$$\Phi(k', l') = \frac{1}{SNR} \cdot I + \theta(k', l')$$

trong đó I là ma trận đơn vị. $SNR = SNR_0 = 30$ là giá trị SNR khởi đầu dùng để nội suy kênh truyền lần thứ nhất, sau đó thực hiện tính toán lại giá trị SNR và nội suy kênh truyền lần thứ hai.

B2.4: thực hiện ước lượng các chỉ số môi trường truyền: chỉ số cường độ tín hiệu thu p (Received Signal Strength Indication - RSSI), chỉ số nhiễu cộng tạp âm σ (Noise plus Interference - NI), chỉ số tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu *SNR*:

- Thực hiện ước lượng các chỉ số môi trường truyền:
 - Chỉ số cường độ tín hiệu thu p (Received Signal Strength Indication - RSSI):

$$X = X_{DMRS}(k, l) * \hat{H}_{RS}(k', l')$$

$$p = \text{mean}(X \cdot X^H)$$

- Chỉ số nhiễu cộng tạp âm σ (Noise plus Interference - NI):

$$\delta(k, l) = Y_{RS}(k, l) - p$$

$$\sigma = \text{mean}(\delta \cdot \delta^H)$$

- Chỉ số tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu SNR:

$$SNR = p/\sigma$$

B2.5: nội suy miền tần số lần thứ hai:

- Tìm trong tất cả các bảng tra cứu gồm bảng mặc định và các bảng thích ứng giá trị SNR gần nhất với giá trị SNR ước lượng ở bước B2.4. Việc tra cứu các bảng trọng số không làm tăng độ phức tạp tính toán theo bước B1.2 và bước B2.8.
- Thực hiện nhân ma trận trọng số với ước lượng thô LS sau bù lệch TO ở bước bii) để nội suy các vị trí không chứa DMRS trên miền tần số.

B2.6: ước lượng lần hai các chỉ số môi trường truyền ở bước B2.4.

B2.7: lưu trữ SNR vào bộ nhớ cho việc tính toán tham số nội suy ở các TTI sau.

B2.8: tính toán bảng tra cứu thích ứng kênh truyền ứng với SNR được thực hiện ở mọi TTI n :

Như Hình 6 mô tả thứ tự và điều kiện thực hiện của các bước thích ứng các tham số nội suy:

- Tại mỗi TTI:
 - Tính toán trọng số nội suy với SNR lấy từ lưu trữ bộ nhớ của TTI trước;
 - Trích xuất BLER hệ thống, BLER được tính toán theo công thức:

$$BLER = \frac{\text{số TTI với CRC Fail}}{\text{tổng số TTI}}$$

trong đó kiểm tra tuần hoàn dư (Cyclic Redundancy Check - CRC) là kết quả sau quá trình giải mã hóa LDPC;

- Cập nhật giá trị cho bảng trọng số nội suy thích ứng;
- Đếm đủ 500 khe thời gian ứng với 5s hoặc kiểm tra thấy BLER hệ thống tăng cao trên 5%:
 - Thực hiện thích ứng trải trễ kênh truyền;
 - Cập nhật chỉ số trải trễ thích ứng môi trường;
- Kiểm tra thấy sau khi thích ứng trải trễ BLER vẫn trên 5%
 - Thực hiện thích ứng độ rộng cửa sổ;
 - Cập nhật chỉ số độ rộng cửa sổ.

Trích xuất giá trị SNR được lưu trữ trong bộ nhớ là các giá trị SNR được ước lượng của các khe thời gian (slot) trước. Tuy nhiên, bỏ các giá trị SNR của khung thời gian cũ, không cập nhật sát với môi trường vô tuyến hiện tại, cụ thể là các slot với chỉ số nhỏ hơn $n - 20$; như Hình 7 mô tả chi tiết giải thuật thu thập chuẩn hóa và đánh giá tham số SNR của bộ lọc nội suy Wiener,

- Tính toán mười ma trận trọng số theo công thức ở bước B1.2 ứng với giá trị SNR trích xuất, hai giá trị độ rộng cửa sổ, và năm giá trị trải trễ cực đại;
- Cập nhật ma trận vào bảng tra cứu thích ứng. Dựa trên việc thích ứng môi trường thay đổi, chỉ các giá trị SNR của TTI gần nhất với TTI hiện tại là có ý nghĩa. Do đó, giới hạn kích thước lưu trữ là mười ma trận ứng với mỗi giá trị độ rộng cửa sổ và giá trị trải trễ cực đại. Việc này còn giúp tránh tăng độ phức tạp tính toán cho bước B2.6.
- Lưu ý, vì giá trị ma trận trọng số tính toán ở khe thời gian n được dùng cho khe thời gian $n + 1$, các chuỗi xử lý sau khối ước lượng và nội suy kênh truyền được ưu tiên thực hiện và song song với quá trình tính toán này, tránh gây ảnh hưởng thời gian xử lý L1 ở khe thời gian n .

B2.9: thích nghi chỉ số trải trễ của kênh truyền:

- Quá trình quét thích nghi chỉ số trải trễ được thực hiện đồng thời theo hai phương thức là theo chu kỳ và không theo chu kỳ như sau:
 - Theo chu kỳ: bản chất chu kỳ càng nhỏ thì giá trị trải trễ càng thích nghi sát với môi trường kênh truyền thay đổi. Tuy nhiên, việc quét chọn giá trị thích hợp nhất có thể gây BLER tức thời cho hệ thống, và chu kỳ càng nhỏ thì BLER cộng dồn càng lớn. Cụ thể, có năm giá trị chỉ số trải trễ cần được đánh giá BLER trong mười TTI. Khi đó, mức BLER tối đa của quá trình thích nghi gây ra cho hệ thống theo chu kỳ quét N TTI là $(10 \text{ TTI} * 5 / N \text{ TTI})$. Theo quy định của 3GPP, chỉ số BLER hệ thống cần duy trì để đảm bảo chất lượng dịch vụ là dưới 5%. Do đó, chu kỳ $N = 1000$ TTI được chọn, tương ứng 250 khung thời gian truyền 10 ms với khoảng cách sóng mang 30 kHz. Chi tiết như Hình 8 mô tả giải thuật thu thập chuẩn hóa và đánh giá tham số độ trải trễ môi trường của bộ lọc nội suy Wiener theo chu kỳ 1000 TTI.
 - Không theo chu kỳ: trong trường hợp môi trường kênh truyền thay đổi nhanh (có thể là tức thời trong một khoảng thời gian) hoặc thích ứng cần theo số RB được cấp phát. Bản chất chỉ số trải trễ sẽ tỉ lệ nghịch với băng thông mạch lạc (khoảng băng thông mà kênh truyền gần như không thay đổi về pha và biên độ), hay chỉ số trải trễ sai lệch sẽ ảnh hưởng đến các độ lớn RB khác nhau là khác nhau. Do đó, tại mỗi mười TTI sau các chu kỳ quét thích nghi trải trễ hai mươi TTI, mô tả trong Hình 9.
 - Thực hiện thống kê BLER và độ lớn trung bình RB khi giải mã thành công tương ứng $crc = 1$ và khi giải mã thất bại tương ứng $crc = 0$ tức thời trong 10 TTI

$$BLER = \sum_{tti=1}^{10} (1 - crc_{tti}),$$

$$AverRB_0 = \frac{\sum_{tti=1}^{10} RB_{tti} * (1 - crc_{tti})}{BLER},$$

$$AverRB_1 = \frac{\sum_{tti=1}^{10} RB_{tti} * crc_{tti}}{1 - BLER}$$

- Nếu $BLER \geq 2$,
 - Nếu $AverRB_0 > AverRB_1$, thực hiện điều chỉnh tăng chỉ số trải trễ cho các TTI tiếp theo nếu $RB \geq AverRB_0$;
 - Nếu $AverRB_0 < AverRB_1$, thực hiện điều chỉnh giảm chỉ số trải trễ cho các TTI tiếp theo nếu $RB < AverRB_0$;
- Nếu $BLER < 2$,
 - Lưu trữ chỉ số trải trễ thích ứng theo RB và áp dụng cho các TTI tiếp theo.

- Chỉ số trải trễ được chọn có ghi nhận BLER thấp nhất trong một lần quét.

