



(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)



1-0052674

(51)^{2021.01} H03F 1/00

(13) B

(21) 1-2022-04825

(22) 29/07/2022

(45) 27/10/2025 451

(43) 26/12/2022 417A

(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

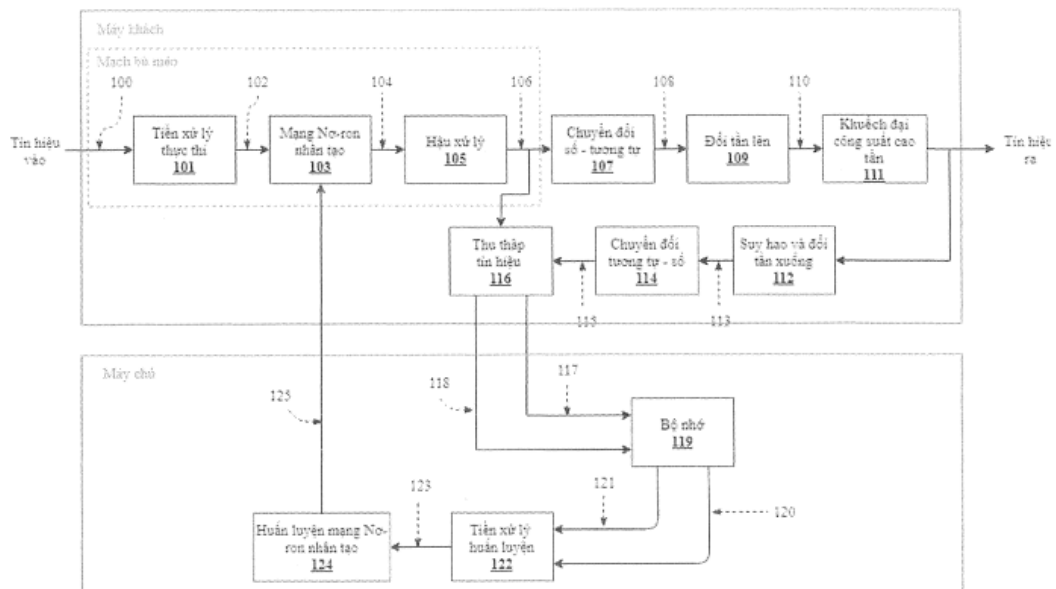
(72) Lê Thái Hà (VN); Bùi Văn Phúc (VN); Dương Xuân Huy (VN); Lê Chung Hiếu (VN); Phạm Ngọc Thành (VN); Hoàng Mai Hưng (VN).

(74) Công ty TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP BÙ MÉO BỘ KHUẾCH ĐẠI CÔNG SUẤT TRONG CÁC HỆ THỐNG VIỄN THÔNG BĂNG RỘNG SỬ DỤNG MẠNG NƠ-
RON NHÂN TẠO DỰA TRÊN KIẾN TRÚC MÁY CHỦ - MÁY KHÁCH

(21) 1-2022-04825

(57) Hệ thống và phương pháp bù méo máy chủ - máy khách cho bộ khuếch đại công suất cao tần trong các hệ thống viễn thông băng rộng được xây dựng dựa trên việc sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo để mô hình hóa đặc tính phi tuyến của mạch khuếch đại công suất cao tần tại thời điểm truyền phát dữ liệu và việc kết hợp huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo trên máy chủ và thực thi mạng nơ-ron nhân tạo trên máy khách. Bộ hệ số mạng nơ-ron được cập nhật tại máy khách dựa trên thông tin điều khiển và thông tin bộ hệ số nhận được từ máy chủ. Ngoài ra, hệ thống bao gồm các khối tiền xử lý và hậu xử lý để đảm bảo chuẩn hóa dữ liệu cho xử lý và tính toán học máy.



Hình 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề xuất hệ thống bù méo của bộ khuếch đại công suất (Power Amplifier - PA) sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo dựa trên kiến trúc máy chủ - máy khách. Hệ thống được đề cập trong sáng chế được ứng dụng băng thông rộng và 5G.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Đối với các hệ thống thông tin băng rộng, việc bù méo phi tuyến cho các bộ khuếch đại công suất là một trong những nhiệm vụ khó khăn nhất. Khi băng thông của hệ thống tăng lên, hiệu ứng có nhớ của bộ khuếch đại công suất cũng tăng lên. Điều này làm cho việc bù méo trở nên phức tạp hơn do phải xử lý nhiều dữ liệu và mô hình bù méo cũng phức tạp hơn. Ngoài ra, yêu cầu ngày càng cao về tỉ số công suất đỉnh trên công suất trung bình cao (Peak Average Power Ratio - PAPR) sẽ làm tăng ảnh hưởng của cả hiệu ứng nhớ và hiệu ứng phi tuyến của bộ khuếch đại công suất. Điều này làm cho việc bù méo trở nên khó hơn do việc mô hình hóa ở những điều kiện này không đơn giản. Trong các kỹ thuật bù méo PA, kỹ thuật bù méo bằng phương pháp tiền méo số (Digital Predistortion - DPD) được nghiên cứu và áp dụng rộng rãi với ưu điểm về tính đơn giản và hiệu quả mang lại cao. Cụ thể, tín hiệu trước khi vào bộ khuếch đại công suất (PA) được làm méo ở miền số (digital) sao cho ngược với đặc tính méo của PA. Dựa vào tính chất bù trừ cho nhau, tín hiệu đầu ra của PA sẽ không còn méo về mặt lý thuyết. Hiệu quả cũng như độ chính xác của phương pháp DPD này phụ thuộc vào độ chính xác của mô hình được xây dựng để học/giả lập mô hình méo của PA.

Với phương pháp xử lý tiền méo số (DPD), mô hình méo của PA thường được xây dựng bằng phương pháp đa thức (Polynomial) như mô hình đa thức nhớ (Memory Polynomial – MP), mô hình đa thức nhớ tổng quát (Generalized Memory Polynomial – GMP). Về bản chất, các mô hình này mô tả các bậc méo và bậc có nhớ của PA. Về mặt lý thuyết thì bậc méo và bậc nhớ càng cao thì ta càng có mô hình chính xác. Tuy nhiên, nhược điểm của các phương pháp đa thức này là dễ bị rơi vào trạng thái tối ưu cục bộ do mô hình

đa thức là mô hình không có tính học và nó phụ thuộc rất lớn vào những dữ liệu đầu vào ban đầu.

Để cải thiện hơn nữa hiệu quả bù méo mang lại, phương pháp sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo ra đời để mô phỏng chính xác hơn đặc tính của bộ khuếch đại công suất cao tần. Thông thường, một mạng nơ-ron nhân tạo bao gồm lớp tín hiệu đầu vào, các lớp ẩn chứa các hàm hoạt động tuyến tính hoặc phi tuyến và lớp đầu ra. Lớp tín hiệu đầu vào có thể có nhiều ngõ vào khác nhau và bao gồm cả các bộ làm trễ tín hiệu, do đó có thể mô phỏng lại hiệu ứng nhớ của mạch khuếch đại công suất dựa trên các bộ trễ này. Các lớp ẩn bao gồm nhiều hàm hoạt động phi tuyến có thể đặc tả lại gần chính xác đặc tính phi tuyến của bộ khuếch đại công suất. Tùy thuộc vào độ phức tạp của mạng nơ-ron nhân tạo, mạch bù méo dựa trên phương pháp này có thể bù méo hiệu quả hơn so với sử dụng các phương pháp truyền thống. Sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo cần hai quá trình huấn luyện và thực thi mạng. Việc huấn luyện mạng dựa trên dữ liệu đầu vào và đầu ra của mạch khuếch đại công suất để xác định đặc tính phi tuyến và hiệu ứng nhớ của mạch, từ đó tạo ra được bộ hệ số tối ưu cho mạng nơ-ron trong phần thực thi ở mạch bù méo. Nếu như phần thực thi mạng đơn giản và có thể lập trình hiệu quả trên phần cứng, khâu huấn luyện tạo ra bộ hệ số thông thường rất phức tạp và yêu cầu phần cứng đủ mạnh để có thể huấn luyện trong thời gian ngắn đáp ứng tính thời gian thực của hệ thống.

Để giải quyết các yêu cầu của vấn đề xử lý thời gian thực của phương pháp sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo hiện tại, sáng chế giới thiệu hệ thống máy chủ - máy khách (server-client) hiệu quả hơn để thực hiện bù méo thời gian thực trong các hệ thống viễn thông băng rộng.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất hệ thống và phương pháp bù méo máy chủ - máy khách cho bộ khuếch đại công suất cao tần trong các các hệ thống viễn thông băng rộng, hoạt động theo thời gian thực, sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo nhằm đảm bảo tín hiệu truyền đi không bị méo dạng và không gây nhiễu sang các dải tần số lân cận.

Trong sáng chế này, hệ thống bù méo máy chủ - máy khách bao gồm máy chủ với nhiệm vụ huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo được thực thi tại máy khách và máy khách có

nhệm vụ triển khai mạng nơ-ron nhân tạo thực hiện bù méo bộ khuếch đại khuếch đại công suất và thu thập dữ liệu phục vụ quá trình huấn luyện.

Trong sáng chế này, máy chủ là phần cứng tính toán hiệu năng cao có khả năng thực hiện huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo với thời gian nhanh. Máy chủ ở đây có thể là máy tính hiệu năng cao với bộ tăng tốc xử lý đồ họa hỗ trợ học máy hoặc máy ảo trên hệ thống đám mây.

