



(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)



1-0043440

(51)^{2020.01} H03M 7/40; H04N 19/13; H03M 7/42

(13) B

(21) 1-2021-07346

(22) 07/01/2021

(86) PCT/US2021/012527 07/01/2021

(87) WO2021/142141 A1 15/07/2021

(30) 62/958,839 09/01/2020 US; 62/958,846 09/01/2020 US; 17/110,691 03/12/2020 US

(45) 25/02/2025 443

(43) 27/06/2022 411A

(73) TENCENT AMERICA LLC (US)

2747 Park Boulevard, Palo Alto, California 94306, United States of America

(72) YEA, Sehoon (KR); WENGER, Stephan (DE); LIU, Shan (US).

(74) Công ty TNHH một thành viên Sở hữu trí tuệ VCCI (VCCI-IP CO.,LTD)

(54) PHƯƠNG PHÁP VÀ THIẾT BỊ MÃ HÓA HỆ SỐ ĐÁM MÂY

(21) 1-2021-07346

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp, thiết bị, và các phương tiện có thể đọc được bằng máy tính để mã hóa hệ số đám mây điểm. Các hệ số biến đổi được kết hợp với dữ liệu đám mây điểm được phân giải thành các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số, giá trị ký tự-chỉ số chỉ định vị trí của hệ số biến đổi trong tập hợp. Các hệ số biến đổi được phân giải được phân vùng thành một hoặc nhiều tập hợp dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số. Các giá trị tập hợp-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng được mã hóa entropy, và các giá trị ký tự-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng được mã hóa đường vòng. Dữ liệu đám mây điểm được nén dựa trên các giá trị ký tự-chỉ số được mã hóa entropy và các giá trị tập hợp-chỉ số được mã hóa đường vòng.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Các phương pháp và thiết bị phù hợp với các phương án đề cập đến kỹ thuật nén đám mây điểm dựa trên đồ thị (graph-based point cloud compression - G-PCC), và cụ thể hơn, đề cập đến phương pháp và thiết bị để mã hóa hệ số đám mây điểm.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các biểu diễn ba chiều (three-dimensional - 3D) tiên tiến của thế giới đang cho phép các hình thức tương tác và giao tiếp nhập tâm hơn, và đồng thời cho phép các máy móc hiểu, diễn giải và điều khiển thế giới của chúng ta. Các đám mây điểm 3D đã nổi lên như sự thể hiện cho phép những thông tin đó. Một số trường hợp sử dụng được kết hợp với dữ liệu đám mây điểm đã được xác định, và các yêu cầu tương ứng đối với biểu diễn và nén đám mây điểm đã được phát triển. Ví dụ, các đám mây điểm có thể được sử dụng trong lái xe tự động để phát hiện và định vị đối tượng. Các đám mây điểm cũng có thể được sử dụng trong các hệ thống thông tin địa lý (geographic information systems - GIS) để lập bản đồ, và được sử dụng trong di sản văn hóa để hình dung và lưu trữ các đối tượng và bộ sưu tập di sản văn hóa

Đám mây điểm là tập hợp các điểm trong không gian 3D, mỗi điểm có các thuộc tính liên quan, ví dụ: màu sắc, các đặc tính vật liệu, v.v. Các đám mây điểm có thể được sử dụng để tái cấu trúc đối tượng hoặc cảnh dưới dạng thành phần của các điểm đó. Chúng có thể được chụp sử dụng nhiều máy ảnh, cảm biến độ sâu hoặc cảm biến Lidar trong các thiết lập khác nhau, và có thể được tạo ra từ hàng nghìn đến hàng tỷ điểm để thể hiện chân thực các cảnh được tái cấu trúc.

Các kỹ thuật nén là cần thiết để giảm lượng dữ liệu để biểu diễn đám mây điểm. Do đó, cần có các kỹ thuật để nén có tổn hao các đám mây điểm để sử dụng trong truyền thông thời gian thực và thực tế ảo sáu bậc tự do (six degrees of freedom - 6DoF). Ngoài ra, kỹ thuật được tìm kiếm cho việc nén đám mây điểm không tổn hao trong bối cảnh ánh xạ động cho các ứng dụng di sản văn hóa và lái xe tự động, v.v. Nhóm các chuyên gia hình ảnh chuyển động (Moving Picture Experts Group - MPEG) đã bắt đầu làm việc trên tiêu chuẩn để giải quyết việc nén hình học và các thuộc tính như các màu sắc và độ phản xạ, mã hóa có thể mở rộng/tăng dần, mã hóa các chuỗi các đám mây điểm được chụp theo thời gian, và truy cập ngẫu nhiên vào các tập hợp con của đám mây điểm.

FIG.1A là sơ đồ minh họa phương pháp tạo ra các mức chi tiết (levels of detail - LoD) trong G-PCC.

Viện dẫn tới FIG.1A, trong mã hóa các thuộc tính G-PCC hiện tại, LoD (tức là nhóm) của mỗi điểm 3D (ví dụ, P0-P9) được tạo ra dựa trên khoảng cách của mỗi điểm 3D, và sau đó các giá trị thuộc tính của các điểm 3D trong mỗi LoD được

mã hóa bằng cách áp dụng dự đoán theo thứ tự 110 dựa trên LoD thay vì thứ tự gốc 105 của các điểm 3D. Ví dụ, giá trị các thuộc tính của điểm 3D P2 được dự đoán bằng cách tính giá trị trung bình có trọng số dựa trên khoảng cách của các điểm 3D P0, P5 và P4 đã được mã hóa hoặc giải mã trước điểm 3D P2.

Phương pháp neo hiện tại trong G-PCC tiến hành như sau.

Đầu tiên, sự biến đổi của vùng lân cận của điểm 3D được tính để kiểm tra xem các giá trị lân cận khác nhau như thế nào, và nếu sự biến đổi thấp hơn ngưỡng, thì việc tính toán dự đoán giá trị trung bình có trọng số dựa trên khoảng cách được tiến hành bằng cách dự đoán các giá trị thuộc tính $(a_i)_{i \in 0 \dots k-1}$, sử dụng quy trình nội suy tuyến tính dựa trên các khoảng cách của các lân cận gần nhất của điểm hiện tại i . Để $\aleph_i$ là tập hợp các lân cận gần k nhất của điểm hiện tại i , để $(\tilde{a}_j)_{j \in \aleph_i}$ là các giá trị thuộc tính được giải mã/tái cấu trúc của chúng và để $(\delta_j)_{j \in \aleph_i}$ là các khoảng cách của chúng tới điểm hiện tại i . Giá trị thuộc tính được dự đoán $\hat{a}_i$ sau đó được đưa ra bởi:

$$\hat{a}_i = \text{Round} \left(\frac{1}{k} \sum_{j \in \aleph_i} \frac{\frac{1}{\delta_j^2}}{\sum_{j \in \aleph_i} \frac{1}{\delta_j^2}} \tilde{a}_j \right). \quad (\text{Công}$$

thức 1)

Lưu ý rằng các vị trí hình học của tất cả các đám mây điểm đã có sẵn khi các thuộc tính được mã hóa. Ngoài ra, các điểm lân cận cùng với các giá trị thuộc tính được tái cấu trúc của chúng có sẵn ở cả bộ mã hóa và bộ giải mã dưới dạng cấu trúc

cây chiều k được sử dụng để tạo điều kiện cho việc tìm kiếm lân cận gần nhất cho mỗi điểm theo cách giống hệt nhau.

Thứ hai, nếu sự biến đổi cao hơn ngưỡng, sự lựa chọn bộ dự báo được tối ưu hóa biến dạng tỷ lệ (rate-distortion optimized - RDO) sẽ được thực hiện. Nhiều ứng viên dự đoán hoặc các giá trị được dự đoán ứng viên được tạo ra dựa trên kết quả của việc tìm kiếm điểm lân cận trong việc tạo ra LoD. Ví dụ, khi giá trị các thuộc tính của điểm 3D P2 được mã hóa bằng cách sử dụng dự đoán, giá trị trung bình có trọng số của các khoảng cách từ điểm 3D P2 đến lần lượt các điểm 3D P0, P5 và P4 được đặt thành chỉ số dự đoán bằng 0.

Sau đó, khoảng cách từ điểm 3D P2 đến điểm lân cận gần nhất P4 được đặt thành chỉ số dự đoán bằng 1. Hơn nữa, các khoảng cách từ điểm 3D P2 tới lần lượt các điểm lân cận gần nhất tiếp theo P5 và P0 được đặt thành các chỉ số dự đoán bằng 2 và 3, như được thể hiện trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1: Mẫu ứng viên dự đoán cho mã hóa thuộc tính

Chỉ số dự đoán	Giá trị được dự đoán
0	trung bình
1	P4 (điểm gần nhất thứ nhất)
2	P5 (điểm gần nhất thứ hai)
3	P0 (điểm gần nhất thứ ba)

Sau khi tạo ra các ứng viên dự đoán, bộ dự đoán tốt nhất sẽ được chọn bằng cách áp dụng quy trình tối ưu hóa biến dạng tỷ lệ, và sau đó, chỉ số dự báo được lựa chọn được ánh xạ tới mã đơn phân được cắt ngắn (truncated unary - TU), các thùng trong số đó sẽ được mã hóa theo số học. Lưu ý rằng mã TU ngắn hơn sẽ được phân cho chỉ số dự đoán nhỏ hơn trong Bảng 1.