B2.10: thích nghi chỉ số độ rộng cửa sổ nội suy với kênh truyền vô tuyến và thể hiện trong Hình 10 và Hình 11 giản đồ thời gian các phân thực hiện;

- Thực hiện sau chu kỳ quét trải trễ tại bước B2.9, nếu BLER tương ứng với chỉ số trải trễ được chọn vẫn cao trên 5% hoặc không có cải thiện so với trước khi thích ứng trải trễ;
- Thực hiện cấu hình lần lượt các độ rộng cửa sổ nội suy một RB và bốn RBs của kênh truyền trong 10 TTI liên tiếp và ghi nhận BLER. Theo đó, mức BLER tối đa của quá trình thích nghi gây ra cho hệ thống theo chu kỳ quét 1000 TTI là 2 %;
- Chọn chỉ số độ rộng cửa sổ nội suy có ghi nhận BLER thấp nhất.

Có một số lưu ý cho bước B2.9 và B2.10 như sau:

- BLER hệ thống được thống kê ở mỗi TTI và dựa trên 2000 TTI gần nhất hay 500 khung thời gian 10 ms;
- Quá trình quét chỉ thay đổi các tham số và thống kê, không làm tăng thêm độ phức tạp tính toán cho hệ thống trong 1 TTI.

Ví dụ thực hiện Giải pháp hữu ích

Trong thực tế, phương pháp được đề xuất bởi Giải pháp hữu ích đã được triển khai trong hệ thống thiết lập ở phòng thí nghiệm và ngoài thực địa.

Hình 12 là hình ảnh thực tế hệ thống được triển khai tại phòng thí nghiệm vô tuyến thuộc dự án gNodeB, các thiết lập hệ thống với các khối phần cứng và kết nối cụ thể được mô tả ở các bước sau. Thiết lập hệ thống thực tế bao gồm thiết lập hệ DU/TFC trong đó cài đặt phần mềm thích ứng nội suy theo kênh truyền thời gian thực theo bộ phần mềm L1 do tác giả sử dụng ngôn ngữ C chạy trên môi trường Linux; sau đó áp dụng bộ tham số thiết lập hệ thống được nêu trong bảng 1; DU kết nối với TFC thông qua giao diện PCIe, TFC kết nối với RU hệ đa ăng-ten thu phát thông qua giao diện CPRI (cụ thể trong hình là hệ ăng-ten tám thu và tám phát); Thiết lập điện thoại Oppo Find X2 là thiết bị người dùng UE, đây là UE được trang bị bộ xử lý dữ liệu số Snapdragon X55 5G Modem-RF của Qualcomm, hỗ trợ tốc độ tải lên đến 2,5 Gbps (Gigabit per second - Gbps), tải xuống đến 316 Mbps (Megabit per second - Mbps), và băng thông lên đến 200 MHz cho băng tần dưới 6GHz (sub-6GHz), đáp ứng tốt các bài thử nghiệm đánh giá hiệu năng của Giải pháp hữu ích; Quá trình thử nghiệm đánh giá được thực hiện như sau: UE kết nối và sử dụng dịch vụ speedTest của Ookla liên tục ở các điều kiện môi trường vô tuyến không che chắn (Line of Sight - LOS) và che chắn non-LOS, cùng với nhiều mức công suất nhận tín hiệu RSRP (Reference Signal Received Power - RSRP) quy định trong bảng 2; dữ liệu UE trao đổi qua môi trường vô tuyến với RU được đẩy về TFC và chuyển đổi dữ liệu FFT về miền tần số, sau đó dữ liệu được đẩy về bộ phần mềm L1, trong đó phần mềm thích ứng nội suy theo kênh truyền thời gian thực sẽ thu thập dữ liệu đầu vào, chọn lọc tham số và tính toán các trọng số nội suy bằng giải thuật được mô tả chi tiết trong các hình nêu trên, kết quả đầu ra có khả năng đưa ra trọng số nội suy và hiệu chỉnh tương thích với môi trường vô tuyến để đạt được tiêu chuẩn về chỉ số BLER hệ thống. Ngoài ra việc thực hiện các hiệu chỉnh giá trị trọng số nội suy còn giúp cải thiện vùng phủ khi giảm BLER ở các vùng rìa mạng tế bào có SNR xuống thấp. Kết quả sau khi hiệu chỉnh tối ưu phản ánh thông qua các tham số chất lượng mạng đạt được như bảng 2.

Bảng 1: bộ tham số thiết lập hệ thống

Loại tham số	Tham số cấu hình
Tham số chung	Băng thông hệ thống: 100 MHz Băng tần 5G: n77, tần số trung tâm 3,75 GHz Số lượng tài nguyên vật lý nRB = 273 Số lượng ăng-ten hệ thống 2, 4. Số hiệu của tế bào phục vụ UE: Cell_ID = 0 Cờ báo nhảy tần: Hopping_mode = 0 Giá trị phục vụ giải điều chế tín hiệu tham khảo: chế độ ghép tín hiệu loại A (DMRS Mapping Type A), vị trí của DMRS (DMRSAPos) = 2, số lượng DMRS (DMRSAddPos) = 2, loại DMRS (DMRS Type 1), chế độ nhóm dữ liệu tham khảo không kèm dữ liệu kênh người dùng (CDM group without Data) = 2, sử dụng một loại ký tự DMRS (DMRS Single Symbol), cổng chứa DMRS (DMRS Port) = 0 Hệ số cấu hình cho kênh dữ liệu: CP-OFDM, phân bổ tài nguyên tần số loại thứ nhất (Frequency Allocation Type 1) (0-273 RBs), phân bổ tài nguyên miền thời gian (Time Allocation Type 1) (0-14 symbols- ký tự), một lớp dữ liệu (single layer), Table64QAM (mcs: 0-28) – bảng điều chế.
Tham số nội suy thích ứng kênh truyền	Tham số trải trễ cực đại: 0, 1, 2, 3, 4 Tham số độ rộng cửa sổ nội suy: 1, 4 Tham số SNR bản tra cứu mặc định gồm 201 điểm từ -5 đến 45 dB (decibels - dB) với bước nhảy 0,25 dB

Tham số môi trường pha-đỉnh mô phỏng	TDLB100-400: trải trễ (delay spread) = 100 ns, lệch tần số doppler (frequency offset) = 400 Hz, TDLC300-100: trải trễ (delay spread) = 300 ns, lệch tần số doppler (frequency offset) = 100 Hz, TDLA30-100: trải trễ (delay spread) = 30 ns, lệch tần số doppler (frequency offset) = 100 Hz, Các tham số TDL (tapped delay line) theo quy định của 3GPP.
--------------------------------------	---

Bảng 2: tỷ lệ lỗi khối tuyến lên ở các điều kiện môi trường vô tuyến

Chỉ số thống kê chất lượng mạng	Số lượng ăng-ten thu = 2		Số lượng ăng-ten thu = 4		Nhận xét
	Theo giải pháp kỹ thuật đã biết	Theo Giải pháp hữu ích	Theo giải pháp kỹ thuật đã biết	Theo Giải pháp hữu ích	
Môi trường LOS với mức RSRP -90 dBm	8,4%	4,1%	4,7%	2,2%	Tỷ lệ lỗi khối giảm ~ 50% sau khi áp dụng phương pháp Giải pháp hữu ích
Môi trường LOS với mức RSRP -110 dBm	15,5%	7,9%	10,6%	4,6%	Tỷ lệ lỗi khối giảm ~ 40% sau khi áp dụng phương pháp Giải pháp hữu ích
Môi trường LOS với mức RSRP -120 dBm	25,5%	15,3%	20,1%	12,5%	Tỷ lệ lỗi khối giảm ~ 35% sau khi áp dụng phương pháp Giải pháp hữu ích, đảm bảo dịch vụ ở

Chỉ số thống kê chất lượng mạng	Số lượng ăng-ten thu = 2		Số lượng ăng-ten thu = 4		Nhận xét
	Theo giải pháp kỹ thuật đã biết	Theo Giải pháp hữu ích	Theo giải pháp kỹ thuật đã biết	Theo Giải pháp hữu ích	
					<i>vùng rìa tế bào mạng?</i>
Môi trường non-LOS với mức RSRP -90 dBm	12%	5%	8%	3,7%	Tỷ lệ lỗi khối giảm ~ 60% sau khi áp dụng phương pháp Giải pháp hữu ích
Môi trường non-LOS với mức RSRP -110 dBm	22,4%	16,2%	17,2%	10,5%	Tỷ lệ lỗi khối giảm ~ 45 % sau khi áp dụng phương pháp Giải pháp hữu ích
Môi trường non-LOS với mức RSRP -120 dBm	38,7%	21,7%	30,2%	19,4%	Tỷ lệ lỗi khối giảm ~ 35% sau khi áp dụng phương pháp Giải pháp hữu ích, <i>đảm bảo dịch vụ ở vùng rìa tế bào mạng?</i>