Trong sáng chế này, máy khách có chức năng tương đương khối điều khiển thu phát vô tuyến (RRU) bao gồm phần cứng xử lý của khối thu phát vô tuyến, bộ khuếch đại công suất, phần cứng thu thập dữ liệu đầu vào, đầu ra của bộ khuếch đại công suất và mạch bù méo cho bộ khuếch đại công suất. Mạch bù méo trên máy khách có thể được triển khai trên mảng phần tử lô-gic có thể lập trình (Field Programmable Gate Array - FPGA), vi mạch tích hợp chuyên dụng (Application-Specific Integrated Circuit - ASIC). Các nền tảng này thường có năng lực xử lý và tài nguyên phần cứng hạn chế.

Trong sáng chế này, máy chủ và máy khách được kết nối với nhau thông qua kết nối vật lý tốc độ cao ví dụ như các kết nối có dây tốc độ cao như mạng kết nối nội bộ (Ethernet), kết nối Giao tiếp vô tuyến công cộng chung (Common Public Radio Interface – CPRI), kết nối thành phần ngoại vi tốc độ cao (Peripheral Component Interconnect Express – PCIe), truyền dẫn nối tiếp toàn cục (Universal Serial Bus – USB),... Máy chủ có thể kết nối đến nhiều máy khách để hỗ trợ thực hiện huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo cho nhiều khối điều khiển thu phát vô tuyến cùng lúc.

Trong sáng chế này, phương pháp bù méo bộ khuếch đại công suất được thực hiện bao gồm các bước: thu thập tín hiệu đầu vào, đầu ra của bộ khuếch đại công suất tại máy khách; truyền tín hiệu thu thập từ máy khách lên máy chủ; xác định công suất tín hiệu và quyết định phương pháp cập nhật bộ hệ số mạng nơ-ron; tiền xử lý tín hiệu thu thập tại máy chủ; huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo tại máy chủ sử dụng dữ liệu thu thập sau tiền xử lý và tìm ra bộ hệ số tối ưu cho mạng nơ-ron nhân tạo; truyền bộ hệ số của mạng nơ-ron nhân tạo từ máy chủ xuống máy khách; cập nhật bộ hệ số và thực hiện bù méo trước bằng mạng nơ-ron nhân tạo tại máy khách. Phương pháp này tận dụng được khả năng huấn luyện tốc độ cao của máy chủ, đáp ứng yêu cầu thích ứng thời gian thực của hệ thống.

Trong sáng chế này, phương pháp học được sử dụng là phương pháp học gián tiếp, đây là phương pháp phổ biến nhất được áp dụng trong các hệ thống bù méo mạch khuếch đại công suất thực tế. Máy chủ sẽ học và đặc tả lại các đặc tính của bộ khuếch đại công suất cao tần thông qua dữ liệu thu và phát hai đầu bộ khuếch đại công suất này để ước lượng được bộ hệ số học tối ưu. Cụ thể, để huấn luyện tạo ra bộ hệ số cho mạng bù méo, tại máy chủ, đầu vào của mạng huấn luyện là đầu ra của bộ khuếch đại công suất cao tần, đầu ra của mạng huấn luyện là đầu vào của bộ khuếch đại công suất cao tần.

Trong sáng chế, việc lựa chọn cập nhật bộ hệ số được thực hiện giữa vào sự thay đổi công suất của tín hiệu giữa các lần tính toán tại máy chủ. Khi công suất thay đổi, máy chủ sẽ sử dụng các thông tin bộ hệ số lưu sẵn để làm điểm bắt đầu cho quá trình bù méo bộ khuếch đại công suất tại máy khách.

Trong sáng chế này, dữ liệu trước khi đưa vào huấn luyện tại máy chủ được tiền xử lý để đảm bảo dữ liệu đầu vào và đầu ra của bộ khuếch đại công suất phục vụ huấn luyện được căn chỉnh về thời gian và mức công suất. Dữ liệu sau căn chỉnh lại tiếp tục được biến đổi để thay đổi phân bố phù hợp với đặc tính của hàm kích hoạt của mạng nơ-ron nhân tạo huấn luyện. Dữ liệu trước khi đưa vào bù méo tại máy khách cũng được tiền xử lý để thay đổi phân bố phù hợp với đặc tính của hàm kích hoạt của mạng nơ-ron nhân tạo thực thi.

Trong sáng chế này, mô hình mạng nơ-ron nhân tạo được sử dụng có thể là mạng nơ-ron trễ thời gian hoặc các loại mạng nơ-ron khác. Mạng nơ-ron cần đảm bảo giải quyết tốt hai vấn đề chủ yếu của bộ khuếch đại công suất là hiệu ứng nhớ và hiệu ứng phi tuyến. Trong đó, hiệu ứng nhớ được mô tả bằng các bộ làm trễ tại đầu vào và đáp ứng phi tuyến được học bằng các hàm hoạt động phi tuyến trong các lớp ẩn của mạng nơ-ron huấn luyện. Bộ hệ số tối ưu sau khi huấn luyện được sử dụng trực tiếp tại mạng nơ-ron thực thi tại máy khách. Để đảm bảo tính đồng bộ, mạng nơ-ron huấn luyện và mạng nơ-ron thực thi có cùng cấu trúc về số lượng đầu vào, số lớp ẩn và các hàm thực thi tại từng lớp ẩn.

Trong sáng chế này, hiệu quả bù méo của mạng nơ-ron nhân tạo phụ thuộc vào cấu trúc mạng nơ-ron, phương pháp huấn luyện, phương pháp tính hàm mất mát, số lượng mẫu và thời gian huấn luyện. Các yếu tố này cần được khảo sát thực nghiệm để tìm ra cách thức phù hợp và tối ưu nhất. Thông thường, khi cấu trúc mạng càng phức tạp (số lượng bộ làm

trễ, số lượng lớp ẩn và số hàm hoạt động lớn) thì sai số trong quá trình huấn luyện càng nhỏ. Tuy nhiên điều này sẽ dễ dẫn tới các nghiệm cục bộ và rơi vào trường hợp sự quá khớp (hay còn gọi là overfitting, nghĩa là phân tích đạt độ chính xác quá cao so với tập dữ liệu nào đó), đây là trường hợp khi huấn luyện cho kết quả rất tốt nhưng khi thực thi lại cho kết quả không tốt. Ngoài ra mạng phức tạp cũng làm tăng thời gian huấn luyện và chiếm nhiều tài nguyên phần cứng. Ngược lại, khi cấu trúc mạng quá đơn giản lại không thể đặc tả hết các đặc tính của mạch khuếch đại công suất, từ đó hiệu quả bù méo không cao.

Trong sáng chế này, phương pháp được đề xuất bao gồm bốn bước:

Trong sáng chế này, hệ thống và phương pháp bù méo cho bộ khuếch đại công suất sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo cho tốc độ thích ứng nhanh nhờ năng lực tính toán huấn luyện của máy chủ và hiệu năng bù méo tốt nhờ khả năng mô hình hóa phi tuyến tốt của mạng nơ-ron nhân tạo.

Hệ thống và phương pháp bù méo cho bộ khuếch đại công suất sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo dựa trên kiến trúc máy chủ - máy khách ngoài áp dụng trong các hệ thống viễn thông băng rộng như mạng thông tin di động 5G, mạng thông tin vệ tinh, mạng vô tuyến cục bộ băng rộng...

Kiến trúc máy chủ và máy khách cũng có thể áp dụng cho việc thử nghiệm và triển khai các thuật toán bù méo khác cho bộ khuếch đại công suất, ví dụ như mô hình đa thức nhớ tổng quát (GMP).

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: là lưu đồ thể hiện mô hình mạng nơ-ron nhân tạo được áp dụng vào các hệ thống viễn thông băng rộng theo phương pháp máy chủ - máy khách;

Hình 2: là sơ đồ xử lý tín hiệu đầu vào bộ tiền xử lý trên mạch thực hiện phương pháp;

Hình 3: là hình vẽ minh họa cấu trúc hoạt động một mạng nơ-ron nhân tạo;

Hình 4: là hình vẽ minh họa chi tiết cách xử lý tín hiệu trước và sau một hàm hoạt động trong các lớp ẩn của mạng nơ-ron nhân tạo;

Hình 5: là hình vẽ minh họa chi tiết cách xử lý tín hiệu tại ngõ ra của mạng nơ-ron nhân tạo;

Hình 6: là hình vẽ minh họa sơ đồ khôi phục lại tín hiệu sau khi đi qua mạng nơ-ron nhân tạo;

Hình 7: là hình vẽ minh họa sơ đồ xử lý tín hiệu bộ tiền xử lý trước khi thực hiện training trên máy chủ;

Hình 8: là hình vẽ minh họa sơ đồ hoạt động bộ huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo;

Hình 9: là hình vẽ minh họa sơ đồ khối hoạt động của hệ thống máy chủ - máy khách.