Số lượng tối đa các ứng viên dự đoán `MaxNumCand` được xác định và được mã hóa thành tiêu đề các thuộc tính. Trong cách thức thực hiện hiện tại, số lượng tối đa các ứng viên dự đoán `MaxNumCand` được đặt bằng `numberOfNearestNeighborsInPrediction + 1` và được sử dụng để mã hóa và giải mã các chỉ số dự đoán với quá trình nhị phân hóa đơn phân được cắt ngắn.

Biến đổi nâng cho mã hóa thuộc tính trong G-PCC xây dựng trên biến đổi dự đoán được mô tả ở trên. Sự khác biệt chính giữa sơ đồ dự đoán và sơ đồ nâng là việc giới thiệu toán tử cập nhật.

FIG.1B là sơ đồ cấu trúc cho quá trình nâng P/U (Dự đoán/Cập nhật) trong G-PCC. Để tạo điều kiện cho các bước dự đoán và cập nhật trong quá trình nâng, người ta phải tách tín hiệu thành hai tập hợp có mối tương quan cao ở mỗi giai đoạn phân giải. Trong sơ đồ nâng trong G-PCC, việc phân tách được thực hiện bằng cách tận dụng cấu trúc LoD trong đó sự tương quan cao đó được dự đoán sẽ có giữa các mức độ và mỗi mức được xây dựng bởi tìm kiếm lân cận gần nhất để tổ chức các đám mây điểm không đồng nhất thành dữ liệu được cấu trúc. Bước phân giải P/U ở mức N dẫn đến tín hiệu chi tiết $D(N-1)$ và tín hiệu xấp xỉ $A(N-1)$, mà tiếp tục được

phân giải thành $D(N-2)$ và $A(N-2)$. Bước này được áp dụng lặp lại cho đến khi tín hiệu xấp xỉ lớp cơ sở $A(1)$ được thu nhận.

Do đó, thay vì tự mã hóa tín hiệu thuộc tính đầu vào bao gồm $LOD(N)$, ..., $LOD(1)$, một tín hiệu cuối cùng lại mã hóa $D(N-1)$, $D(N-2)$, ..., $D(1)$, $A(1)$ trong sơ đồ nâng. Lưu ý rằng ứng dụng các bước P/U hiệu quả thường dẫn đến "các hệ số" dải con hiếm trong $D(N-1)$, ..., $D(1)$, do đó mang lại lợi thế về mã hóa biến đổi.

Hiện tại, dự đoán giá trị trung bình có trọng số dựa trên khoảng cách được mô tả ở trên cho biến đổi dự đoán được sử dụng cho bước dự đoán trong quá trình nâng như phương pháp neo trong G-PCC.

Trong dự đoán và nâng cho mã hóa thuộc tính trong G-PCC, sự khả dụng của các mẫu thuộc tính lân cận là quan trọng đối với hiệu quả nén vì nhiều mẫu thuộc tính lân cận hơn có thể cung cấp dự đoán tốt hơn. Trong trường hợp không có đủ lân cận để dự đoán, hiệu suất nén có thể bị ảnh hưởng.

Loại biến đổi khác cho mã hóa thuộc tính trong G-PCC có thể là Biến đổi phân cấp thích ứng theo vùng (Region Adaptive Hierarchical Transform - RAHT). RAHT và nghịch đảo của nó có thể được thực hiện đối với sự phân cấp được xác định bởi các mã Morton của các vị trí điểm ảnh ba chiều. Mã Morton của các tọa độ nguyên không âm d bit x , y và z có thể là số nguyên không âm $3d$ bit mà có thể được thu nhận bằng cách xen kẽ các bit của x , y và z . Mã Morton $M = morton(x, y, z)$ của các tọa độ nguyên d bit không âm

$$x = \sum_{\ell=1}^d 2^{d-\ell} x_{\ell}, \quad y = \sum_{\ell=1}^d 2^{d-\ell} y_{\ell}, \quad z = \sum_{\ell=1}^d 2^{d-\ell} z_{\ell},$$

(Công thức 2)

trong đó $x_{\ell}, y_{\ell}, z_{\ell} \in \{0,1\}$ có thể là các bit của x, y , và z từ $\ell = 1$ (bậc cao) đến $\ell = d$ (bậc thấp), là số nguyên $3d$ bit không âm

$$M = \sum_{\ell=1}^d 2^{3(d-\ell)} (4x_{\ell} + 2y_{\ell} + z_{\ell}) = \sum_{\ell'=1}^{3d} 2^{3d-\ell'} m_{\ell'}, \quad (\text{Công$$

thức 3)

trong đó $m_{\ell'} \in \{0,1\}$ có thể là các bit của M từ $\ell' = 1$ (bậc cao) đến $\ell' = 3d$ (bậc thấp).

$$\text{prefix}_{\ell'}(M) = \lfloor 2^{-(3d-\ell')} M \rfloor \quad \text{prefix}_{\ell'}(M) = \lfloor 2^{-(3d-\ell')} M \rfloor$$

có thể ký tự tiền tố ℓ' bit của M . m có thể là tiền tố như vậy. Khối ở mức ℓ' có thể được xác định với tiền tố m là tập hợp của tất cả các điểm (x, y, z) mà $m = \text{prefix}_{\ell'}(\text{morton}(x, y, z))$. Hai khối ở mức ℓ' có thể là các khối quan hệ nếu chúng có cùng tiền tố $(\ell' - 1)$ -bit. Sự kết hợp của hai khối quan hệ ở mức ℓ' có thể là khối ở mức $(\ell' - 1)$ được gọi là khối gốc của chúng.

Biến đổi Haar thích ứng theo vùng của chuỗi $A_n, n = 1, \dots, N$, và nghịch đảo của nó, có thể bao gồm trường hợp cơ sở và hàm đệ quy. Đối với trường hợp cơ sở, A_n có thể là thuộc tính của điểm và T_n có thể là biến đổi của nó, trong đó $T_n = A_n$. Đối với hàm đệ quy, có thể có hai khối quan hệ và khối gốc của chúng. $(A_{01}, A_{02}, \dots, A_{0w_0})$ và $(A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1w_1})$ có thể là các thuộc tính của các điểm (x_n, y_n, z_n) trong các khối quan hệ được liệt kê theo thứ tự Morton tăng dần, và

$(T_{01}, T_{02}, \dots, T_{0w_0})$ và $(T_{11}, T_{12}, \dots, T_{1w_1})$ có thể là các biến đổi tương ứng của chúng. Tương tự, $(A_1, A_2, \dots, A_{w_0+w_1})$ có thể là các thuộc tính của tất cả các điểm (x_n, y_n, z_n) trong khối gốc của chúng được liệt kê theo thứ tự Morton tăng dần, và $(T_1, T_2, \dots, T_{w_0+w_1})$ có thể là biến đổi của nó. Sau đó,

$$(T_1, T_2, \dots, T_{w_0}, T_{w_0+1}, T_{w_0+2}, \dots, T_{w_0+w_1}) = (aT_{01} + bT_{11}, T_{02}, \dots, T_{0w_0}, -bT_{01} + aT_{11}, T_{12}, \dots, T_{1w_1}), \quad (\text{Công}$$

thức 4)

$$(T_{01}, T_{02}, \dots, T_{0w_0}) = (aT_1 - bT_{w_0+1}, T_2, \dots, T_{w_0}), \quad (\text{Công}$$

thức 5)

và

$$(T_{11}, T_{12}, \dots, T_{1w_1}) = (bT_1 + aT_{w_0+1}, T_{w_0+2}, \dots, T_{w_0+w_1}), \quad (\text{Công}$$

thức 6)

trong

đó

$$a = \sqrt{\frac{w_0}{w_0+w_1}} \text{ và } b = \sqrt{\frac{w_1}{w_0+w_1}}. \quad (\text{Công thức 7})$$

Biến đổi của khối gốc có thể là sự ghép nối của hai khối quan hệ, ngoại trừ là các thành phần (DC) thứ nhất của các biến đổi của hai khối quan hệ có thể được thay thế bằng tổng và hiệu số trọng số của chúng, và ngược lại là các biến đổi của hai khối quan hệ có thể được sao chép từ phần thứ nhất và phần cuối cùng của biến đổi

của khối gốc, ngoại trừ là các thành phần DC của các biến đổi của hai khối quan hệ có thể được thay thế bằng hiệu số và tổng trọng số của chúng.