Bảng 3: mức SNR đảm bảo đạt thông lượng > 70% với các môi trường pha-đỉnh mô phỏng

Môi trường pha-đỉnh TDL (Tapped Delay Line)	Số lượng ăng-ten thu = 2		Số lượng ăng-ten thu = 4		Nhận xét
	Theo giải pháp kỹ thuật đã biết	Theo Giải pháp hữu ích	Theo giải pháp kỹ thuật đã biết	Theo Giải pháp hữu ích	
TDLB400-100	-2,8 dB	-4,5 dB	-5,8 dB	-8,2 dB	Độ lợi tăng 1,7-2,4 dB sau khi áp dụng phương pháp Giải pháp hữu ích
TDLC300-100	10,2 dB	8 dB	6,5 dB	4,5 dB	Độ lợi tăng 1,8 - 2 dB sau khi áp dụng phương pháp Giải pháp hữu ích
TDLA30-10	13 dB	11,5 dB	9 dB	7,5 dB	Độ lợi tăng 1,5 dB sau khi áp dụng phương pháp Giải pháp hữu ích

Các lợi ích đạt được của Giải pháp hữu ích

Hệ thống được thiết lập theo phương pháp theo Giải pháp hữu ích có khả năng ước lượng và nội suy thích ứng kênh truyền thời gian thực. Theo đó, phương pháp theo Giải pháp hữu ích đem lại hiệu quả tối ưu khi đưa ra được các kết quả nội suy kênh truyền gần với kết quả môi trường thực tế nhất, khắc phục được nhược điểm ước lượng không chính xác hoặc có độ phức tạp cao của các thuật toán cũ. Nâng cao chất lượng mạng và các chỉ

số KPI thể hiện qua việc cải thiện chỉ số lỗi khối BLER của hệ thống và mở rộng vùng phủ của tế bào mạng.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp ước lượng và nội suy miền tần số thích ứng kênh truyền trong hệ thống trạm thu phát gốc vô tuyến bao gồm:

bước 1: thiết lập tham số khởi tạo và thu thập dữ liệu đầu vào hệ thống; bao gồm các bước sau:

b1.1: khởi tạo thiết lập hệ thống với số lượng ăng-ten đầu vào, băng thông và các thông tin lập lịch tương ứng từ lớp MAC,

b1.2: thiết lập các bảng tra cứu mặc định chứa các ma trận trọng số W của cửa sổ nội suy ứng với các tham số bao gồm: khoảng cách sóng mang con (subcarrier spacing - μ), chỉ số dịch doppler cực đại của kênh truyền (doppler shift), chỉ số nhóm ghép kênh phân chia theo mã không chứa kênh dữ liệu (code division multiplexing group without data – CDM group without data), chỉ số trải trễ cực đại của kênh truyền (delay spread), chỉ số độ rộng cửa sổ nội suy, và các điểm tham số tín hiệu trên nhiễu SNR;

thực hiện chia tách hai loại tham số nội suy kênh truyền như sau:

tham số không thay đổi theo môi trường vô tuyến gồm:

tham số khoảng cách sóng mang con μ có năm giá trị tương ứng với 15, 30, 60, 120 và 240 kHz;

thực hiện nội suy trên miền tần số, $l = l'$, nên tham số dịch doppler của kênh truyền có thể được lược bỏ;

chỉ số nhóm ghép kênh phân chia theo mã không chứa kênh dữ liệu gồm hai giá trị tương ứng với hai loại ánh xạ DMRS vào lưới tài nguyên, được mô tả ở bảng 6.4.1.1.3 chuẩn 38.211 của 3GPP;

tham số thay đổi theo môi trường vô tuyến gồm:

tham số trải trễ cực đại có năm giá trị ứng với tham số khoảng cách sóng mang; thực hiện tăng giảm tham số này lên không tương ứng với μ khi môi trường vô tuyến thay đổi tăng giảm độ trải trễ do yếu tố đa đường;

tham số độ rộng cửa sổ nội suy hiện tại có hai giá trị là một và bốn RBs (resource block - RBs); độ rộng cửa sổ phụ thuộc vào yếu tố xoay pha trên miền tần số của kênh truyền vô tuyến;
tham số SNR gồm 201 điểm từ -5 đến 45 dB (decibels - dB) với bước nhảy 0,25 dB;

do đó, bảng tra cứu mặc định sẽ gồm 20100 ma trận trọng số nội suy kênh truyền miền tần số wiener gồm 10050 ma trận cho một RB và 10050 ma trận cho bốn RBs, với kích thước ma trận cho bốn RBs sẽ lớn gấp bốn lần ma trận cho một RB;

bảng tra cứu có các giá trị SNR cố định biết trước, việc tra cứu ma trận nội suy tương ứng với một giá trị SNR đầu vào dựa trên việc chia dư SNR cho bước nhảy 0,25 dB và ceiling (lấy giá trị nguyên cao hơn gần nhất); do đó, việc tra cứu không làm tăng thêm độ phức tạp tính toán cho hệ thống;

b1.3: phân tách tín hiệu DMRS thu được tại các vị trí ánh xạ trong lưới tài nguyên miền tần số và tính toán trước chuỗi tín hiệu DMRS với các thông số cấu hình từ MAC,

bước 2: thực hiện phương pháp ước lượng MMSE và nội suy thích nghi các tham số cửa sổ Wiener; cụ thể:

b2.1: ước lượng thô kênh truyền dựa trên thuật toán LS với chuỗi DMRS thu được và chuỗi DMRS biết trước;

b2.2: ước lượng độ lệch mẫu trên miền thời gian (timing offset – TO) của môi trường kênh truyền trên từng ký tự OFDM chứa DMRS; trong đó tính toán được thực hiện trên miền tần số tương ứng với độ lệch pha giữa các sóng mang con với nhau; thực hiện bù độ lệch TO trên ước lượng thô LS để tránh ảnh hưởng đến tính toán nội suy và nhiễu;

b2.3: nội suy miền tần số lần thứ nhất:

trích xuất giá trị ma trận trọng số được tính từ SNR của TTI trước nếu có; nếu không, sử dụng bản tra cứu mặc định với giá trị SNR khởi tạo 30 dB (vì bước này chưa ước lượng nhiễu và SNR ở TTI hiện tại); việc sử dụng ma

trận trọng số dựa trên SNR của TTI trước đó dựa trên thực tế môi trường kênh truyền thay đổi giữa các TTI liên tiếp là không đáng kể, giúp thích ứng và giảm thiểu sai số so với sử dụng giá trị SNR khởi tạo 30 dB; thực hiện nhân ma trận trọng số với ước lượng thô LS sau bù lệch TO ở bước b2.2 để nội suy các vị trí không chứa DMRS trên miền tần số;

b2.4: thực hiện ước lượng các chỉ số môi trường truyền: chỉ số cường độ tín hiệu thu p (Received Signal Strength Indication - RSSI), chỉ số nhiễu cộng tạp âm σ (Noise plus Interference - NI), chỉ số tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu SNR;

b2.5: nội suy miền tần số lần thứ hai:

tìm trong tất cả các bảng tra cứu gồm bảng mặc định và các bảng thích ứng giá trị SNR gần nhất với giá trị SNR ước lượng ở bước b2.4; việc tra cứu các bảng trọng số không làm tăng độ phức tạp tính toán theo bước b1.2 và bước b2.8; thực hiện nhân ma trận trọng số với ước lượng thô LS sau bù lệch TO ở bước b2.2 để nội suy các vị trí không chứa DMRS trên miền tần số;

b2.6: ước lượng lần thứ hai các chỉ số môi trường truyền ở bước b2.4;

b2.7: lưu trữ SNR vào bộ nhớ cho việc tính toán tham số nội suy ở các TTI sau;

b2.8: tính toán bảng tra cứu thích ứng kênh truyền ứng với SNR được thực hiện ở mọi TTI n :

trích xuất giá trị SNR được lưu trữ trong bộ nhớ là các giá trị SNR được ước lượng của các slot trước; tuy nhiên, bỏ các giá trị SNR của khung thời gian cũ, không cập nhật sát với môi trường vô tuyến hiện tại, cụ thể là các slot với chỉ số nhỏ hơn $n - 20$;

tính toán mười ma trận trọng số theo công thức bước b2.2 ứng với giá trị SNR trích xuất, hai giá trị độ rộng cửa sổ, và năm giá trị trải trễ cực đại;