Mô tả chi tiết sáng chế

Hệ thống và phương pháp bù méo máy chủ - máy khách cho bộ khuếch đại công suất cao tần trong các hệ thống viễn thông băng rộng được xây dựng dựa trên việc sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo để mô hình hóa đặc tính phi tuyến của bộ khuếch đại công suất cao tần tại thời điểm truyền phát dữ liệu và việc kết hợp huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo trên máy chủ và thực thi trên máy khách. Quá trình cập nhật bộ hệ số cho mạng nơ-ron nhân tạo tại máy khách được thực hiện thích ứng dựa vào thay đổi công suất tín hiệu đầu ra bộ khuếch đại công suất và sự thay đổi hiệu năng bù méo được thể hiện thông qua giá trị tỉ số nén phổ kênh lân cận (Adjunction Channel Leakage Ratio – ACLR) của tín hiệu đầu ra bộ khuếch đại công suất sau bù méo. Các kỹ thuật tiền xử lý dữ liệu cũng được áp dụng để cải thiện hiệu năng bù méo của mạng nơ-ron nhân tạo.

Hình 1 mô tả chi tiết kiến trúc máy chủ - máy khách được sử dụng để bù méo bộ khuếch đại công suất sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo.

Phần cứng máy khách bao gồm mạch bù méo (bao gồm bộ tiền xử lý thực thi 101, mạng nơ-ron nhân tạo 103, bộ hậu xử lý 105), bộ chuyển đổi số - tương tự 107, bộ chuyển đổi tương tự - số 114, bộ đổi tần lên 109, mạch suy hao và đổi tần xuống 112 và bộ thu thập tín hiệu 116 được kết nối với bộ khuếch đại công suất cao tần 111. Ở đây, bộ khuếch đại công suất cao tần 111 hoạt động ở mức công suất gần bão hòa gây méo tín hiệu đưa vào 100 nếu không có mạch bù méo khiến tín hiệu ra không còn giống với đặc tính tín hiệu đưa vào 100. Để giải quyết vấn đề này, mạch bù méo (101, 103, 105) thực hiện việc bù

méo trước tín hiệu đưa vào 100 được đưa qua bộ chuyển đổi số - tương tự 107 để đổi tần số và khuếch đại công suất (tín hiệu 106 là tín hiệu bị méo dạng của tín hiệu đưa vào 100 sau khi được bù méo). Bằng cách này, tín hiệu ra sau bộ khuếch đại công suất cao tần 111 sẽ ít bị méo dạng hơn so với tín hiệu đưa vào 100.

Mạch bù méo bao gồm bộ tiền xử lý thực thi 101, mạng nơ-ron nhân tạo 103 và bộ hậu xử lý 105. Cụ thể, bộ tiền xử lý thực thi 101 sẽ xử lý tín hiệu đưa vào 100 thành tín hiệu 102 có phân bố phù hợp với hàm kích hoạt của mạng nơ-ron nhân tạo 103, từ đó nơ-ron nhân tạo có thể xử lý hiệu quả tín hiệu. Tín hiệu ra 104 của mạng nơ-ron nhân tạo 103 sẽ được khôi phục lại thành tín hiệu số bằng gốc sau khi được bù méo để tiếp tục đi qua các khối tiếp theo. Để mạch bù méo có thể bù méo được đúng đặc tính phi tuyến của bộ khuếch đại công suất cao tần 111, bộ hệ số 125 của mạng nơ-ron nhân tạo 103 phải được cập nhật từ máy chủ thông qua giao tiếp tốc độ cao giữa máy chủ và máy khách. Bộ hệ số 125 này được huấn luyện thông qua bộ huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo 124. Tín hiệu ra sẽ được trích xuất về, thông qua mạch suy hao và đổi tần xuống 112, ta được tín hiệu tương tự tần số thấp 113. Bộ chuyển đổi tương tự - số 114 tiếp tục chuyển tín hiệu này thành tín hiệu số 115 trước khi cùng tín hiệu 106 được bộ thu thập tín hiệu 116 truyền xuống máy chủ thông qua giao tiếp tốc độ cao.

Phần cứng máy chủ bao gồm bộ nhớ 119 lưu trữ dữ liệu thu thập được từ bộ khuếch đại công suất cao tần 111, bộ tiền xử lý huấn luyện 122 trên máy chủ và bộ huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo 124. Bộ nhớ 119 của máy chủ có nhiệm vụ lưu trữ dữ liệu tín hiệu 118 và 117 (tương ứng với các tín hiệu 106 và 115). Bộ tiền xử lý huấn luyện 122 sử dụng tín hiệu 120 và 121 tiến hành tiền xử lý trước khi đưa vào bộ huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo 124 để tìm ra bộ hệ số tối ưu 125. Để bộ hệ số này có thể sử dụng được tại mạng nơ-ron nhân tạo 103, cấu trúc mạng nơ-ron của hai mạng nơ-ron nhân tạo 103 và bộ huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo 124 phải giống nhau (cùng số lượng lớp ẩn, số hàm hoạt động tại mỗi lớp ẩn đó, các hàm hoạt động của hai mạng cũng phải giống nhau). Bằng việc huấn luyện mạng sử dụng chính tín hiệu đầu vào vào và đầu ra của bộ khuếch đại công suất cao tần 111, mạng nơ-ron nhân tạo 103 có thể mô phỏng lại gần nhất đặc tính phi tuyến của mạch khuếch đại công suất, do đó có thể bù méo tín hiệu một cách chính xác.

Để máy chủ có thể liên tục tính toán và cập nhật bộ hệ số phù hợp cho máy khách, bộ tín hiệu vào – ra của bộ khuếch đại công suất cao tần 111 được thu lại liên tục theo chu kỳ cài đặt trước về gửi cho máy chủ. Cụ thể, tín hiệu ra được thu lại, thông qua mạch suy hao và đổi tần xuống 112 trở thành tín hiệu tần số thấp và có công suất thấp 113. Tín hiệu tần số thấp và có công suất thấp 113 này tiếp tục được biến đổi thành tín hiệu số 115 nhờ vào bộ chuyển đổi tương tự - số 114. Bộ thu thập tín hiệu 116 thực hiện việc truyền dữ liệu 106 và tín hiệu số 115 lên máy chủ thông qua giao tiếp tốc độ cao. Máy chủ lưu bộ tín hiệu này vào bộ nhớ 119 trước khi tiến hành tiền xử lý ở bộ tiền xử lý huấn luyện 122, huấn luyện và tính toán bộ hệ số cho bộ huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo 124 và truyền bộ hệ số cập nhật cho máy khách.

Hình 2 mô tả cấu trúc bộ tiền xử lý 101. Bộ này thực hiện nhiệm vụ xử lý tín hiệu đưa vào 100 sao cho phù hợp và cho kết quả xử lý tốt nhất tại mạng nơ-ron nhân tạo 103. Việc tạo các bộ trễ giúp xử lý đặc tính bộ nhớ tín hiệu của mạch khuếch đại cao tần. Như minh họa tại Hình 2, tín hiệu đưa vào 100 được làm trễ N lần, do đó sẽ có $N+1$ ngõ vào $[u[n], u[n-1], u[n-2], \dots, u[n-N]]$ cho bộ tách thực ảo. Sau khi thực hiện việc tách hai phần thực và ảo, ta được $2(N+1)$ ngõ ra đi vào bộ chuẩn hóa tín hiệu. Tại đây, tín hiệu được chuẩn hóa theo yêu cầu của hệ thống để tạo thành tín hiệu 102. Một ví dụ về phương pháp chuẩn hóa là phương pháp ánh xạ nhỏ nhất-lớn nhất (mapminmax) được thực hiện theo công thức:

$$y[t] = \frac{(y_{\max} - y_{\min})(x[t] - x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}} + y_{\min}.$$

Trong đó, $(x[t], y[t])$ là tín hiệu trước và sau khi được chuẩn hóa. $(x_{\max}, x_{\min})$ tương ứng là dữ liệu lớn nhất và nhỏ nhất của tín hiệu đã trích xuất được. $(y_{\max}, y_{\min})$ là tín hiệu lớn nhất và nhỏ nhất của dữ liệu sau khi chuẩn hóa, hai giá trị này được người sử dụng cài đặt.

Lý giải cho việc sử dụng chuẩn hóa ánh xạ nhỏ nhất-lớn nhất (mapminmax), phương pháp này có hai chức năng chính. Thứ nhất, ánh xạ nhỏ nhất-lớn nhất (mapminmax) chuẩn hóa dữ liệu về trong một khoảng giá trị định trước $[y_{\min}, y_{\max}]$ (ví dụ $[-1, 1]$). Thứ hai, phương pháp này giúp cân bằng biểu đồ tần suất (histogram) của dữ liệu trải đều hơn trong

khoảng giá trị đã chọn. Ví dụ, khi dữ liệu gốc vô tuyến bằng rộng thường có nhiều tín hiệu tập trung gần giá trị 0 khiến cho quá trình huấn luyện và xử lý mạng nơ-ron nhân tạo thiếu độ chính xác, việc chuẩn hóa dữ liệu đều ra hoặc nhiều điểm dữ liệu xa điểm 0 giúp ích rất nhiều trong việc cải thiện độ chính xác này.