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_{w_0+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ -b & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{01} \\ T_{11} \end{bmatrix} \quad (\text{Công}$$

thức 8)

và

$$\begin{bmatrix} T_{01} \\ T_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_{w_0+1} \end{bmatrix}. \quad (\text{Công}$$

thức 9)

Để mã hóa hiệu quả các hệ số thuộc tính đã biến đổi, bảng tra cứu thích ứng (adaptive look up table - A-LUT) có thể theo dõi N (ví dụ, 32) ký tự hệ số thường xuyên nhất và bộ nhớ đệm mà có thể theo dõi M (ví dụ, 16) ký tự hệ số được quan sát khác nhau cuối cùng có thể được sử dụng. A-LUT có thể được khởi tạo bằng N ký tự được cung cấp bởi người dùng hoặc được tính ngoại tuyến dựa trên các số liệu thống kê của lớp các đám mây điểm tương tự. Bộ nhớ đệm có thể được khởi tạo bằng M ký tự được cung cấp bởi người dùng hoặc được tính ngoại tuyến dựa trên các số liệu thống kê của lớp các đám mây điểm tương tự. Khi ký tự S được mã hóa, thông tin nhị phân chỉ báo liệu S có phải là A-LUT hay không có thể được mã hóa. Nếu S nằm trong A-LUT, chỉ số của S trong A-LUT có thể được mã hóa bằng cách sử dụng bộ mã hóa số học nhị phân. Số lần xuất hiện của ký tự S trong A-LUT có thể tăng lên một. Nếu S không phải là A-LUT, thông tin nhị phân chỉ báo liệu S có trong bộ nhớ đệm hay không có thể được mã hóa. Nếu S nằm trong bộ nhớ đệm, thì biểu diễn nhị

phân của chỉ số của nó có thể được mã hóa bằng cách sử dụng bộ mã hóa số học nhị phân. Nếu S không có trong bộ nhớ đệm, thì biểu diễn nhị phân của S có thể được mã hóa bằng cách sử dụng bộ mã hóa số học nhị phân. Ký tự S có thể được bổ sung vào bộ nhớ đệm và ký tự cũ nhất trong bộ nhớ đệm bị loại bỏ

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Theo các phương án của sáng chế, phương pháp mã hóa hệ số đám mây điểm được thực hiện bởi ít nhất một bộ xử lý và bao gồm phân giải các hệ số biến đổi được liên kết với dữ liệu đám mây điểm thành các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số, giá trị ký tự chỉ số chỉ định vị trí của hệ số biến đổi trong tập hợp. Các hệ số biến đổi được phân giải có thể được phân vùng thành một hoặc nhiều tập hợp dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số. Các giá trị tập hợp-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng có thể được mã hóa entropy, và các giá trị ký tự-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng có thể được mã hóa đường vòng. Dữ liệu đám mây điểm có thể được nén dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số được mã hóa entropy và các giá trị chỉ số-ký tự được mã hóa đường vòng.

Theo các phương án của sáng chế, thiết bị để mã hóa hệ số đám mây điểm bao gồm ít nhất một bộ nhớ được cấu hình để lưu trữ mã chương trình máy tính, và ít nhất một bộ xử lý được cấu hình để truy cập vào ít nhất một bộ nhớ và hoạt động theo mã chương trình máy tính. Mã chương trình máy tính bao gồm mã được cấu hình để khiến ít nhất một bộ xử lý thực hiện phương pháp mà có thể bao gồm phân giải các

hệ số biến đổi được liên kết với dữ liệu đám mây điểm thành các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số, giá trị ký tự-chỉ số chỉ định vị trí của hệ số biến đổi trong tập hợp. Các hệ số biến đổi được phân giải có thể được phân vùng thành một hoặc nhiều tập hợp dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số. Các giá trị tập hợp-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng có thể được mã hóa entropy, và các giá trị ký tự-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng có thể được mã hóa đường vòng. Dữ liệu đám mây điểm có thể được nén dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số được mã hóa entropy và các giá trị ký tự-chỉ số được mã hóa đường vòng.

Theo các phương án của sáng chế, các phương tiện lưu trữ bất biến có thể đọc được bằng máy tính lưu trữ các lệnh mà khiến ít nhất một bộ xử lý phân giải các hệ số biến đổi được liên kết với dữ liệu đám mây điểm thành các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số, giá trị ký tự-chỉ số chỉ định vị trí của hệ số biến đổi trong tập hợp. Các hệ số biến đổi được phân giải có thể được phân vùng thành một hoặc nhiều tập hợp dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số. Các giá trị ký tự-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng có thể được mã hóa entropy, và các giá trị ký tự-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng có thể được mã hóa đường vòng. Dữ liệu đám mây điểm có thể được nén dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số được mã hóa entropy và các giá trị ký tự-chỉ số được mã hóa đường vòng.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

FIG.1A là sơ đồ minh họa phương pháp tạo ra LoD trong G-PCC.

FIG.1B là sơ đồ kiến trúc cho quá trình nâng P/U trong G-PCC.

FIG.2 là sơ đồ khối của hệ thống truyền thông theo các phương án.

FIG.3 là sơ đồ vị trí của bộ nén G-PCC và bộ giải nén G-PCC trong môi trường, theo các phương án.

FIG.4 là sơ đồ khối chức năng của bộ nén G-PCC theo các phương án.

FIG.5 là sơ đồ khối chức năng của bộ giải nén G-PCC theo các phương án.

FIG.6 là lưu đồ minh họa phương pháp mã hóa hệ số đám mây điểm, theo các phương án.

FIG.7 là sơ đồ khối của thiết bị mã hóa hệ số đám mây điểm, theo các phương án.

FIG.8 là sơ đồ của hệ thống máy tính phù hợp cho việc triển khai các phương án.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương án được mô tả ở đây cung cấp phương pháp và thiết bị để mã hóa hệ số đám mây điểm. Cụ thể, việc mã hóa các hệ số biến đổi từ việc Nâng, Dự đoán-Biến đổi, và RAHT có thể được thực hiện bằng cách mã hóa chỉ số bảng tra cứu được sắp xếp theo tần số, mã hóa bộ nhớ đệm-chỉ số, và mã hóa trực tiếp giá trị ký tự. Trong thực tế, chúng có thể yêu cầu nhiều bảng tra cứu và bộ nhớ đệm với nhiều mục nhập (thường là 32 đến có thể lên đến 256) để bao gồm các từ mã một byte. Các bảng tra cứu và bộ nhớ đệm này có thể cần thêm các cập nhật thường xuyên, tần suất của

chúng có thể ngụ ý các sự cân bằng khác nhau về yêu cầu tính toán và hiệu quả mã hóa. Nó có thể có lợi, do đó, để cải thiện việc mã hóa các hệ số biến đổi cho các thuộc tính trong G-PCC về độ phức tạp/bộ nhớ và các sự cân bằng hiệu quả nén thông qua phân vùng theo bảng chữ cái và mã hóa thông tin phân vùng theo bảng chữ cái.

FIG.2 là sơ đồ khối của hệ thống truyền thông 200 theo các phương án. Hệ thống truyền thông 200 có thể bao gồm ít nhất hai thiết bị đầu cuối 210 và 220 được kết nối qua mạng 250. Để truyền dữ liệu một chiều, thiết bị đầu cuối thứ nhất 210 có thể mã hóa dữ liệu đám mây điểm tại vị trí cục bộ để truyền đến thiết bị đầu cuối thứ hai 220 qua mạng 250. Thiết bị đầu cuối thứ hai 220 có thể thu nhận dữ liệu đám mây điểm được mã hóa của thiết bị đầu cuối thứ nhất 210 từ mạng 250, giải mã dữ liệu đám mây điểm được mã hóa và hiển thị dữ liệu đám mây điểm được giải mã. Truyền dữ liệu một chiều có thể phổ biến trong các ứng dụng phục vụ phương tiện truyền thông và các ứng dụng tương tự.

FIG.2 minh họa thêm cặp thiết bị đầu cuối thứ hai 230 và 240 được cung cấp để hỗ trợ truyền hai chiều dữ liệu đám mây điểm được mã hóa mà có thể xảy ra, ví dụ như, trong hội nghị video. Để truyền dữ liệu hai chiều, mỗi thiết bị đầu cuối 230 hoặc 240 có thể mã hóa dữ liệu đám mây điểm được chụp tại vị trí cục bộ để truyền đến thiết bị đầu cuối kia qua mạng 250. Mỗi thiết bị đầu cuối 230 hoặc 240 cũng có thể thu nhận dữ liệu đám mây điểm được mã hóa được truyền tải bởi thiết bị đầu cuối kia, có thể giải mã dữ liệu đám mây điểm được mã hóa và có thể hiển thị dữ liệu đám mây điểm được giải mã tại thiết bị hiển thị cục bộ.