cập nhật ma trận vào bảng tra cứu thích ứng; dựa trên việc thích ứng môi trường thay đổi, chỉ các giá trị SNR của TTI gần nhất với TTI hiện tại là có ý nghĩa; do đó, giới hạn kích thước lưu trữ là mười ma trận ứng với mỗi giá

trị độ rộng cửa sổ và giá trị trải trễ cực đại; việc này còn giúp tránh tăng độ phức tạp tính toán cho bước b2.6;

lưu ý, vì giá trị ma trận trọng số tính toán ở slot n được dùng cho slot $n + 1$, các chuỗi xử lý sau khối ước lượng và nội suy kênh truyền được ưu tiên thực hiện và song song với quá trình tính toán này, tránh gây ảnh hưởng thời gian xử lý L1 ở slot n ;

b2.9: thích nghi chỉ số trải trễ của kênh truyền:

quá trình quét thích nghi chỉ số trải trễ được thực hiện đồng thời theo hai phương thức là theo chu kỳ và không theo chu kỳ như sau:

theo chu kỳ: bản chất chu kỳ càng nhỏ thì giá trị trải trễ càng thích nghi sát với môi trường kênh truyền thay đổi; tuy nhiên, việc quét chọn giá trị thích hợp nhất có thể gây BLER tức thời cho hệ thống, và chu kỳ càng nhỏ thì BLER cộng dồn càng lớn; cụ thể, có năm giá trị chỉ số trải trễ cần được đánh giá BLER trong mười TTI; khi đó, mức BLER tối đa của quá trình thích nghi gây ra cho hệ thống theo chu kỳ quét N TTI là $(10 \text{ TTI} * 5 / N \text{ TTI})$; theo quy định của 3GPP, chỉ số BLER hệ thống cần duy trì để đảm bảo chất lượng dịch vụ là dưới 5%; do đó, chu kỳ $N = 1000$ TTI được chọn, tương ứng 250 khung thời gian truyền 10 ms với khoảng cách sóng mang 30 kHz;

không theo chu kỳ: trong trường hợp môi trường kênh truyền thay đổi nhanh (có thể là tức thời trong một khoảng thời gian) và chu kỳ quét 1000 TTI không thể đáp ứng; thực hiện đánh giá nếu BLER hệ thống tăng cao trên 5 %, thực hiện quét thích nghi để giảm BLER tức thời; chỉ số trải trễ được chọn có ghi nhận BLER thấp nhất trong một lần quét;

b2.10: thích nghi chỉ số độ rộng cửa sổ nội suy với kênh truyền vô tuyến:

thực hiện sau bước b2.9, nếu BLER hệ thống vẫn cao trên 5 % hoặc không có cải thiện so với trước khi thích ứng trải trễ;

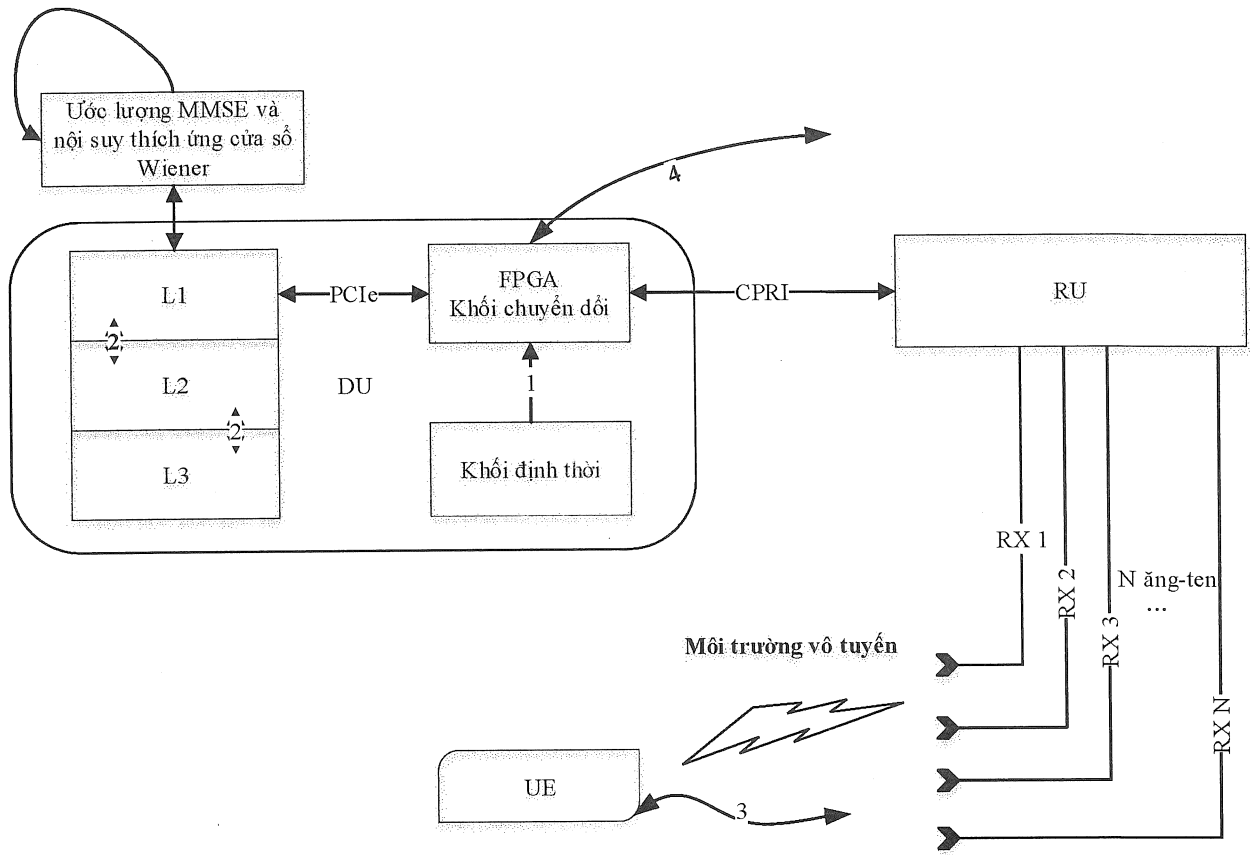
thực hiện cấu hình lần lượt các độ rộng cửa sổ nội suy một RB và bốn RBs của kênh truyền trong mười TTI liên tiếp và ghi nhận BLER; theo đó, mức BLER tối đa của quá trình thích nghi gây ra cho hệ thống theo chu kỳ quét 1000 TTI là 2 %;

chọn chỉ số độ rộng cửa sổ nội suy có ghi nhận BLER thấp nhất;

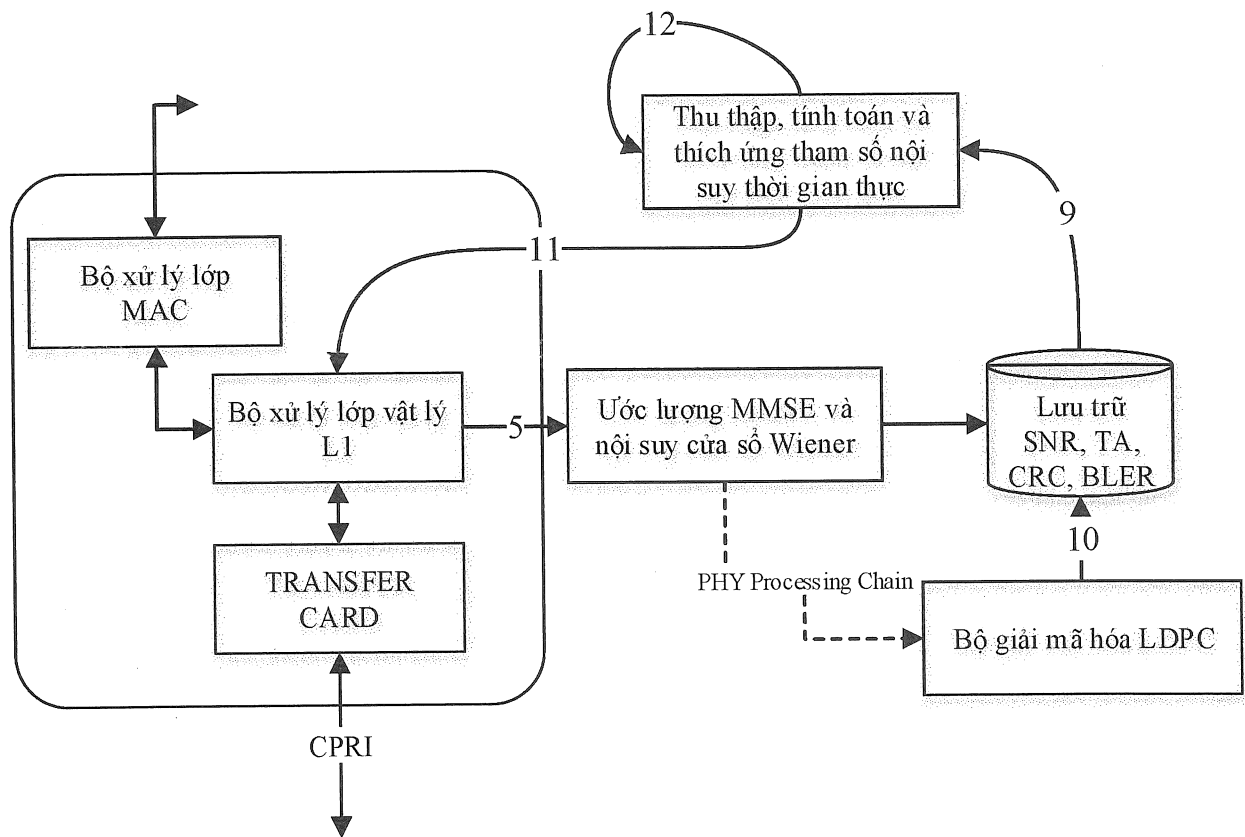
có một số lưu ý cho bước b2.9 và b2.10 như sau:

BLER hệ thống được thống kê ở mỗi TTI và dựa trên 2000 TTI gần nhất hay 500 khung thời gian 10 ms;

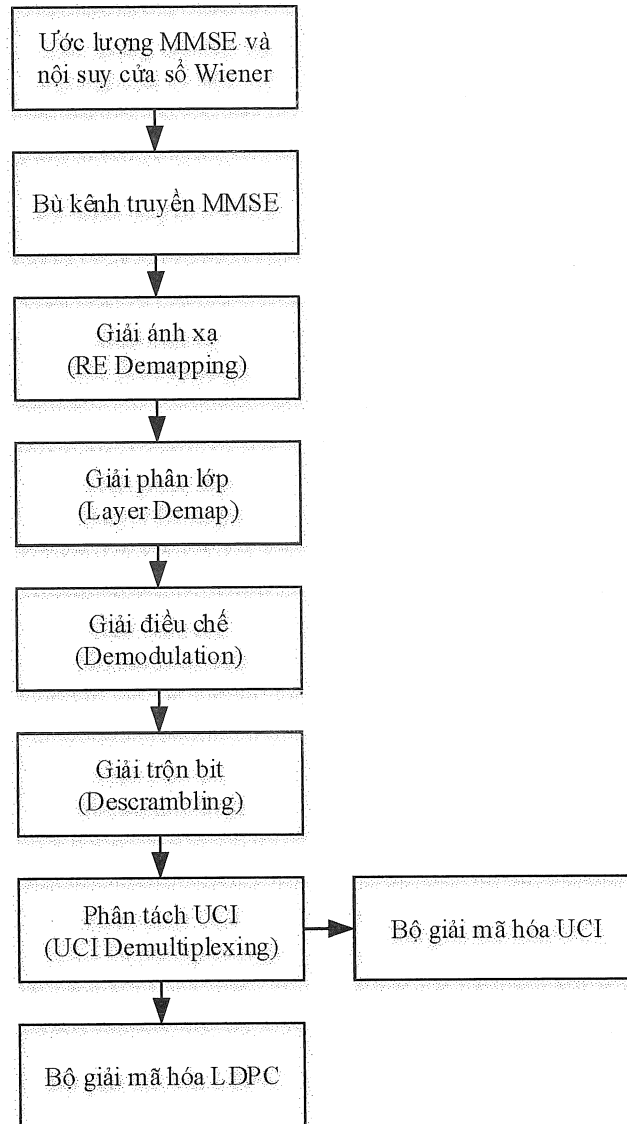
quá trình quét chỉ thay đổi các tham số và thống kê, không làm tăng thêm độ phức tạp tính toán cho hệ thống trong một TTI.