Hình 3, Hình 4 và Hình 5 mô tả chi tiết cấu trúc và cách hoạt động một mạng nơ-ron nhân tạo 103. Cụ thể, một mô hình mạng nơ-ron tổng quát được biểu diễn ở Hình 3 bao gồm một lớp đầu vào, các lớp ẩn và một lớp đầu ra. Lớp đầu vào là tín hiệu 102 bao gồm $2N + 1$ đầu vào đã được thông qua bộ tiền xử lý 101. Những tham số dùng để điều chỉnh cấu trúc mạng nơ-ron nhân tạo bao gồm số lượng lớp ẩn, số hàm hoạt động tại mỗi lớp ẩn và các loại hàm hoạt động khác nhau được sử dụng. Thông thường, vì tài nguyên trên máy khách có hạn, một tối hai lớp ẩn sẽ được sử dụng. Một số hàm hoạt động có thể hiện thực bao gồm hàm tansig ($y = \text{tansig}(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1$), hàm logsig hay còn gọi là hàm sigmoid ($y = \text{logsig}(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$), hàm pureline ($y = \text{pureline}(x) = x$), hàm arctangent ($y = \text{arctangent}(x) = \frac{1}{\pi} \tan^{-1}x$), hàm hyperbolic tangent ($y = \text{hyperbolic tangent}(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$). Trong mô hình tại sáng chế này, lớp đầu ra bao gồm hai ngõ ra, một đầu ra cho phần thực và một đầu ra còn lại cho phần ảo của tín hiệu sau khi bù méo.

Hình 4 mô tả cách xử lý tín hiệu tại một hàm hoạt động trong một lớp ẩn của mạng nơ-ron. Giả sử lớp ẩn thứ $k-1$ bao gồm N hàm hoạt động, do đó sẽ có N đầu vào tại mỗi hàm hoạt động ở lớp thứ k . Tín hiệu $z(k)$ trước khi vào hàm hoạt động $\sigma(\cdot)$ được tính như sau:

$$z(k) = x(k, 1)w(k, 1) + x(k, 2)w(k, 2) + \dots + x(k, N)w(k, N) + b(k),$$

với $[x(k, 1), x(k, 2), \dots, x(k, N)]$ là bộ các tín hiệu vào, $[w(k, 1), w(k, 2), \dots, w(k, N), b(k)]$ là bộ trọng số và bias của hàm hoạt động đang xét. Ngõ ra $y(k)$ cuối cùng được tính bởi:

$$y(k) = \sigma(z(k)).$$

Không giống như tại các lớp ẩn, tại đầu ra được mô tả như Hình 5, tín hiệu ra $y(k)$ được tính trực tiếp là tổng của các tích tín hiệu vào $[x(k,1), x(k,2), \dots, x(k,N), 1]$ và bộ trọng số $[w(k,1), w(k,2), \dots, w(k,N), b(k)]$. Một cách tương đương, tổng này được xử lý qua hàm *pureline* trước khi đưa ra ngõ ra.

Hình 6 mô tả bộ hậu xử lý 105, trong đó hai đầu vào (đầu vào thứ nhất và đầu vào thứ hai) tương ứng với hai ngõ ra của mạng nơ-ron nhân tạo 103. Tại đây, hai tín hiệu đầu vào được khôi phục lại trước khi chuẩn hóa trước khi được ghép lại thành tín hiệu phức. Sau bộ hậu xử lý 105, tín hiệu về bản chất là đã thực hiện xong việc bù méo hiệu ứng nhớ và phi tuyến của bộ khuếch đại công suất cao tần.

Trong quá trình chạy thực tế trên hệ mạch trạm thu phát gốc (base station) và bộ khuếch đại công suất cao tần, mạng nơ-ron nhân tạo cập nhật liên tục bộ hệ số được gửi từ máy chủ thông qua các kết nối có dây tốc độ cao như mạng kết nối nội bộ (Ethernet), kết nối giao tiếp vô tuyến công cộng chung (Common Public Radio Interface – CPRI), kết nối thành phần ngoại vi tốc độ cao (Peripheral Component Interconnect Express – PCIe), truyền dẫn nối tiếp toàn cục (Universal Serial Bus – USB),... để tăng cường hiệu suất bù méo đồng thời có thể thích ứng nhanh với việc khi thay đổi công suất phát của máy phát hoặc thay đổi đặc tính tần số của dạng sóng băng cơ sở.

Bộ tiền xử lý huấn luyện 122 được minh họa ở Hình 7 và có cấu trúc phức tạp hơn bộ tiền xử lý 101. Nếu như bộ tiền xử lý 101 chỉ cần ba bước (tạo các tín hiệu trễ thể hiện hiệu ứng nhớ, tách thực ảo và chuẩn hóa), bộ tiền xử lý huấn luyện 122 cần xử lý tín hiệu trước khi thực hiện ba bước đó. Lý do cho việc này, tín hiệu thu được từ máy khách về bao gồm hai tín hiệu 106 và tín hiệu 115. Bộ khuếch đại công suất cao tần 111 không chỉ khuếch đại tín hiệu 106 mà còn khuếch đại cả nhiễu đi qua nó, do đó tín hiệu 115 bao gồm cả nhiễu cần xử lý trước khi đưa vào bộ huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo 124. Ngoài ra, các mạch phần cứng xử lý còn làm trễ tín hiệu đưa vào, do đó tín hiệu 115 bị trễ hơn so với tín hiệu 106. Vì vậy, để có thể tạo được tập dữ liệu huấn luyện đủ tin cậy, tín hiệu 115 cần được xử lý qua các bước như sắp xếp lại để khắc phục việc bị trễ thông qua việc tìm độ tương quan với tín hiệu 106, chuẩn hóa công suất với tín hiệu 106 để không làm ảnh hưởng tới công suất tín hiệu sau khi đi qua mạng nơ-ron nhân tạo 103. Tín hiệu 115 còn cần được xử lý

các bước tiền xử lý khác như qua bộ lọc thông thấp để loại bỏ nhiễu ở miền tần số ngoài khoảng tần số xử lý... Sau khi xử lý xong, ta có cặp tín hiệu rời rạc của đầu vào và đầu ra của bộ khuếch đại công suất đã được căn chỉnh, lúc này cần lựa chọn bộ dữ liệu đủ tốt cho việc huấn luyện mạng. Thứ nhất, bộ dữ liệu đầu vào, đầu ra dùng để huấn luyện là bộ dữ liệu có mức công suất trung bình tương đương hoặc lớn hơn tập dữ liệu đầy đủ của một khung dữ liệu lớp vật lý đường xuống trong các hệ thống viễn thông băng rộng. Thứ hai, bộ dữ liệu huấn luyện cũng phải có đặc tính biểu đồ phân bố biên độ dữ liệu tín hiệu (biểu đồ tần suất (histogram)) tương đương tập dữ liệu đầy đủ ở trên. Chỉ khi dữ liệu đầu vào và đầu ra thỏa mãn các điều kiện nêu trên, các dữ liệu trên mới được sử dụng để huấn luyện mạng nơ-ron.

Cuối cùng, tham chiếu Hình 8, các thuật toán huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo khác nhau có thể được áp dụng để đặc tả lại đặc tính của bộ khuếch đại công suất cao tần. Bộ hệ số sau khi huấn luyện xong được truyền vào máy khách thông qua giao tiếp tốc độ cao để sử dụng cho mạch bù méo. Có rất nhiều thuật toán có thể sử dụng để huấn luyện một mạng nơ-ron nhân tạo như: Levenberg-Marquardt, Quasi-Newton, lan truyền ngược bật lên (Resilient Backpropagation) hoặc lan truyền ngược tỉ lệ học biến thiên (Variable Learning Rate Backpropagation).

Phương pháp máy chủ - máy khách thời gian thực trong hệ thống bù méo tín hiệu bộ khuếch đại công suất cao tần hoạt động theo Hình 9 bao gồm bốn bước chính sau: bước 1: máy khách sử dụng bộ hệ số cài lại cho mạch bù méo ở khối xử lý thu phát để tín hiệu 106 bằng với tín hiệu đưa vào 100; bước 2: máy khách trích xuất tín hiệu đầu vào và đầu ra của bộ khuếch đại công suất cao tần và gửi cho máy chủ; bước 3: máy chủ thực hiện tiền xử lý, huấn luyện mạng và gửi bộ hệ số mới hoặc tín hiệu điều khiển xuống cho máy khách; bước 4: máy khách cập nhật bộ hệ số mới cho mạng nơ-ron theo yêu cầu từ máy chủ. Trong đó, bước 2, bước 3 và bước 4 được lặp lại trong quá trình chạy để đảm bảo hệ thống luôn cập nhật sự thay đổi của mạch khuếch đại công suất và sự thay đổi trong công suất truyền phát. Cụ thể các bước được mô tả như sau:

Bước 1: máy khách sử dụng bộ hệ số cài lại (reset) cho mạch bù méo ở khối xử lý thu phát để tín hiệu 106 bằng với tín hiệu đưa vào 100. Điều này đảm bảo hệ thống ổn định trước khi thực hiện các bước tính toán và cập nhật bộ hệ số.

Bước 1 được thực hiện khi bắt đầu khởi động phần cứng máy khách bao gồm khối thu phát vô tuyến, bộ khuếch đại công suất cao tần, khối thu thập tín hiệu và mạch bù méo. Khi bắt đầu truyền dữ liệu, hệ thống chưa có tín hiệu đầu ra của bộ khuếch đại công suất cao tần, do đó không thể thực hiện việc mô phỏng đặc tính của mạch khuếch đại công suất cao tần 111. Lúc này việc mạng nơ-ron nhân tạo 103 sử dụng bộ hệ số mặc định có tác dụng không làm biến đổi tín hiệu 106. Khi ấy mạch bù méo không làm thay đổi tín hiệu 100. Việc bù méo chỉ diễn ra sau khi máy khách nhận được bộ hệ số tối ưu được gửi từ máy chủ.