Trong FIG.2, các thiết bị đầu cuối 210-240 có thể được minh họa như các máy chủ, máy tính cá nhân và điện thoại thông minh, nhưng các nguyên tắc của các phương án không bị giới hạn đến vậy. Các phương án tìm ứng dụng với máy tính xách tay, máy tính bảng, máy nghe nhạc và/hoặc thiết bị hội nghị video chuyên dụng. Mạng 250 đại diện cho bất kỳ các mạng nào truyền tải dữ liệu đám mây điểm được mã hóa giữa các thiết bị đầu cuối 210-240, bao gồm ví dụ mạng truyền thông có dây và/hoặc không dây. Mạng truyền thông 250 có thể trao đổi dữ liệu trong các kênh chuyển mạch và/hoặc chuyển mạch gói. Các mạng đại diện bao gồm các mạng viễn thông, mạng cục bộ, mạng diện rộng và/hoặc mạng Internet. Đối với các mục đích của cuộc thảo luận này, kiến trúc và cấu trúc liên kết của mạng 250 có thể phi vật chất đối với hoạt động của các phương án trừ khi được giải thích ở đây dưới đây.

FIG.3 là sơ đồ vị trí của bộ nén G-PCC 303 và bộ giải nén G-PCC 310 trong môi trường, theo các phương án. Đối tượng được tiết lộ có thể được áp dụng tương tự cho các ứng dụng hỗ trợ đám mây điểm khác, bao gồm, ví dụ, hội nghị video, TV kỹ thuật số, lưu trữ dữ liệu đám mây điểm nén trên các phương tiện kỹ thuật số bao gồm CD, DVD, thẻ nhớ, và tương tự, v.v.

Hệ thống phát trực tuyến 300 có thể bao gồm hệ thống con chụp 313 mà có thể bao gồm nguồn đám mây điểm 301, ví dụ như máy ảnh kỹ thuật số, tạo ra, ví dụ, dữ liệu đám mây điểm không nén 302. Dữ liệu đám mây điểm 302 có khối lượng dữ liệu cao hơn có thể được xử lý bởi bộ nén G-PCC 303 được kết hợp với nguồn đám mây điểm 301. Bộ nén G-PCC 303 có thể bao gồm phần cứng, phần mềm hoặc sự kết

hợp của chúng để kích hoạt hoặc triển khai các khía cạnh của đối tượng được tiết lộ như được mô tả chi tiết hơn bên dưới. Dữ liệu đám mây điểm được mã hóa 304 có khối lượng dữ liệu thấp hơn có thể được lưu trữ trên máy chủ phát trực tuyến 305 để sử dụng trong tương lai. Một hoặc nhiều máy khách phát trực tuyến 306 và 308 có thể truy cập vào máy chủ phát trực tuyến 305 để truy xuất các bản sao 307 và 309 của dữ liệu đám mây điểm được mã hóa 304. Máy khách 306 có thể bao gồm bộ giải nén G-PCC 310, mà giải mã bản sao đến 307 của dữ liệu đám mây điểm được mã hóa và tạo ra dữ liệu đám mây điểm gửi đi 311 mà có thể được kết xuất trên màn hình 312 hoặc các thiết bị kết xuất khác (không được mô tả). Trong một số hệ thống phát trực tuyến, dữ liệu đám mây điểm được mã hóa 304, 307 và 309 có thể được mã hóa theo các tiêu chuẩn mã hóa/nén video. Các ví dụ về những tiêu chuẩn đó bao gồm những tiêu chuẩn đang được phát triển bởi MPEG cho G-PCC.

FIG.4 là sơ đồ khối chức năng của bộ nén G-PCC 303 theo các phương án.

Như được thể hiện trên FIG.4, bộ nén G-PCC 303 bao gồm bộ lượng tử hóa 405, môđun loại bỏ các điểm 410, bộ mã hóa cây bát phân 415, môđun truyền tải các thuộc tính 420, bộ tạo LoD 425, môđun dự đoán 430, bộ lượng tử hóa 435 và bộ mã hóa số học 440.

Bộ lượng tử hóa 405 nhận các vị trí của các điểm trong đám mây điểm đầu vào. Các vị trí có thể là (x, y, z) - các tọa độ. Bộ lượng tử hóa 405 tiếp tục lượng

tử hóa các vị trí được thu nhận, sử dụng, ví dụ, thuật toán chia tỷ lệ và/hoặc thuật toán dịch.

Môđun loại bỏ các điểm 410 nhận các vị trí được lượng tử hóa từ bộ lượng tử hóa 405, và loại bỏ hoặc lọc ra các vị trí trùng lặp từ các vị trí được lượng tử hóa thu nhận được.

Bộ mã hóa cây bát phân 415 nhận các vị trí được lọc từ môđun loại bỏ các điểm 410, và mã hóa các vị trí được lọc thu nhận được thành các ký tự chiếm giữ của cây bát phân đại diện cho đám mây điểm đầu vào, sử dụng thuật toán mã hóa cây bát phân. Hộp giới hạn của đám mây điểm đầu vào tương ứng với cây bát phân có thể là bất kỳ hình dạng 3D nào, ví dụ như khối lập phương.

Bộ mã hóa cây bát phân 415 tiếp tục sắp xếp lại các vị trí được lọc thu nhận được, dựa trên việc mã hóa của các vị trí được lọc.

Môđun truyền tải các thuộc tính 420 nhận các thuộc tính của các điểm trong đám mây điểm đầu vào. Các thuộc tính có thể bao gồm, ví dụ, màu hoặc giá trị RGB và/hoặc hệ số phản xạ của mỗi điểm. Môđun truyền tải các thuộc tính 420 tiếp tục nhận các vị trí được sắp xếp lại từ bộ mã hóa cây bát phân 415.

Môđun truyền tải các thuộc tính 420 cập nhật thêm các thuộc tính đã nhận, dựa trên các vị trí được sắp xếp lại nhận được. Ví dụ, môđun truyền tải các thuộc tính 420 có thể thực hiện một hoặc nhiều trong số các thuật toán tiền xử lý trên các thuộc tính đã nhận, các thuật toán tiền xử lý bao gồm, ví dụ, cân và tính trung bình

các thuộc tính đã nhận và nội suy của các thuộc tính bổ sung từ các thuộc tính đã nhận. Môđun truyền tải các thuộc tính 420 tiếp tục truyền tải các thuộc tính được cập nhật sang môđun dự đoán 430.

Bộ tạo LoD 425 nhận các vị trí được sắp xếp lại từ bộ mã hóa cây bát phân 415, và thu nhận LoD của mỗi điểm tương ứng với các vị trí được sắp xếp lại đã nhận. Mỗi LoD có thể được cân nhắc là nhóm các điểm, và có thể được thu nhận dựa trên khoảng cách của mỗi điểm. Ví dụ, như được thể hiện trên FIG.1A, các điểm P0, P5, P4 và P2 có thể nằm trong LoD LOD0, các điểm P0, P5, P4, P2, P1, P6 và P3 có thể nằm trong LoD LOD1, và các điểm P0, P5, P4, P2, P1, P6, P3, P9, P8 và P7 có thể nằm trong LoD LOD2.

Môđun dự đoán 430 nhận các thuộc tính được truyền tải từ môđun truyền tải các thuộc tính 420, và nhận LoD thu nhận được của mỗi điểm từ bộ tạo LoD 425. Môđun dự đoán 430 thu nhận các dư lượng dự đoán (các giá trị) tương ứng của các thuộc tính đã nhận bằng cách áp dụng thuật toán dự đoán cho các thuộc tính đã nhận theo thứ tự dựa trên LoD nhận được của mỗi điểm. Thuật toán dự đoán có thể bao gồm bất kỳ thuật toán dự đoán nào trong số các thuật toán dự đoán khác nhau, chẳng hạn như thuật toán nội suy, tính giá trị trung bình có trọng số, thuật toán lân cận gần nhất và RDO.

Ví dụ, như được thể hiện trên FIG.1A, các dư lượng dự đoán tương ứng của các thuộc tính đã nhận của các điểm P0, P5, P4 và P2 được bao gồm trong LoD LOD0 có thể được thu nhận đầu tiên trước phần của các thuộc tính đã nhận của các

điểm P1, P6, P3, P9, P8 và P7 được lần lượt bao gồm trong các LoD LOD1 và LOD2. Các dư lượng dự đoán của các thuộc tính đã nhận của điểm P2 có thể được thu nhận bằng cách tính khoảng cách dựa trên giá trị trung bình có trọng số của các điểm P0, P5 và P4.

Bộ lượng tử hóa 435 nhận các dư lượng dự đoán thu nhận được từ môđun dự đoán 430, và lượng tử hóa các dư lượng được dự đoán đã nhận, sử dụng, ví dụ, thuật toán chia tỷ lệ và/hoặc thuật toán dịch.