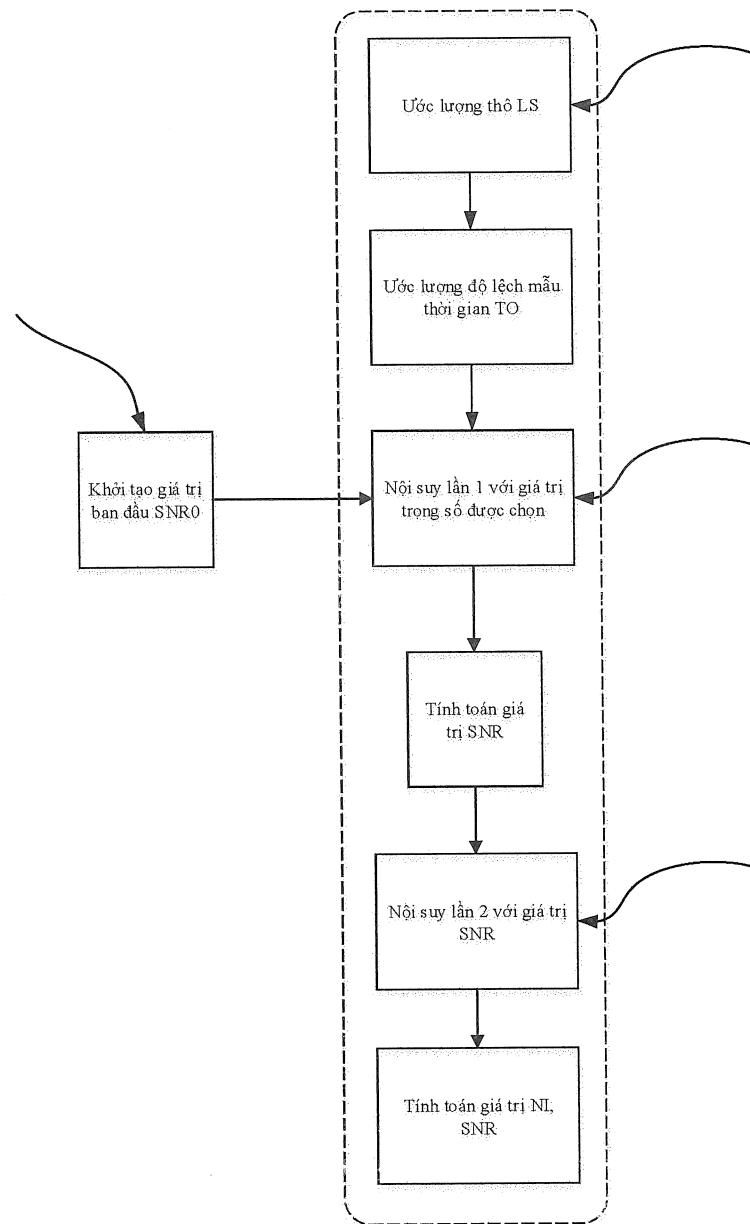
Hình 1



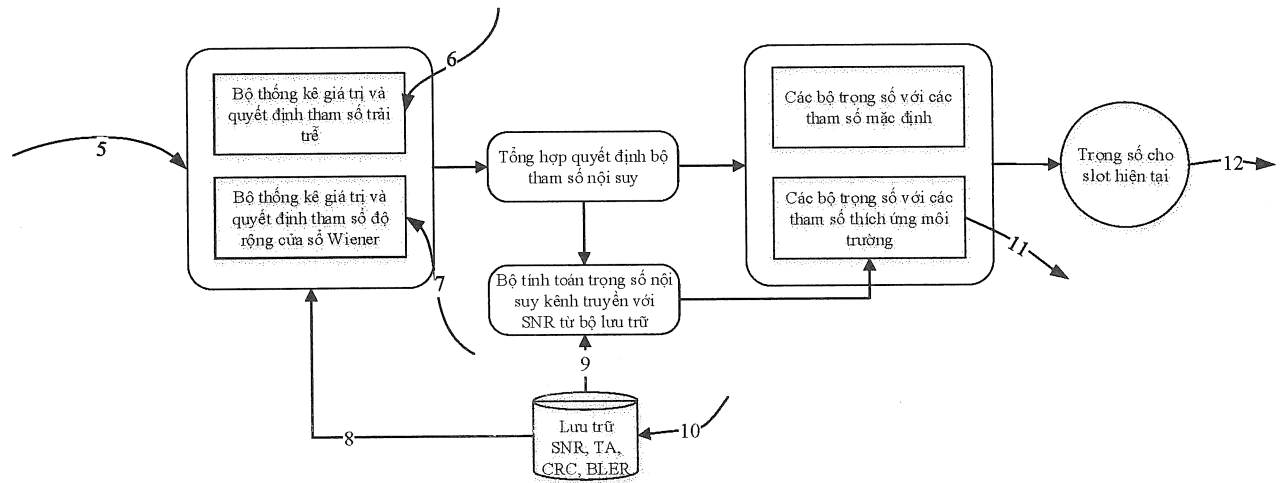
Hình 2



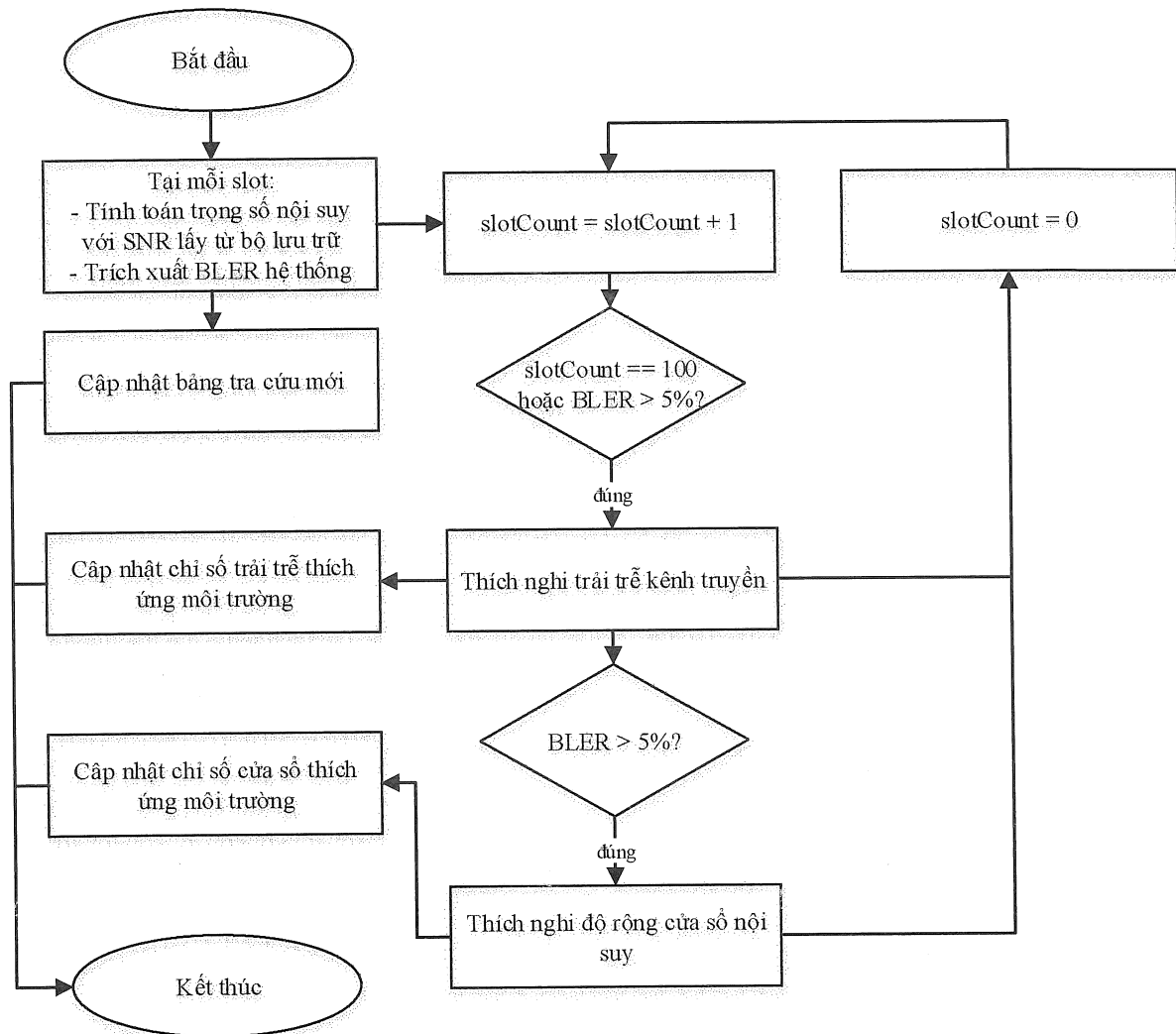
Hình 3