Bước 2: máy khách trích xuất tín hiệu đầu vào và đầu ra của bộ khuếch đại công suất cao tần và gửi cho máy chủ.

Sau khi tín hiệu được xử lý và truyền đi, bộ thu thập tín hiệu 116 ở máy khách tiến hành việc trích xuất tín hiệu rời rạc ngõ ra và ngõ vào của bộ khuếch đại công suất cao tần 111 để sẵn sàng gửi cho máy chủ thông qua giao tiếp tốc độ cao tại bước 2. Việc thu tín hiệu 106 và tín hiệu 115 phải được tiến hành đồng thời để thu được bộ tín hiệu tương quan với nhau giúp cho máy chủ xử lý thông tin được chính xác.

Bước 3: máy chủ thực hiện tiền xử lý, huấn luyện mạng nơ-ron và gửi bộ hệ số mới hoặc tín hiệu điều khiển cho máy khách.

Sau khi nhận được dữ liệu đầu vào, đầu ra bộ khuếch đại công suất được gửi từ máy khách, máy chủ thực hiện việc xử lý tín hiệu. Lúc này xảy ra hai trường hợp

- Trường hợp thứ nhất: khi mạch vừa khởi động và bắt đầu truyền tín hiệu hoặc khi mạch vừa thực hiện việc thay đổi mức công suất truyền. Trước khi tiến hành tiền xử lý hai tín hiệu, máy chủ thực hiện việc đo mức công suất để biết được mức công suất truyền đi tại máy khách tại bước 3a. Thông qua việc chuyển tín hiệu từ miền thời gian sang miền tần số, ta có thể xác định được mức công suất phát trong miền tần số tín hiệu kết hợp với việc xác định hệ số suy hao trên mạch suy hao và đổi tần xuống 112, ta có thể xác định được mức công suất phát ngõ ra sau bộ khuếch đại công suất cao tần 111. Khi xác định

được mức công suất tín hiệu, tiến hành so sánh với mức công suất truyền của tín hiệu hiện tại so với mức công suất truyền của lần trích xuất dữ liệu trước đó. Nếu có xảy ra sự thay đổi công suất hoặc lần đầu truyền tín hiệu của phần cứng, một bộ hệ số tương ứng có sẵn phù hợp với mức công suất phát nằm trong bảng tra bộ hệ số (Lookup Table - LUT) sẽ được gửi xuống mạng nơ-ron nhân tạo 103 thông qua giao tiếp tốc độ cao như ở bước 3b. Bảng tra bộ hệ số LUT này được xây dựng từ trước, trong đó là tập hợp các bộ hệ số khởi đầu tối ưu cho từng mức công suất ở dải công suất phát. Ví dụ trong một mạch chạy thực tế, bảng tra LUT này được xây dựng cho dải công suất phát từ 25-35 dBm với khoảng cách từng 0,5 dB. Khi đo mức công suất phát tại tín hiệu ra 107, mức công suất phát này nằm gần với mức nào nhất trong bảng tra LUT, bộ hệ số tương ứng sẽ được trích xuất để gửi xuống mạng nơ-ron nhân tạo 103 để thực hiện bù méo tín hiệu. Việc sử dụng bảng tra LUT này mang lại ưu điểm chính là cho được một bộ hệ số khởi đầu đủ tốt mà không tốn thời gian cho việc máy chủ phải xử lý và huấn luyện bộ tín hiệu vừa được gửi xuống tại lần đầu tiên. Hệ quả là, hệ thống sẽ tiết kiệm được tài nguyên sử dụng và thời gian xử lý. Bởi vì để có được một bộ hệ số tối ưu loại bỏ nhiễu đủ tốt cho trạng thái của mạch khuếch đại công suất tại một thời điểm, ta cần sử dụng nhiều vòng lặp lại liên tục giữa việc trích xuất dữ liệu gửi xuống máy chủ và huấn luyện gửi lên máy khách bộ hệ số cập nhật tương ứng với dữ liệu mới. Sử dụng bộ hệ số trong bảng tra LUT sẽ cho kết quả tốt hơn so với việc huấn luyện bộ dữ liệu thu được lần đầu tiên, giúp cho tiết kiệm số lần lặp nói trên để tìm ra bộ hệ số hội tụ. Bảng tra LUT được xây dựng dựa vào việc khảo sát đặc tính của bộ khuếch đại công suất và xây dựng mô hình mạng nơ-ron bù méo tại các mức công suất khác nhau của bộ khuếch đại công suất. Ngoài ra, máy chủ cũng thực hiện việc ước lượng giá trị ACLR của tín hiệu ra để sử dụng cho việc điều khiển các vòng lặp sau.

- Trường hợp thứ hai: khi mạch đang chạy và không xảy ra việc thay đổi mức công suất truyền. Trường hợp này xảy ra khi bộ bù méo đang hoạt động và đang trong các vòng lặp để cải thiện hiệu suất bù méo. Tương tự như trường hợp lần đầu tiên, sau khi thu được dữ liệu gửi về từ máy khách, máy chủ thực hiện việc ước lượng mức công suất truyền đi của máy khách và xác định được không có sự thay đổi công suất truyền tín hiệu so với lần nhận tín hiệu trước đó. Sau đó, máy chủ tiếp tục thực hiện thêm một lần tính toán giá

trị ACLR để so sánh với giá trị của ACLR của tín hiệu ở vòng lặp trước đó tại bước 3c. Nếu giá trị ACLR trung bình của hai dải trái phải tín hiệu không giảm hoặc giảm không đáng kể (mức giảm nhỏ hơn một giá trị epsilon gần không cho trước) thì máy chủ không thực hiện việc huấn luyện cập nhật bộ hệ số để tiết kiệm tài nguyên và thời gian chạy. Máy chủ gửi tín hiệu điều khiển yêu cầu máy khách giữ nguyên bộ hệ số ở bước 3d. Lúc này, máy chủ gửi tín hiệu điều khiển cho máy khách để tiếp tục trích xuất dữ liệu mới gửi về. Ngược lại, nếu ACLR của tín hiệu hiện tại giảm hơn đáng kể so với giá trị ACLR của vòng lặp trước, điều này đồng nghĩa bộ hệ số của mạng nơ-ron nhân tạo vẫn chưa tối ưu và có thể cải thiện tiếp. Tín hiệu 106 và 115 sẽ được đưa qua bộ tiền xử lý và huấn luyện để tạo ra bộ hệ số mới gửi cho máy khách thực hiện cập nhật cho mạng nơ-ron thực hiện bù méo ở bước 3e. Phương pháp học được sử dụng ở đây là học gián tiếp nên tín hiệu 115 sẽ được lấy làm đầu vào cho mạng nơ-ron huấn luyện còn tín hiệu 106 là đầu ra tham chiếu cho mô hình mạng nơ-ron huấn luyện. Bộ hệ số của mô hình sẽ được cập nhật sau mỗi lần huấn luyện với mục tiêu là tối thiểu hàm mất mát được tính toán dựa trên đầu ra mô hình và đầu ra thực tế mong muốn. Phương pháp cập nhật hệ số sau mỗi lần huấn luyện là Levenberg-Marquadt với ưu điểm về tốc độ hội tụ và độ chính xác.

Bước 4: máy khách cập nhật bộ hệ số mới cho mạng nơ-ron theo yêu cầu từ máy chủ.

Máy khách thực hiện cập nhật bộ hệ số mới khi nhận được thông tin từ máy chủ vào mạng nơ-ron bù méo trên máy khách tại bước 704.

Bước 2, bước 3 và bước 4 được lặp đi lặp lại liên tục trong quá trình chạy nhằm đảm bảo hệ thống bù méo luôn luôn được cập nhật bù méo chính xác tương ứng với trạng thái của mạch khuếch đại công suất tại thời điểm chạy.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống bù méo bộ khuếch đại công suất trong các hệ thống viễn thông băng rộng sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo dựa trên kiến trúc máy chủ - máy khách, bao gồm:

máy khách có nhiệm vụ trích xuất tín hiệu từ bộ khuếch đại công suất và thực thi bù méo trước bằng mạng nơ-ron nhân tạo dựa vào thông tin điều khiển và thông tin bộ hệ số mạng nơ-ron nhân tạo từ máy chủ; trong đó, phần cứng của máy khách bao gồm:

mạch bù méo (bao gồm bộ tiền xử lý thực thi, mạng nơ-ron nhân tạo, bộ hậu xử lý), bộ chuyển đổi số - tương tự, bộ chuyển đổi tương tự - số, bộ đổi tần lên, mạch suy hao và đổi tần xuống và bộ thu thập tín hiệu được kết nối với bộ khuếch đại công suất cao tần;

máy chủ có nhiệm vụ tiền xử lý tín hiệu, huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo và cung cấp thông tin điều khiển và thông tin bộ hệ số mạng nơ-ron nhân tạo cho máy khách; trong đó, phần cứng của máy chủ bao gồm:

bộ nhớ lưu trữ dữ liệu thu thập được từ bộ khuếch đại công suất cao tần, bộ tiền xử lý huấn luyện trên máy chủ và bộ huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo; máy chủ và máy khách giao tiếp với nhau thông qua kết nối tốc độ cao.