Bộ mã hóa số học 440 nhận các ký tự chiếm giữ từ bộ mã hóa cây bát phân 415, và nhận các dư lượng dự đoán được lượng tử hóa từ bộ lượng tử hóa 435. Bộ mã hóa số học 440 thực hiện mã hóa số học trên các ký tự chiếm giữ đã nhận và các dư lượng dự đoán được lượng tử hóa để thu nhận dòng bit nén. Mã hóa số học có thể bao gồm bất kỳ thuật toán mã hóa entropy nào trong số các thuật toán mã hóa entropy khác nhau, chẳng hạn như mã hóa số học nhị phân thích ứng theo ngữ cảnh.

FIG.5 là sơ đồ khối chức năng của bộ giải nén G-PCC 310 theo các phương án.

Như được thể hiện trên FIG.5, bộ giải nén G-PCC 310 bao gồm bộ giải mã số học 505, bộ giải mã cây bát phân 510, bộ lượng tử hóa nghịch đảo 515, bộ tạo LoD 520, bộ lượng tử hóa nghịch đảo 525 và môđun dự đoán nghịch đảo 530.

Bộ giải mã số học 505 nhận dòng bit nén từ bộ nén G-PCC 303, và thực hiện giải mã số học trên dòng bit nén đã nhận để thu nhận các ký tự chiếm giữ và các

lượng dự đoán được lượng tử hóa. Giải mã số học có thể bao gồm bất kỳ thuật toán giải mã entropy nào trong số các thuật toán giải mã entropy khác nhau, chẳng hạn như giải mã số học nhị phân thích ứng theo ngữ cảnh.

Bộ giải mã cây bát phân 510 nhận các ký tự chiếm giữ thu nhận được từ bộ giải mã số học 505, và giải mã các ký tự chiếm giữ nhận được vào các vị trí được lượng tử hóa, sử dụng thuật toán giải mã cây bát phân.

Bộ lượng tử hóa nghịch đảo 515 nhận các vị trí được lượng tử hóa từ bộ giải mã cây bát phân 510, và lượng tử hóa nghịch đảo các vị trí được lượng tử hóa nhận được, ví dụ, sử dụng thuật toán chia tỷ lệ và/hoặc thuật toán dịch, để thu nhận các vị trí được tái cấu trúc của các điểm trong đám mây điểm đầu vào.

Bộ tạo LoD 520 nhận các vị trí được lượng tử hóa từ bộ giải mã cây bát phân 510, và thu nhận LoD của mỗi điểm tương ứng với các vị trí được lượng tử hóa nhận được.

Bộ lượng tử hóa nghịch đảo 525 nhận các dự đoán được lượng tử hóa thu nhận được, và lượng tử hóa nghịch đảo các dự đoán được lượng tử hóa nhận được, sử dụng, ví dụ, thuật toán chia tỷ lệ và/hoặc thuật toán dịch, để thu nhận các dự đoán được tái cấu trúc.

Môđun dự đoán nghịch đảo 530 nhận các dự đoán được tái cấu trúc thu nhận được từ bộ lượng tử hóa nghịch đảo 525, và nhận LoD được thu nhận của mỗi điểm từ bộ tạo LoD 520. Môđun dự đoán nghịch đảo 530 lần lượt thu nhận

các thuộc tính được tái cấu trúc của các dữ liệu dự đoán được tái cấu trúc nhận được bằng cách áp dụng thuật toán dự đoán cho các dữ liệu dự đoán được tái cấu trúc nhận được theo thứ tự dựa trên LoD nhận được của mỗi điểm. Thuật toán dự đoán có thể bao gồm bất kỳ thuật toán dự đoán nào trong số các thuật toán dự đoán khác nhau, chẳng hạn như nội suy, tính giá trị trung bình có trọng số, thuật toán lân cận gần nhất và RDO. Các thuộc tính được tái cấu trúc là của các điểm trong đám mây điểm đầu vào.

Phương pháp và thiết bị cho mã hóa hệ số đám mây điểm giờ sẽ được mô tả chi tiết. Phương pháp và thiết bị như vậy có thể được triển khai trong bộ nén G-PCC 303 được mô tả ở trên, cụ thể là mô đun dự đoán 430. Phương pháp và thiết bị cũng có thể được triển khai trong bộ giải nén G-PCC 310, cụ thể là mô đun dự đoán nghịch đảo 530.

Phân vùng theo bảng chữ cái của các hệ số biến đổi

Các hệ số được biến đổi hoặc các phần 8 bit của chúng có thể được mã hóa bằng cách sử dụng các bảng tra cứu (ví dụ, A-LUT được mô tả ở trên) hoặc mã hóa đường vòng với 256 ký tự. Giá trị hệ số 8 bit có thể được phân giải thành tập hợp-chỉ số và ký tự-chỉ số bên trong tập hợp mà có thể chỉ định vị trí chính xác của giá trị hệ số trong tập hợp. Ví dụ, các giá trị chỉ số có thể tương ứng với các vị trí trong các bảng tra cứu hoặc trong bộ nhớ đệm. 256 giá trị hệ số khả năng có thể được nhóm thành N tập hợp như được mô tả trong Bảng 2 dưới đây.

Bảng 2. Ví dụ phân vùng theo bảng chữ cái các giá trị hệ số

tập hợp-chỉ số	hệ số-khoảng giá trị	ký tự-độ dài bit chỉ số
0	[1]	0
1	[2]	0
2	[3]	0
3	[4,5]	1
4	[6,7]	1
5	[8,11]	2
⋮	⋮	⋮
N-1	[240,255]	4

Trong một hoặc nhiều phương án, việc huấn luyện ngoại tuyến có thể được tiến hành để thiết kế việc phân vùng của các giá trị hệ số với số lượng phân vùng (N). Các giá trị giới hạn phân vùng theo bảng chữ cái có thể được báo hiệu một cách rõ ràng. Ngoài ra, chỉ số có thể được báo hiệu để chỉ ra phân vùng theo bảng chữ cái cụ thể với các giá trị giới hạn liên quan với nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được chia sẻ giữa bộ mã hóa và bộ giải mã. Có thể đánh giá cao rằng phân vùng có thể được thiết kế để các ký tự thường xuyên hơn thuộc về các tập hợp có các chỉ số thấp hơn và các kích thước nhỏ hơn, và ngược lại, để cải thiện hiệu quả mã hóa.

Trong một hoặc nhiều phương án, bộ nhớ đệm hoặc LUT dựa trên phân loại tần số có thể được sử dụng để theo dõi các tần số của các giá trị hệ số theo thứ tự

giảm dần. Khi tạo phân vùng theo bảng chữ cái, các tập hợp-chỉ số thấp hơn có thể được chỉ định cho các giá trị hệ số thường xuyên hơn bằng cách sử dụng các chỉ số trong bộ nhớ đệm hoặc LUT nói trên thay vì chính các giá trị hệ số, và ngược lại. Quá trình này có thể được thực hiện nhanh chóng ở cả bộ mã hóa và bộ giải mã.

Mã hóa thông tin phân vùng theo bảng chữ cái

Các tập hợp-chỉ số được dẫn xuất có thể được mã hóa entropy theo nhiều cách khác nhau trong khi các ký tự-chỉ số đi kèm có thể đơn giản được mã hóa đường vòng khi sự phân bố ký tự bên trong tập hợp có thể sẽ được đồng nhất một cách hợp lý.

Trong một hoặc nhiều phương án, các tập hợp-chỉ số được dẫn xuất được mã hóa bằng mã số học đa ký tự hoặc các loại mã hóa số học nhị phân dựa trên ngữ cảnh khác. Phân vùng theo bảng chữ cái khác nhau có thể được sử dụng để tận dụng tốt hơn các đặc điểm khác nhau của các hệ số.

Trong một hoặc nhiều phương án, phân vùng theo bảng chữ cái khác nhau có thể được sử dụng cho các lớp các hệ số nâng/dự đoán ở mức độ chi tiết (level-of-detail - LOD) khác nhau vì các lớp LOD cao hơn có thể có các hệ số nhỏ hơn do sự phân giải nâng/dự đoán.

Trong một hoặc nhiều phương án, phân vùng theo bảng chữ cái khác nhau có thể được sử dụng cho các tham số lượng tử hóa (quantization parameter - QP)

khác nhau vì QP cao hơn có xu hướng dẫn đến các hệ số được lượng tử hóa nhỏ hơn và ngược lại.

Trong một hoặc nhiều phương án, phân vùng theo bảng chữ cái khác nhau có thể được sử dụng cho các lớp khác nhau về mang tính biến đổi tỷ lệ dạng hạt cho mã hóa có thể mở rộng SNR như các lớp nâng cao (tức là các lớp được bổ sung vào để tinh chỉnh tín hiệu được tái cấu trúc thành mức QP nhỏ hơn) có thể có bản chất nhiều âm hơn hoặc ngẫu nhiên về mặt tương quan giữa các hệ số.