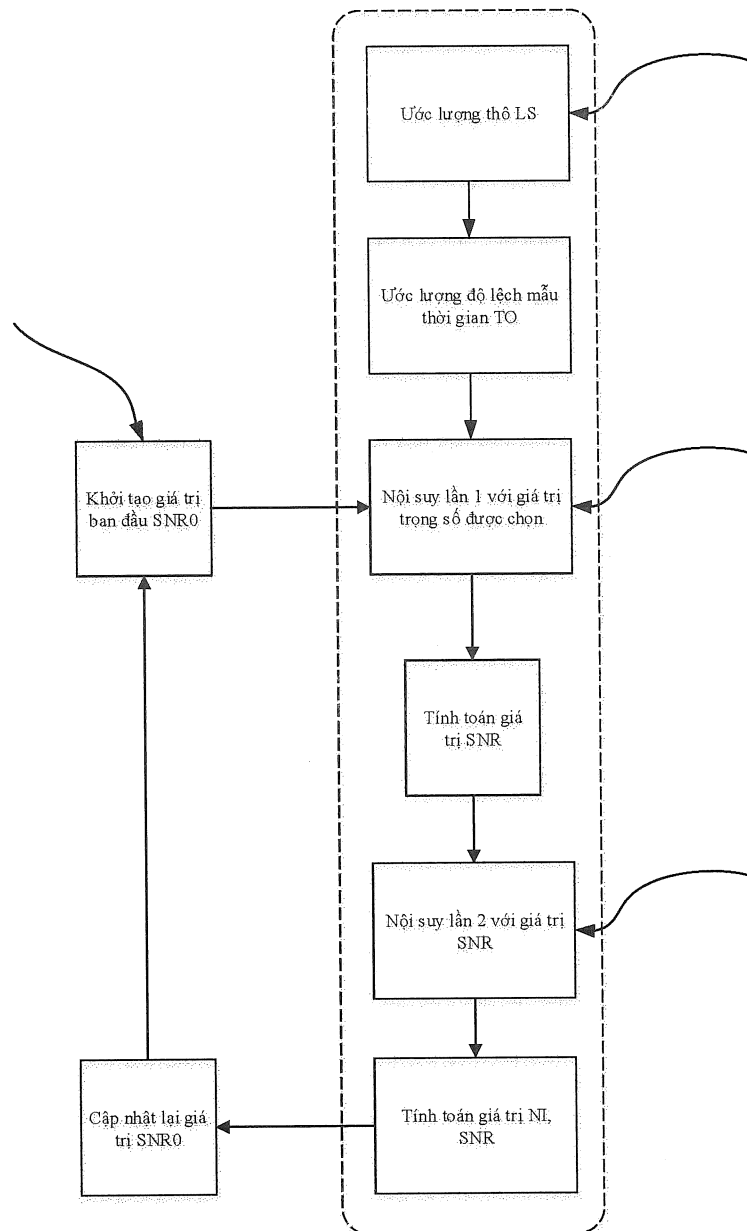
Hình 4



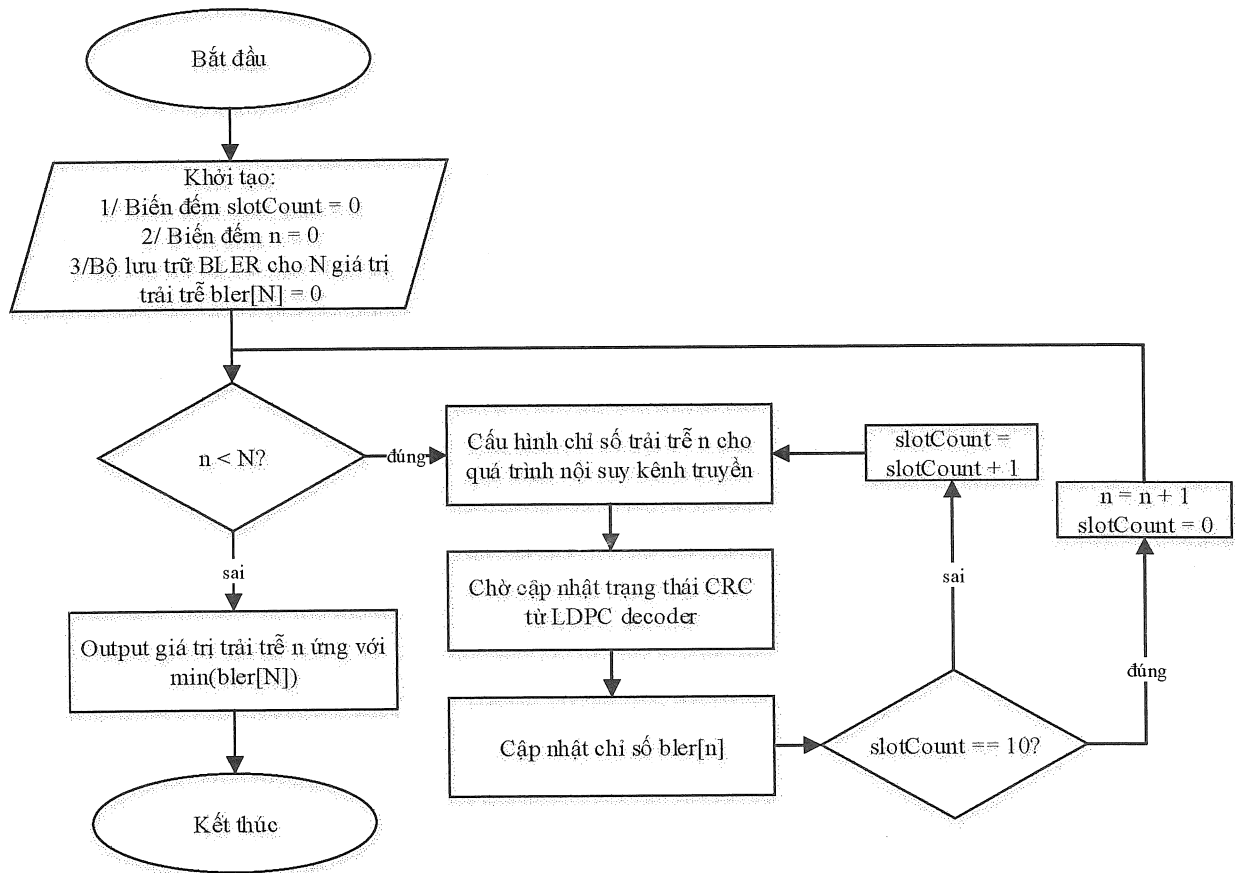
Hình 5



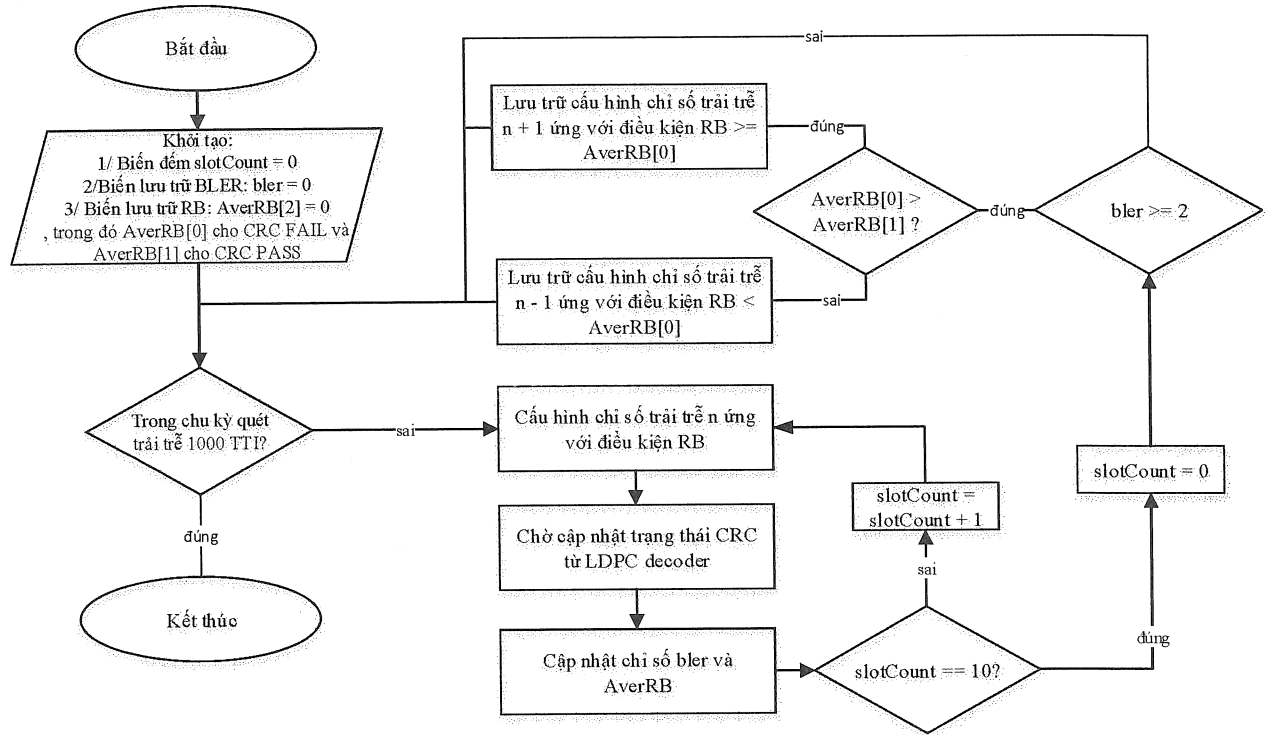
Hình 6