2. Hệ thống bù méo bộ khuếch đại công suất trong các hệ thống viễn thông băng rộng sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo dựa trên kiến trúc máy chủ - máy khách theo điểm 1, trong đó:

máy chủ có thể kết nối cùng lúc đến nhiều máy khách, thực hiện huấn luyện đồng thời mạng nơ-ron nhân tạo và cung cấp thông tin điều khiển và thông tin bộ hệ số mạng nơ-ron nhân tạo cho nhiều máy khách.

3. Hệ thống bù méo bộ khuếch đại công suất trong các hệ thống viễn thông băng rộng sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo dựa trên kiến trúc máy chủ - máy khách theo điểm 1, trong đó:

máy khách gửi thông tin tín hiệu đầu vào và đầu ra của bộ khuếch đại công suất cho máy chủ;

máy chủ gửi thông tin điều khiển cập nhật bộ hệ số và thông tin bộ hệ số mạng nơ-ron nhân tạo cho máy khách.

4. Phương pháp bù méo bộ khuếch đại công suất trong các hệ thống viễn thông bằng rộng sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo dựa trên kiến trúc máy chủ - máy khách, bao gồm các bước:

bước 1: máy khách sử dụng bộ hệ số cài lại (reset) cho mạch bù méo ở khối xử lý thu phát để tín hiệu bằng với tín hiệu đưa vào; bước này được thực hiện khi bắt đầu khởi động phần cứng máy khách bao gồm khối thu phát vô tuyến, bộ khuếch đại công suất cao tần, khối thu thập tín hiệu và mạch bù méo; cụ thể, khi bắt đầu truyền dữ liệu, hệ thống chưa có tín hiệu đầu ra của bộ khuếch đại công suất cao tần, do đó không thể thực hiện việc mô phỏng đặc tính của mạch khuếch đại công suất cao tần; lúc này việc mạng nơ-ron nhân tạo sử dụng bộ hệ số mặc định có tác dụng không làm biến đổi tín hiệu; khi ấy mạch bù méo không làm thay đổi tín hiệu; việc bù méo chỉ diễn ra sau khi máy khách nhận được bộ hệ số tối ưu được gửi từ máy chủ;

bước 2: máy khách trích xuất tín hiệu đầu vào và đầu ra của bộ khuếch đại công suất cao tần và gửi cho máy chủ; sau khi tín hiệu được xử lý và truyền đi, bộ thu thập tín hiệu ở máy khách tiến hành việc trích xuất tín hiệu rời rạc ngõ ra và ngõ vào của bộ khuếch đại công suất cao tần để sẵn sàng gửi cho máy chủ thông qua giao tiếp tốc độ cao tại bước; việc thu tín hiệu phải được tiến hành đồng thời để thu được bộ tín hiệu tương quan với nhau giúp cho máy chủ xử lý thông tin được chính xác;

bước 3: máy chủ thực hiện tiền xử lý, huấn luyện mạng nơ-ron và gửi bộ hệ số mới hoặc tín hiệu điều khiển cho máy khách; sau khi nhận được dữ liệu đầu vào, đầu ra bộ khuếch đại công suất được gửi từ máy khách, máy chủ thực hiện việc xử lý tín hiệu. Lúc này xảy ra hai trường hợp:

trường hợp thứ nhất: khi mạch vừa khởi động và bắt đầu truyền tín hiệu hoặc khi mạch vừa thực hiện việc thay đổi mức công suất truyền; trước khi tiến hành tiền xử lý hai tín hiệu, máy chủ thực hiện việc đo mức công suất để biết được mức công suất truyền đi tại máy khách; thông qua việc chuyển tín hiệu từ miền thời gian sang miền tần số, ta có thể xác định được mức công suất phát trong miền tần số tín hiệu kết hợp với việc xác định hệ số suy hao trên mạch suy hao và đổi tần xuống, ta có thể xác định được mức

công suất phát ngõ ra sau bộ khuếch đại công suất cao tần; khi xác định được mức công suất tín hiệu, tiến hành so sánh với mức công suất truyền của tín hiệu hiện tại so với mức công suất truyền của lần trích xuất dữ liệu trước đó; nếu có xảy ra sự thay đổi công suất hoặc lần đầu truyền tín hiệu của phần cứng, một bộ hệ số tương ứng có sẵn phù hợp với mức công suất phát nằm trong bảng tra bộ hệ số (lookup table - LUT) sẽ được gửi xuống mạng nơ-ron nhân tạo thông qua giao tiếp tốc độ cao; bảng tra bộ hệ số LUT này được xây dựng từ trước, trong đó là tập hợp các bộ hệ số khởi đầu tối ưu cho từng mức công suất ở dải công suất phát;

trường hợp thứ hai: khi mạch đang chạy và không xảy ra việc thay đổi mức công suất truyền; trường hợp này xảy ra khi bộ bù méo đang hoạt động và đang trong các vòng lặp để cải thiện hiệu suất bù méo; tương tự như trường hợp lần đầu tiên, sau khi thu được dữ liệu gửi về từ máy khách, máy chủ thực hiện việc ước lượng mức công suất truyền đi của máy khách và xác định được không có sự thay đổi công suất truyền tín hiệu so với lần nhận tín hiệu trước đó; sau đó, máy chủ tiếp tục thực hiện thêm một lần tính toán giá trị ACLR để so sánh với giá trị của ACLR của tín hiệu ở vòng lặp trước đó; nếu giá trị ACLR trung bình của hai dải trái phải tín hiệu không giảm hoặc giảm không đáng kể (mức giảm nhỏ hơn một giá trị epsilon gần không cho trước) thì máy chủ không thực hiện việc huấn luyện cập nhật bộ hệ số để tiết kiệm tài nguyên và thời gian chạy; máy chủ gửi tín hiệu điều khiển yêu cầu máy khách giữ nguyên bộ hệ số; lúc này, máy chủ gửi tín hiệu điều khiển cho máy khách để tiếp tục trích xuất dữ liệu mới gửi về; ngược lại, nếu ACLR của tín hiệu hiện tại giảm hơn đáng kể so với giá trị ACLR của vòng lặp trước, điều này đồng nghĩa bộ hệ số của mạng nơ-ron nhân tạo vẫn chưa tối ưu và có thể cải thiện tiếp; tín hiệu sẽ được đưa qua bộ tiền xử lý và huấn luyện để tạo ra bộ hệ số mới gửi cho máy khách thực hiện cập nhật cho mạng nơ-ron thực hiện bù méo;

bước 4: máy khách cập nhật bộ hệ số mới cho mạng nơ-ron theo yêu cầu từ máy chủ; tại bước này, máy khách thực hiện cập nhật bộ hệ số mới khi nhận được thông tin từ máy chủ vào mạng nơ-ron bù méo trên máy khách.

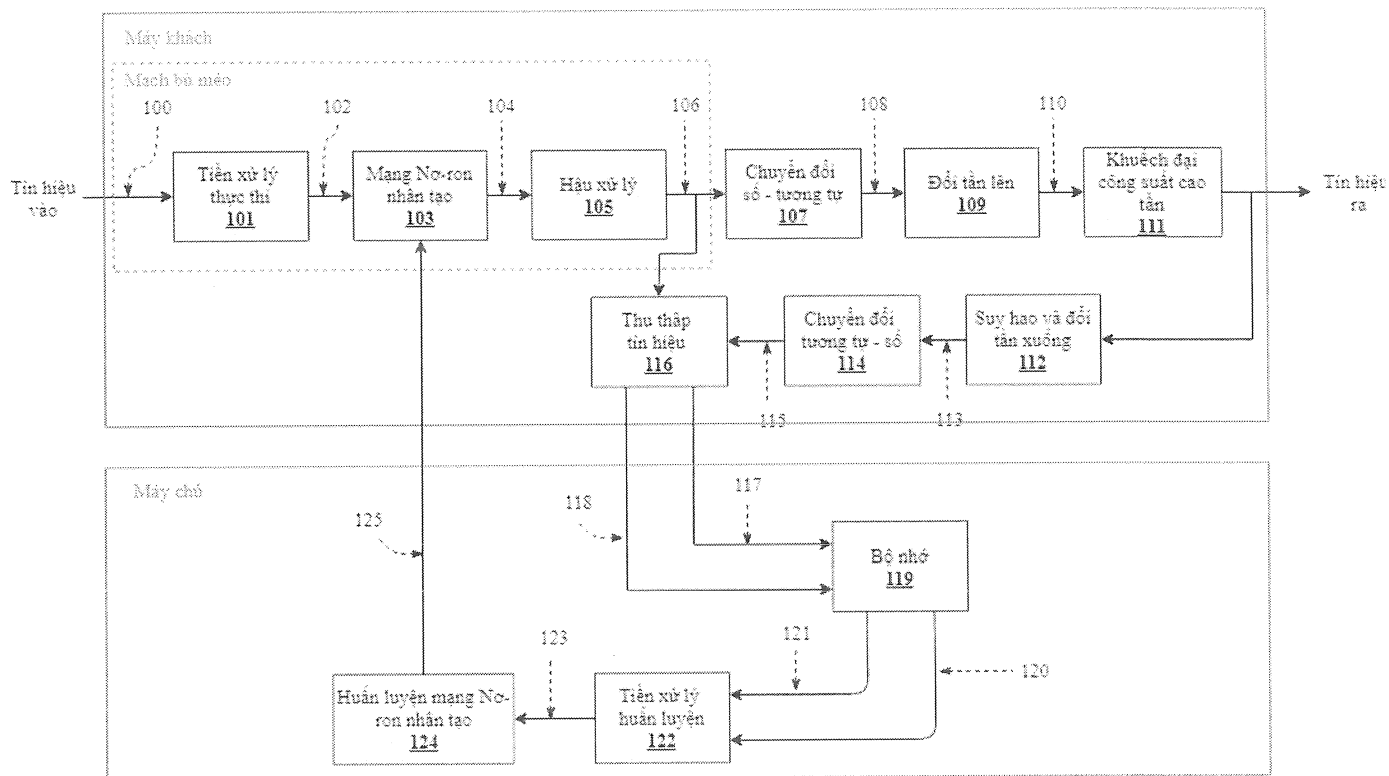
5. Phương pháp bù méo bộ khuếch đại công suất trong các hệ thống viễn thông bằng rộng sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo dựa trên kiến trúc máy chủ - máy khách theo điểm 4, trong đó:

tín hiệu trước khi đi vào huấn luyện tại máy chủ được tiền xử lý để sắp xếp lại phân bố dữ liệu và tạo các phiên bản trễ của tín hiệu;