Trong một hoặc nhiều phương án, phân vùng theo bảng chữ cái khác nhau có thể được sử dụng tùy thuộc vào các giá trị hoặc hàm của các giá trị của các mẫu được tái cấu trúc từ các vị trí tương ứng trong các lớp mức lượng tử hóa thấp hơn trong trường hợp mã hóa có thể mở rộng SNR. Ví dụ, có thể là các khu vực có các giá trị được tái cấu trúc bằng 0 hoặc rất nhỏ trong các lớp thấp hơn có thể có các đặc điểm hệ số khác với các khu vực có xu hướng ngược lại.

Trong một hoặc nhiều phương án, phân vùng theo bảng chữ cái khác nhau có thể được sử dụng tùy thuộc vào các giá trị hoặc hàm của các giá trị của các mẫu được tái cấu trúc từ các vị trí tương ứng trong LOD thấp hơn ở cùng mức lượng tử hóa. Các mẫu này từ các vị trí tương ứng có thể có sẵn dưới dạng kết quả của việc tìm kiếm vùng lân cận gần nhất trong tòa nhà LOD trong GPCC. Có thể đánh giá cao rằng các mẫu này có thể có sẵn tại bộ giải mã cũng như là kết quả của việc tái cấu trúc từng LOD trong các kỹ thuật biến đổi trong G-PCC.

FIG.6 là lưu đồ minh họa phương pháp 600 của mã hóa hệ số đám mây điểm, theo các phương án. Trong một số cách thức thực hiện, một hoặc nhiều khối quy trình của FIG.6 có thể được thực hiện bởi bộ giải nén G-PCC 310. Trong một số cách thức thực hiện, một hoặc nhiều khối quy trình của FIG.6 có thể được thực hiện bởi thiết bị khác hoặc nhóm các thiết bị tách biệt với hoặc bao gồm bộ giải nén G-PCC 310, chẳng hạn như bộ nén G-PCC 303.

Viện dẫn tới FIG.6, trong khối thứ nhất 610, phương pháp 600 bao gồm phân giải các hệ số biến đổi được liên kết với dữ liệu đám mây điểm thành các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số, giá trị ký tự-chỉ số chỉ định các vị trí của các hệ số biến đổi trong tập hợp.

Trong khối thứ hai 620, phương pháp 600 bao gồm việc phân chia các hệ số biến đổi được phân giải thành một hoặc nhiều tập hợp dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số.

Trong khối thứ ba 630, phương pháp 600 bao gồm mã hóa entropy các giá trị tập hợp-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng.

Trong khối thứ tư 640, phương pháp 600 bao gồm mã hóa đường vòng các giá trị ký tự-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng.

Trong khối thứ năm 650, phương pháp 600 bao gồm việc nén dữ liệu đám mây điểm dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số được mã hóa entropy và các giá trị ký tự-chỉ số được mã hóa đường vòng.

Mặc dù FIG.6 thể hiện các khối mẫu của phương pháp 600, trong một số cách thức thực hiện, phương pháp 600 có thể bao gồm các khối bổ sung, ít khối hơn, các khối khác nhau, hoặc các khối được sắp xếp khác với các khối được mô tả trên FIG.6. Ngoài ra, hoặc theo cách khác, hai hoặc nhiều khối của phương pháp 600 có thể được thực hiện song song.

Hơn nữa, các phương pháp được đề xuất có thể được triển khai bằng sơ đồ mạch điện xử lý (ví dụ, một hoặc nhiều bộ xử lý hoặc một hoặc nhiều mạch tích hợp). Trong ví dụ, một hoặc nhiều bộ xử lý thực thi chương trình được lưu trữ trong phương tiện có thể đọc được bằng máy tính không chuyên tiếp để thực hiện một hoặc nhiều phương pháp được đề xuất.

FIG.7 là sơ đồ khối của thiết bị 700 để mã hóa hệ số đám mây điểm, theo các phương án.

Viện dẫn tới FIG.7, thiết bị 700 bao gồm mã phân giải 710, mã phân vùng 720, mã mã hóa entropy 730 và mã mã hóa đường vòng 740.

Mã phân giải 710 được cấu hình để khiến ít nhất một bộ xử lý phân giải các hệ số biến đổi được liên kết với dữ liệu đám mây điểm thành các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số, giá trị ký tự-chỉ số chỉ định các vị trí của các hệ số biến đổi trong tập hợp.

Mã phân vùng 720 được cấu hình để khiến ít nhất một bộ xử lý phân chia các hệ số biến đổi được phân giải thành một hoặc nhiều tập hợp dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số.

Mã mã hóa entropy 730 được cấu hình để khiến ít nhất một bộ xử lý mã hóa entropy các giá trị tập hợp-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng.

Mã mã hóa đường vòng 740 được cấu hình để khiến ít nhất một bộ xử lý mã hóa đường vòng các giá trị ký tự-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng.

Mã nén 750 được cấu hình để khiến ít nhất một bộ xử lý nén dữ liệu đám mây điểm dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số được mã hóa entropy và các giá trị ký tự-chỉ số được mã hóa đường vòng.

FIG.8 là sơ đồ hệ thống máy tính 800 phù hợp để triển khai các phương án.

Phần mềm máy tính có thể được mã hóa sử dụng bất kỳ mã máy hoặc ngôn ngữ máy tính phù hợp nào, có thể phải tuân theo các cơ chế lắp ráp, biên dịch, liên kết, hoặc tương tự để tạo ra mã bao gồm các lệnh mà có thể được thực thi trực tiếp, hoặc thông qua diễn giải, thực thi vi mã, và tương tự, bởi các bộ xử lý trung tâm máy tính (central processing units - CPU), Bộ xử lý đồ họa (Graphics Processing Unit - GPU), và những thứ tương tự.

Các lệnh có thể được thực thi trên nhiều loại máy tính hoặc thành phần của chúng, bao gồm, ví dụ, máy tính cá nhân, máy tính bảng, máy chủ, điện thoại

thông minh, thiết bị chơi game, thiết bị kết nối Internet vạn vật, và những thứ tương tự.

Các thành phần được thể hiện trong FIG.8 cho hệ thống máy tính 800 là các ví dụ về bản chất và không được chủ đích để đề xuất bất kỳ giới hạn nào đối với phạm vi sử dụng hoặc chức năng của phần mềm máy tính triển khai các phương án. Cấu hình của các thành phần không nên được diễn giải là có bất kỳ sự phụ thuộc hoặc yêu cầu nào liên quan đến bất kỳ một hoặc sự kết hợp nào của các thành phần được minh họa trong các phương án của hệ thống máy tính 800.

Hệ thống máy tính 800 có thể bao gồm một số thiết bị đầu vào giao diện con người nhất định. Thiết bị đầu vào giao diện con người như vậy có thể đáp ứng đầu vào của một hoặc nhiều người dùng thông qua, ví dụ, đầu vào xúc giác (chẳng hạn như: gõ phím, vuốt, chuyển động găng tay dữ liệu), đầu vào âm thanh (chẳng hạn như: giọng nói, vỗ tay), đầu vào hình ảnh (chẳng hạn như: cử chỉ), đầu vào khứu giác (không được mô tả). Các thiết bị giao diện con người cũng có thể được sử dụng để chụp một số phương tiện không nhất thiết liên quan trực tiếp đến đầu vào có ý thức của con người, chẳng hạn như âm thanh (chẳng hạn như: giọng nói, âm nhạc, âm thanh xung quanh), hình ảnh (chẳng hạn như: hình ảnh được quét, hình ảnh chụp thu nhận từ máy ảnh chụp ảnh tĩnh), video (chẳng hạn như video hai chiều, video ba chiều bao gồm video lập thể).

Các thiết bị giao diện con người đầu vào có thể bao gồm một hoặc nhiều (chỉ một trong số mỗi loại được mô tả): bàn phím 801, chuột 802, bàn di chuột 803,

màn hình cảm ứng 810, cần điều khiển 805, micrô 806, máy quét 807, và máy ảnh 808.

Hệ thống máy tính 800 cũng có thể bao gồm một số thiết bị đầu ra giao diện con người nhất định. Các thiết bị đầu ra giao diện con người như vậy có thể kích thích các giác quan của một hoặc nhiều người dùng thông qua, ví dụ, đầu ra xúc giác, âm thanh, ánh sáng và mùi/vị.