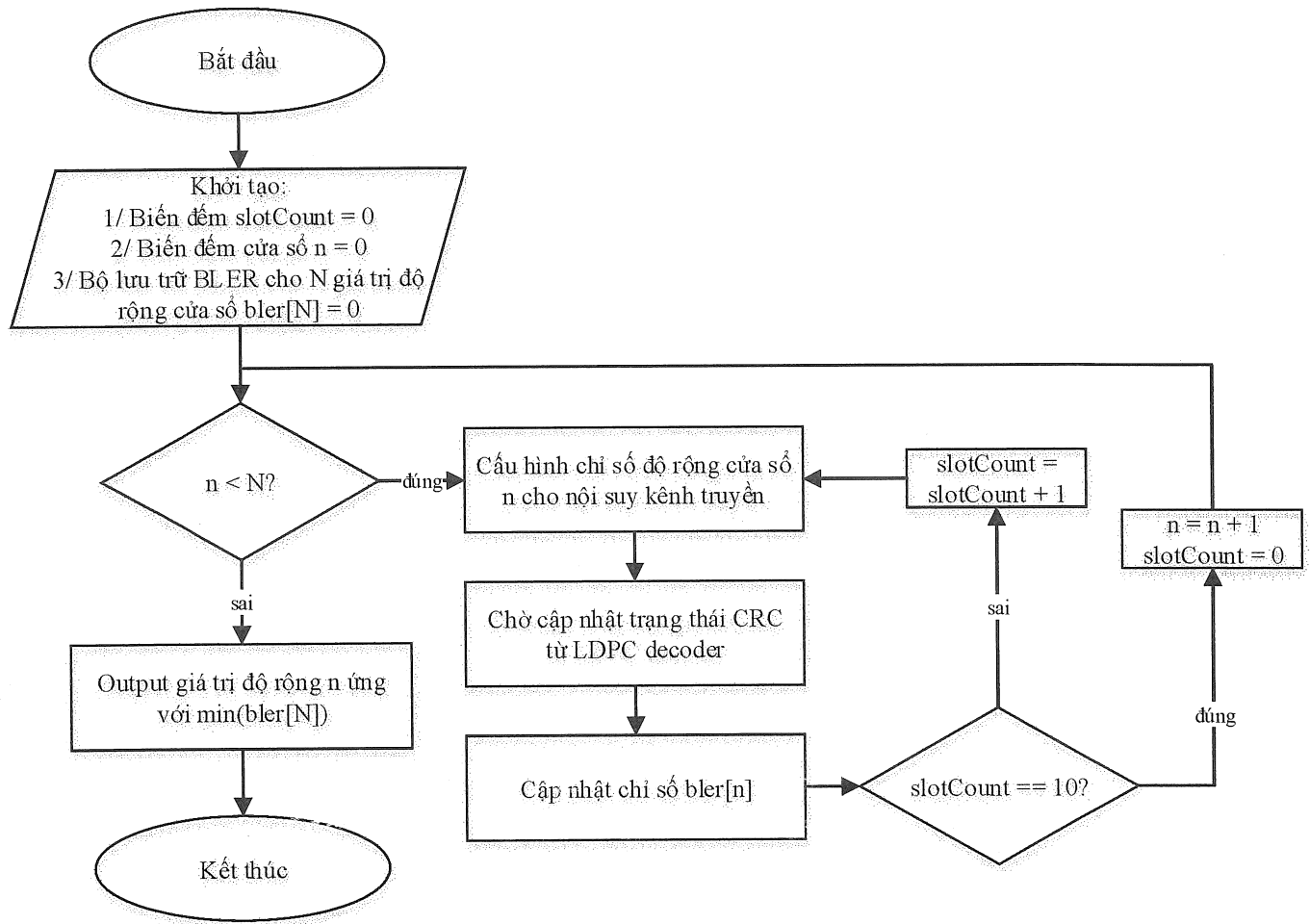
Hình 7



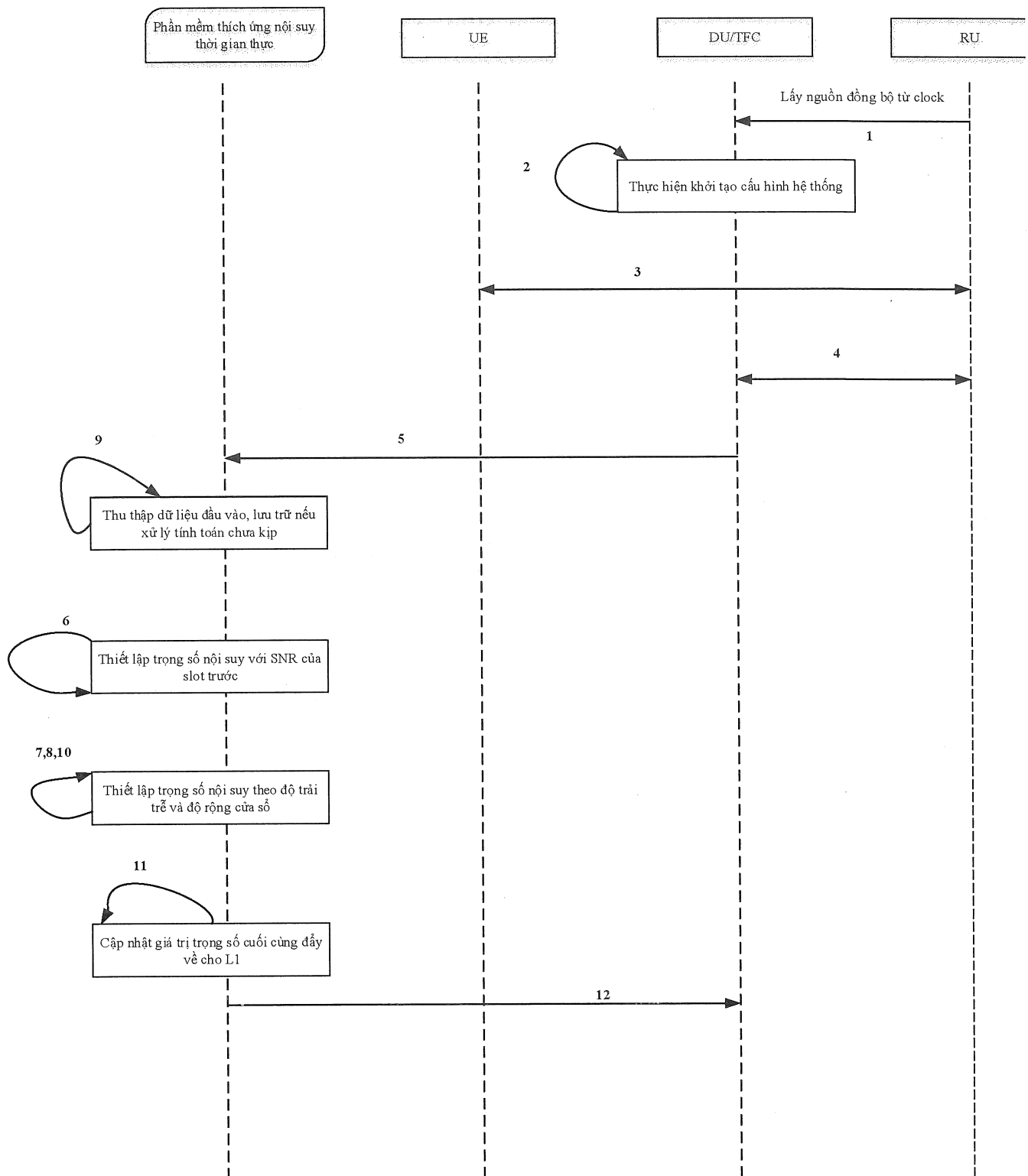
Hình 8



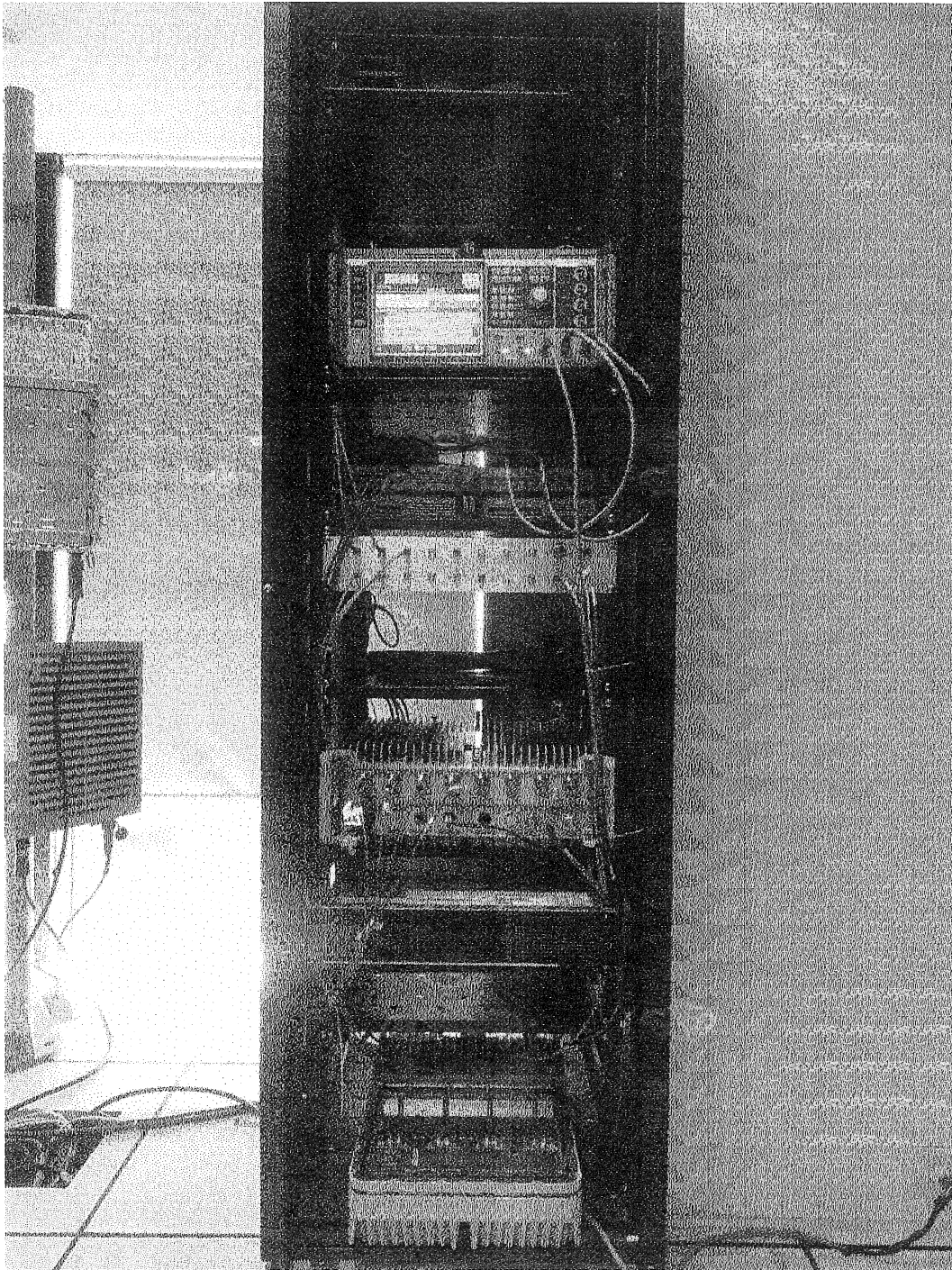
Hình 9



Hình 10



Hình 11



Hình 12