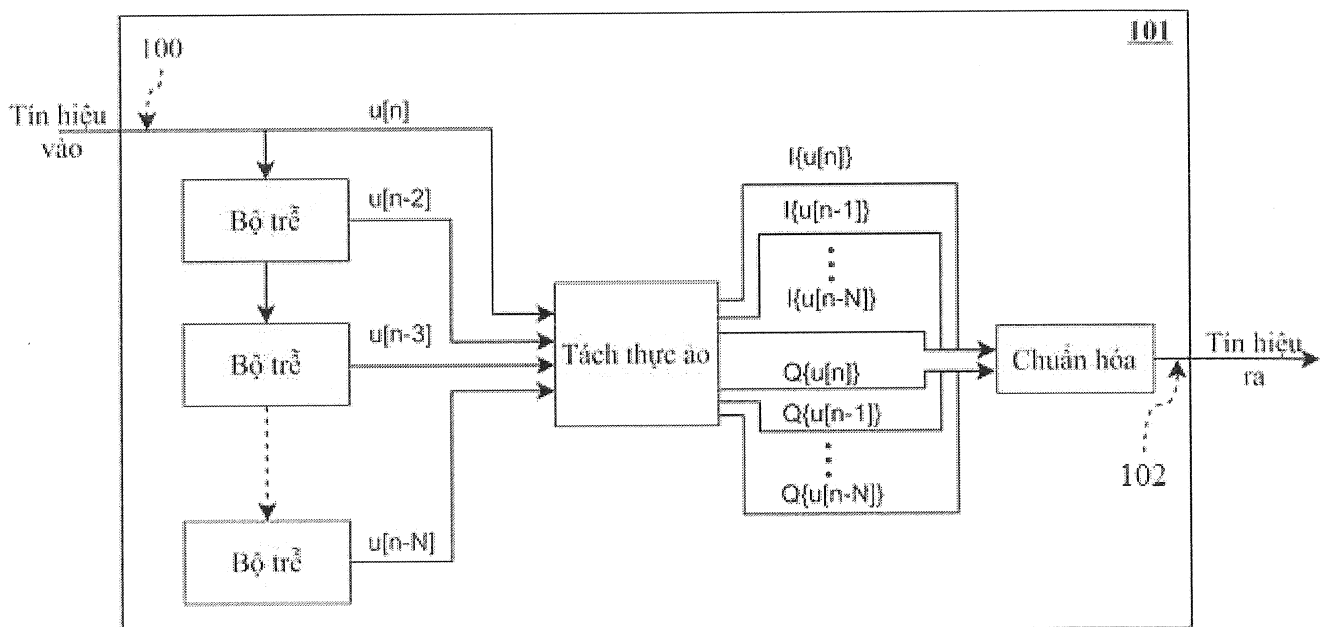
tín hiệu trước khi đi vào bù méo tại máy khách được tiền xử lý để sắp xếp lại phân bố dữ liệu và tạo các phiên bản trễ của tín hiệu.

6. Phương pháp bù méo bộ khuếch đại công suất trong các hệ thống viễn thông bằng rộng sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo dựa trên kiến trúc máy chủ - máy khách theo điểm 4, trong đó:

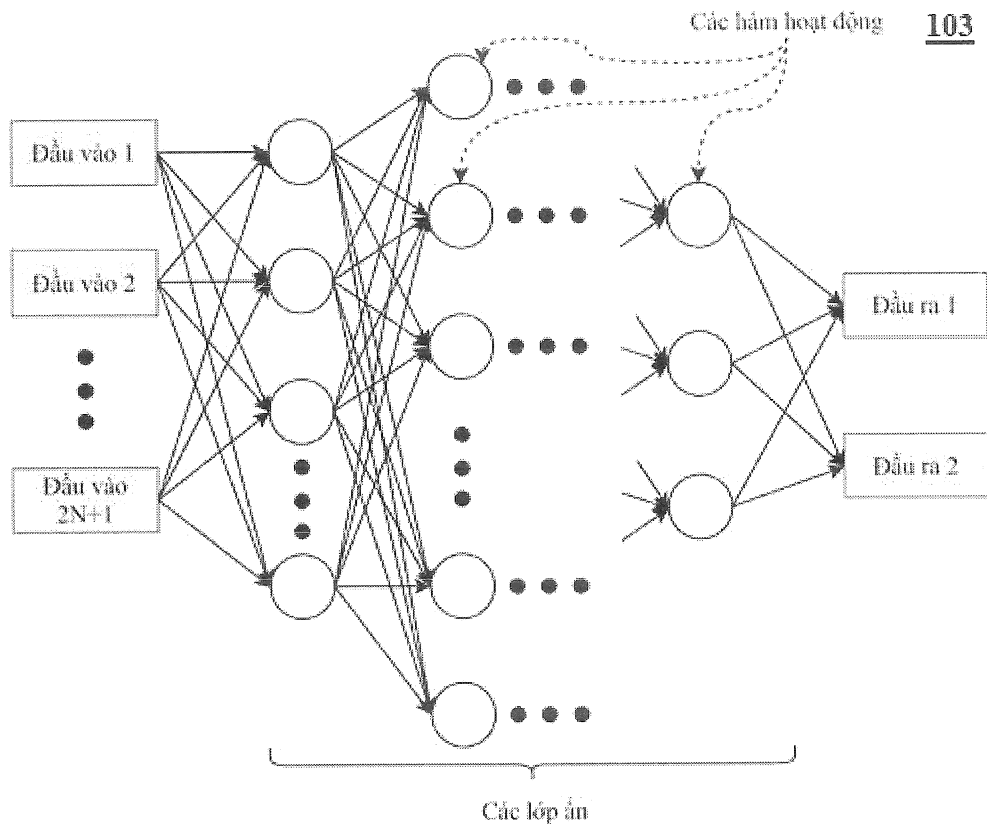
bước 2, bước 3 và bước 4 được lặp đi lặp lại liên tục trong quá trình chạy nhằm đảm bảo hệ thống bù méo luôn luôn được cập nhật bù méo chính xác tương ứng với trạng thái của mạch khuếch đại công suất tại thời điểm chạy.