Các thiết bị đầu ra giao diện con người như vậy có thể bao gồm các thiết bị đầu ra xúc giác (ví dụ như phản hồi xúc giác bằng màn hình cảm ứng 810 hoặc cần điều khiển 805, nhưng cũng có thể có các thiết bị phản hồi xúc giác không đóng vai trò là các thiết bị đầu vào), các thiết bị đầu ra âm thanh (chẳng hạn như: loa 809, tai nghe (không được mô tả)), thiết bị đầu ra hình ảnh (chẳng hạn như các màn hình 810 để bao gồm các màn hình ống tia âm cực (cathode ray tube - CRT), màn hình tinh thể lỏng (liquid-crystal display - LCD), màn hình plasma, màn hình điốt phát quang hữu cơ (organic light-emitting diode - OLED), mỗi loại đều có hoặc không có khả năng đầu vào màn hình cảm ứng, mỗi loại có hoặc không có khả năng phản hồi xúc giác — một số có thể có khả năng xuất ra đầu ra hình ảnh hai chiều hoặc đầu ra nhiều hơn ba chiều thông qua các phương tiện như đầu ra lập thể; kính thực tế ảo (không được mô tả), màn hình ba chiều và bể khói (không được mô tả)), và máy in (không được mô tả). Bộ điều hợp đồ họa 850 tạo ra và xuất các hình ảnh ra màn hình cảm ứng 810.

Hệ thống máy tính 800 cũng có thể bao gồm các thiết bị lưu trữ con người có thể truy cập và các phương tiện liên quan của chúng như các phương tiện

quang bao gồm ổ CD/DVD ROM/RW 820 với CD/DVD hoặc các phương tiện tương tự 821, ổ USB 822, ổ cứng di động hoặc ổ đĩa thể rắn 823, các phương tiện từ tính kế thừa như băng thu và đĩa mềm (không được mô tả), các thiết bị dựa trên ROM/ASIC/PLD chuyên dụng như khóa điện tử bảo mật (không được mô tả), và những thứ tương tự.

Những người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật cũng nên hiểu rằng thuật ngữ "phương tiện có thể đọc được bằng máy tính" như được sử dụng liên quan đến đối tượng được tiết lộ hiện tại không bao quanh phương tiện truyền dẫn, sóng mang, hoặc các tín hiệu chuyển tiếp khác.

Hệ thống máy tính 800 cũng có thể bao gồm (các) giao diện tới một hoặc nhiều mạng truyền thông 855. Ví dụ, các mạng truyền thông 855 có thể ví dụ là không dây, có dây, quang. Các mạng 855 còn có thể là cục bộ, diện rộng, đô thị, xe cộ và công nghiệp, thời gian thực, chịu trễ, v.v.

Các ví dụ về các mạng 855 bao gồm các mạng cục bộ như Ethernet, mạng LAN không dây, mạng di động để bao gồm các hệ thống toàn cầu cho truyền thông di động (global systems for mobile communications - GSM), thế hệ thứ ba (3G), thế hệ thứ tư (4G), thế hệ thứ năm (5G), Phát triển dài hạn (Long-Term Evolution - LTE), và tương tự, truyền hình có dây hoặc các mạng kỹ thuật số diện rộng không dây để bao gồm truyền hình cáp, truyền hình vệ tinh, và truyền hình phát sóng mặt đất, xe cộ và công nghiệp để bao gồm CANBus, v.v.

Các mạng 855 thường yêu cầu các bộ điều hợp giao diện mạng bên ngoài gắn với một số cổng dữ liệu mục đích chung nhất định hoặc các kênh truyền ngoại vi 849 (chẳng hạn, ví dụ như các cổng truyền dẫn tuần tự đa năng (universal serial bus - USB) của hệ thống máy tính 800; các cổng khác thường được tích hợp vào lõi của hệ thống máy tính 800 bằng cách gắn vào kênh truyền hệ thống như được mô tả bên dưới, ví dụ, giao diện mạng 854 bao gồm giao diện Ethernet vào hệ thống máy tính PC và/hoặc giao diện mạng di động vào hệ thống máy tính điện thoại thông minh.

Sử dụng bất kỳ mạng nào trong số các mạng 855 này, hệ thống máy tính 800 có thể truyền thông với các thực thể khác. Cách truyền thông như vậy có thể là một chiều, chỉ nhận (ví dụ, truyền hình phát sóng), chỉ gửi một chiều (ví dụ, CANbus đến một số thiết bị CANbus nhất định), hoặc hai chiều, ví dụ đến các hệ thống máy tính khác sử dụng các mạng cục bộ hoặc kỹ thuật số diện rộng. Một số giao thức và ngăn giao thức nhất định có thể được sử dụng trên mỗi mạng 855 và giao diện mạng 854 như được mô tả ở trên.

Các thiết bị giao diện con người, thiết bị lưu trữ con người có thể truy cập, và giao diện mạng 854 nói trên có thể được gắn vào lõi 840 của hệ thống máy tính 800.

Lõi 840 có thể bao gồm một hoặc nhiều Bộ xử lý trung tâm (Central Processing Units - CPU) 841, Bộ xử lý đồ họa (Graphics Processing Units - GPU) 842, các bộ xử lý lập trình chuyên dụng ở dạng các Khu vực cổng lập trình được bằng trường (Field Programmable Gate Areas - FPGA) 843, các bộ gia tốc phần cứng 844

cho một số tác vụ nhất định, và v.v. Các thiết bị này, cùng với bộ nhớ chỉ đọc (read-only memory - ROM) 845, bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên (random-access memory - RAM) 846, bộ lưu trữ dung lượng lớn nội bộ 847 chẳng hạn như các ổ cứng người dùng không thể truy cập nội bộ, ổ đĩa bán dẫn (solid-state drives - SSDs), và tương tự, có thể được kết nối thông qua kênh truyền hệ thống 848. Trong một số hệ thống máy tính, kênh truyền hệ thống 848 có thể truy cập dưới dạng một hoặc nhiều phích cắm vật lý để kích hoạt các phần mở rộng bằng các CPU, GPU bổ sung, và tương tự. Các thiết bị ngoại vi có thể được gắn trực tiếp vào kênh truyền hệ thống 848 của lõi, hoặc qua các kênh truyền ngoại vi 849. Các kiến trúc cho kênh truyền ngoại vi bao gồm liên kết thành phần ngoại vi (peripheral component interconnect - PCI), USB, và tương tự.

Các CPU 841, GPU 842, FPGA 843, và bộ gia tốc phần cứng 844 có thể thực thi một số lệnh nhất định mà, kết hợp với nhau, có thể tạo nên mã máy tính nói trên. Mã máy tính đó có thể được lưu trữ trong ROM 845 hoặc RAM 846. Dữ liệu chuyển tiếp cũng có thể được lưu trữ trong RAM 846, trong khi dữ liệu vĩnh viễn có thể được lưu trữ, ví dụ, trong bộ lưu trữ dung lượng lớn nội bộ 847. Lưu trữ nhanh và truy xuất tới bất kỳ thiết bị nào trong số các thiết bị bộ nhớ có thể được kích hoạt thông qua việc sử dụng bộ nhớ đệm, mà có thể liên kết chặt chẽ với CPU 841, GPU 842, bộ lưu trữ dung lượng lớn nội bộ 847, ROM 845, RAM 846, và tương tự.

Các phương tiện có thể đọc được bằng máy tính có thể có mã máy tính để thực hiện các hoạt động khác nhau do máy tính triển khai. Các phương tiện và mã máy

tính có thể là những phương tiện được thiết kế và xây dựng đặc biệt cho các mục đích của các phương án, hoặc chúng có thể thuộc loại nổi tiếng và sẵn có cho những người có trình độ trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật.

Đối với ví dụ và không giới hạn, hệ thống máy tính 800 có kiến trúc, và cụ thể là lõi 840 có thể cung cấp chức năng là kết quả của (các) bộ xử lý (bao gồm các CPU, GPU, FPGA, bộ gia tốc, và tương tự) thực thi phần mềm được thể hiện trong một hoặc nhiều phương tiện hữu hình, có thể đọc được bằng máy tính. Các phương tiện có thể đọc được bằng máy tính như vậy có thể là phương tiện được liên kết với bộ lưu trữ dung lượng lớn mà người dùng có thể truy cập như đã giới thiệu ở trên, cũng như bộ lưu trữ nhất định của lõi 840 có tính chất không chuyển tiếp, chẳng hạn như bộ lưu trữ dung lượng lớn nội bộ lõi 847 hoặc ROM 845. Phần mềm triển khai các phương án khác nhau có thể được lưu trữ trong các thiết bị đó và được thực thi bởi lõi 840. Phương tiện có thể đọc được bằng máy tính có thể bao gồm một hoặc nhiều thiết bị hoặc chip bộ nhớ, tùy theo các nhu cầu cụ thể. Phần mềm có thể khiến lõi 840 và cụ thể là các bộ xử lý trong đó (bao gồm CPU, GPU, FPGA, và tương tự) thực thi các quy trình cụ thể hoặc các phần cụ thể của các quy trình cụ thể được mô tả ở đây, bao gồm xác định các cấu trúc dữ liệu được lưu trữ trong RAM 846 và sửa đổi các cấu trúc dữ liệu đó theo các quy trình được xác định bởi phần mềm. Ngoài ra hoặc như sự thay thế, hệ thống máy tính có thể cung cấp chức năng là kết quả của logic được nổi cứng hoặc được thể hiện trong mạch (ví dụ: bộ gia tốc phần cứng 844), có thể hoạt động thay thế hoặc cùng với phần mềm để thực thi các quy trình cụ thể hoặc các phần

cụ thể của các quy trình cụ thể được mô tả ở đây. Việc dẫn tới phần mềm có thể bao quanh logic, và ngược lại, nếu thích hợp. Việc dẫn tới các phương tiện có thể đọc được bằng máy tính có thể bao quanh mạch (chẳng hạn như mạch tích hợp (integrated circuit - IC)) lưu trữ phần mềm để thực thi, mạch thể hiện logic để thực thi, hoặc cả hai, nếu thích hợp. Các phương án bao quanh bất kỳ sự kết hợp phù hợp nào giữa phần cứng và phần mềm.