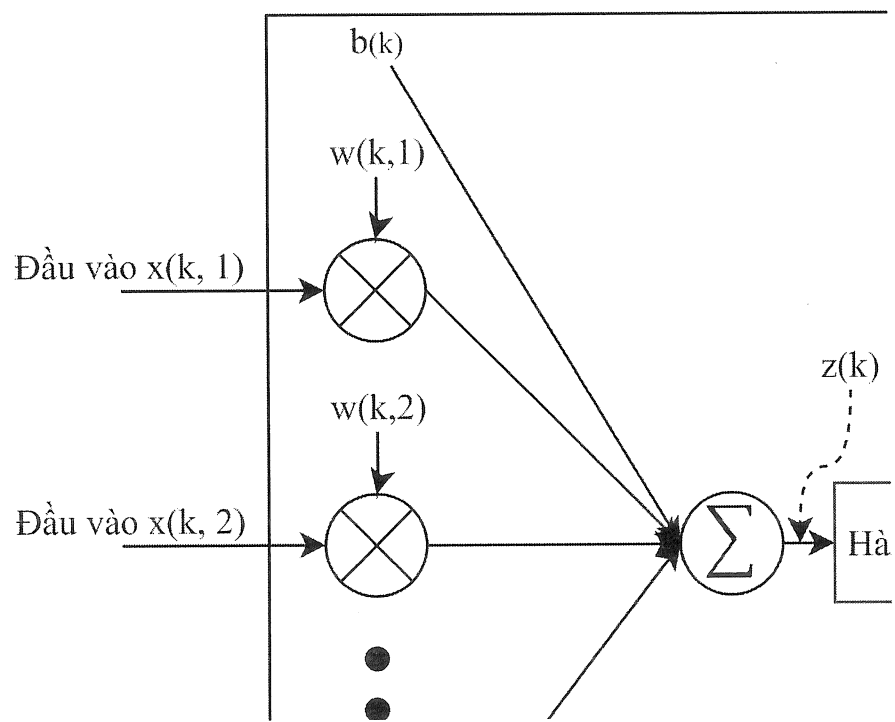
Hình 1



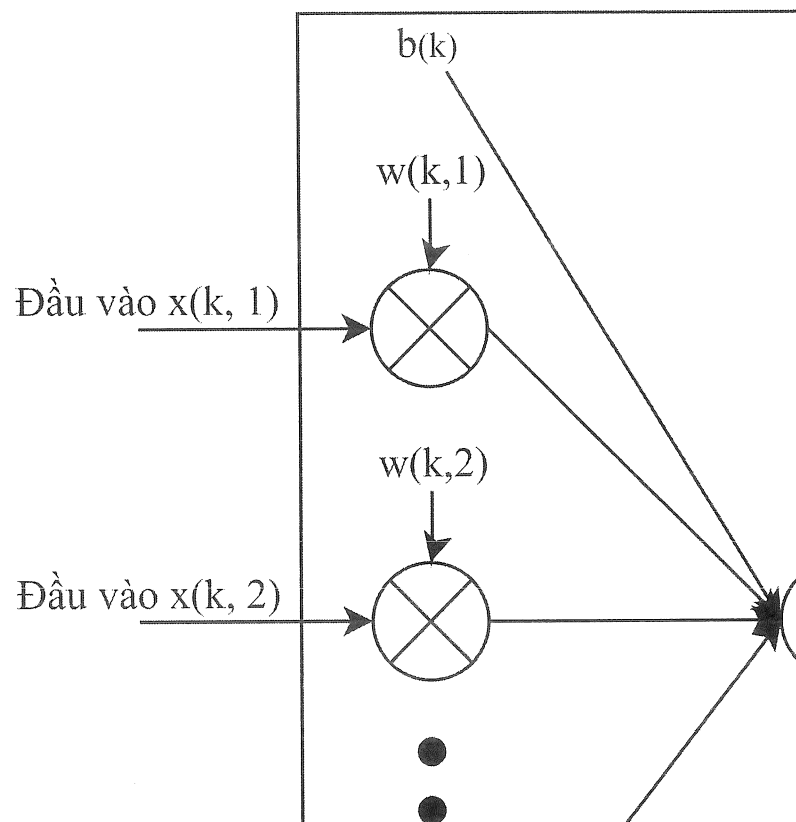
Hình 2



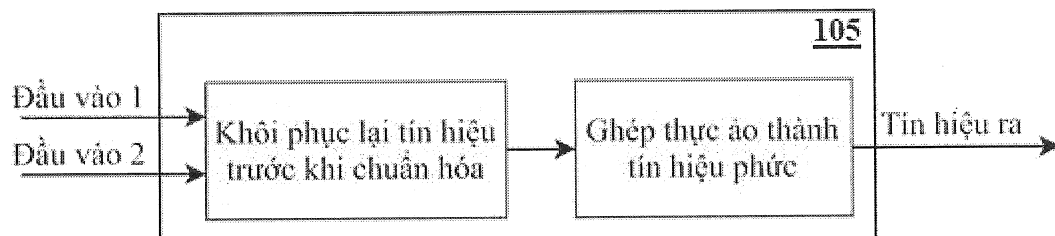
Hình 3



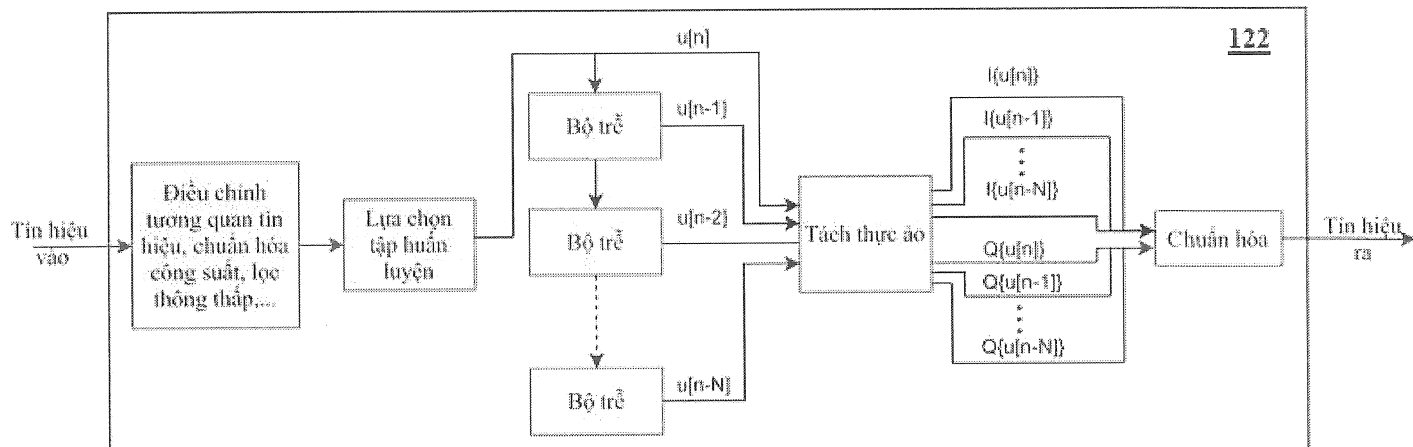
Hình 4



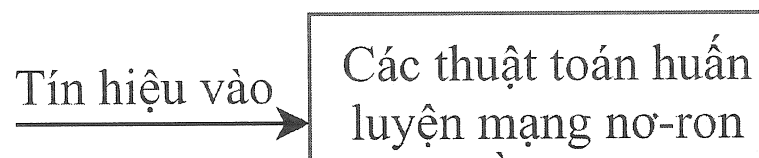
Hình 5



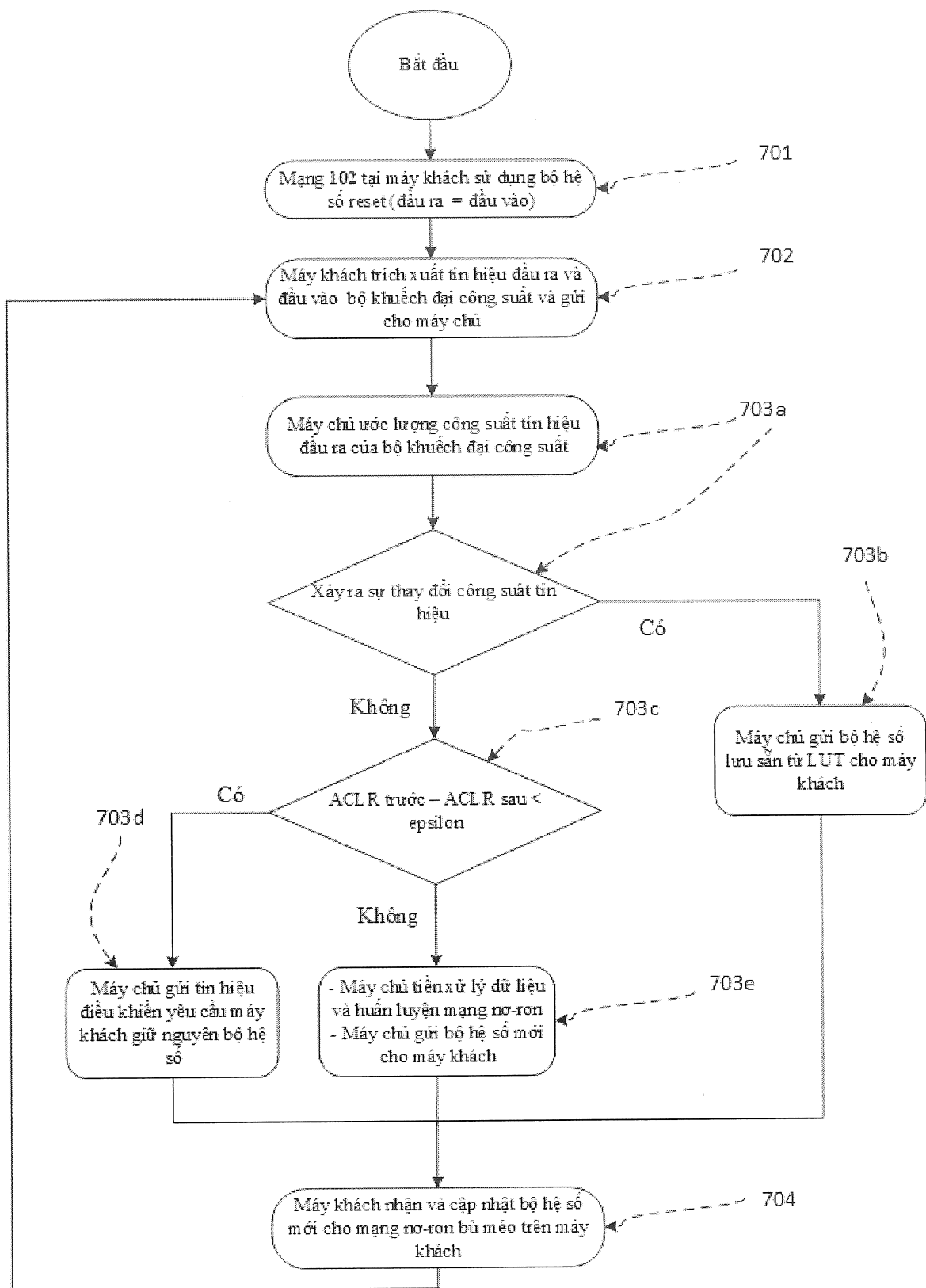
Hình 6



Hình 7



Hình 8



Hình 9