Trong khi sáng chế này đã mô tả nhiều phương án, còn có những sự thay đổi, hoán vị, và các phương pháp thay thế tương đương, nằm trong phạm vi của sáng chế. Do đó, nó sẽ được đánh giá cao rằng những người có trình độ trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật sẽ có thể đưa ra nhiều hệ thống và phương pháp mà, mặc dù không được thể hiện hoặc mô tả rõ ràng ở đây, thể hiện các nguyên tắc của sáng chế và do đó, nằm trong bản chất và phạm vi của chúng.

Đơn sáng chế này yêu cầu hưởng quyền ưu tiên của Đơn sáng chế tạm thời của Hoa Kỳ số 62/958.839 và 62/958,846, được nộp vào ngày 09 tháng 1 năm 2020, và Đơn đăng ký sáng chế của Hoa Kỳ số 17/110,691, được nộp vào ngày 03 tháng 12 năm 2020 tại Văn phòng Sáng chế và Nhãn hiệu Hoa Kỳ, toàn bộ nội dung được kết hợp vào đây bằng cách tham chiếu.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp mã hóa hệ số đám mây điểm, phương pháp này được thực hiện bởi ít nhất một bộ xử lý, bao gồm:

phân giải các hệ số biến đổi được liên kết với dữ liệu đám mây điểm thành các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số, giá trị ký tự-chỉ số chỉ định vị trí của các hệ số biến đổi với tập hợp;

phân chia các hệ số biến đổi được phân giải thành một hoặc nhiều tập hợp dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số;

mã hóa entropy các giá trị tập hợp-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng;

mã hóa đường vòng các giá trị ký tự-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng; và

nén dữ liệu đám mây điểm dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số được mã hóa entropy và các giá trị ký tự-chỉ số được mã hóa đường vòng.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó các giá trị tần số được liên kết với các hệ số biến đổi được lưu trữ trong bộ nhớ đệm hoặc bảng tra cứu dựa trên phân loại tần số theo thứ tự giảm dần, trong đó giá trị tập hợp-chỉ số thấp nhất được chỉ định cho hệ số biến đổi có giá trị tần số lớn nhất.

3. Phương pháp theo điểm 1, trong đó các giá trị ký tự-chỉ số và các giá trị tập hợp-chỉ số được báo hiệu để chỉ báo phân vùng theo bảng chữ cái có các giá trị giới hạn liên

quan dựa trên một hoặc nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được chia sẻ giữa bộ mã hóa và bộ giải mã.

4. Phương pháp theo điểm 3, trong đó một hoặc nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được sử dụng cho một hoặc nhiều lớp mức độ chi tiết tương ứng với các hệ số biến đổi.

5. Phương pháp theo điểm 3, trong đó một hoặc nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được sử dụng cho một hoặc nhiều tham số lượng tử hóa dựa trên lượng tử hóa của các hệ số biến đổi.

6. Phương pháp theo điểm 3, trong đó một hoặc nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được sử dụng cho một hoặc nhiều lớp mang tính biến đổi tỷ lệ để mã hóa biến đổi tỷ lệ theo tỷ lệ tín hiệu trên tạp âm dựa trên mối tương quan giữa các hệ số biến đổi.

7. Phương pháp theo điểm 1, trong đó các giá trị tập hợp-chỉ số được mã hóa bởi mã hóa số học đa ký tự.

8. Thiết bị mã hóa hệ số đám mây điểm, thiết bị bao gồm:

ít nhất một bộ nhớ được cấu hình để lưu trữ mã chương trình máy tính; và

ít nhất một bộ xử lý được cấu hình để truy cập vào ít nhất một bộ nhớ và hoạt động theo mã chương trình máy tính, mã chương trình máy tính bao gồm:

mã phân giải được cấu hình để khiến ít nhất một bộ xử lý phân giải các hệ số biến đổi được liên kết với dữ liệu đám mây điểm thành các giá trị tập hợp-chỉ số

và các giá trị ký tự-chỉ số, giá trị ký tự-chỉ số chỉ định vị trí của hệ số biến đổi trong tập hợp;

mã phân vùng được cấu hình để khiến ít nhất một bộ xử lý phân chia các hệ số biến đổi được phân giải thành một hoặc nhiều tập hợp dựa trên các giá trị ký tự-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số;

mã mã hóa entropy được cấu hình để khiến ít nhất một bộ xử lý mã hóa entropy các giá trị tập hợp-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng;

mã mã hóa đường vòng được cấu hình để khiến ít nhất một bộ xử lý mã hóa đường vòng các giá trị ký tự-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng; và

mã nén được cấu hình để khiến ít nhất một bộ xử lý nén dữ liệu đám mây điểm dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số được mã hóa entropy và các giá trị ký tự-chỉ số được mã hóa đường vòng.

9. Thiết bị theo điểm 8, trong đó các giá trị tần số được liên kết với các hệ số biến đổi được lưu trữ trong bộ nhớ đệm hoặc bảng tra cứu dựa trên phân loại tần số theo thứ tự giảm dần, trong đó giá trị tập hợp-chỉ số thấp nhất được chỉ định cho hệ số biến đổi có giá trị tần số lớn nhất.

10. Thiết bị theo điểm 8, trong đó các giá trị ký tự-chỉ số và các giá trị tập hợp-chỉ số được báo hiệu để chỉ báo phân vùng theo bảng chữ cái có các giá trị giới hạn liên quan dựa trên một hoặc nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được chia sẻ giữa bộ mã hóa và bộ giải mã.

11. Thiết bị theo điểm 10, trong đó một hoặc nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được sử dụng cho một hoặc nhiều lớp mức độ chi tiết tương ứng với các hệ số biến đổi.

12. Thiết bị theo điểm 10, trong đó một hoặc nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được sử dụng cho một hoặc nhiều tham số lượng tử hóa dựa trên lượng tử hóa của các hệ số biến đổi.

13. Thiết bị theo điểm 10, trong đó một hoặc nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được sử dụng cho một hoặc nhiều lớp mang tính biến đổi tỷ lệ cho mã hóa biến đổi tỷ lệ theo tỷ lệ tín hiệu trên tạp âm dựa trên các mối tương quan giữa các hệ số biến đổi.

14. Thiết bị theo điểm 8, trong đó các giá trị tập hợp-chỉ số được mã hóa bởi mã hóa số học đa ký tự.

15. Phương tiện lưu trữ bất biến có thể đọc được bằng máy tính lưu trữ các lệnh được cấu hình để khiến ít nhất một bộ xử lý:

phân giải các hệ số biến đổi được liên kết với dữ liệu đám mây điểm thành các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số, giá trị ký tự-chỉ số chỉ định vị trí của hệ số biến đổi trong tập hợp;

phân chia các hệ số biến đổi được phân giải thành một hoặc các tập hợp dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số và các giá trị ký tự-chỉ số;

mã hóa entropy các giá trị tập hợp-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng; và

mã hóa đường vòng các giá trị ký tự-chỉ số của các hệ số biến đổi được phân vùng; và

nén dữ liệu đám mây điểm dựa trên các giá trị tập hợp-chỉ số được mã hóa entropy và các giá trị ký tự-chỉ số được mã hóa đường vòng.

16. Phương tiện có thể đọc được bằng máy tính theo điểm 15, trong đó các giá trị tần số được liên kết với các hệ số biến đổi được lưu trữ trong bộ nhớ đệm và bảng tra cứu dựa trên phân loại tần số theo thứ tự giảm dần, trong đó giá trị tập hợp-chỉ số thấp nhất được chỉ định cho hệ số biến đổi có giá trị tần số lớn nhất.

17. Phương tiện có thể đọc được bằng máy tính theo điểm 15, trong đó các giá trị ký tự-chỉ số và các giá trị tập hợp-chỉ số được báo hiệu để chỉ báo phân vùng theo bảng chữ cái có các giá trị giới hạn liên quan dựa trên một hoặc nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được chia sẻ giữa bộ mã hóa và bộ giải mã.

18. Phương tiện có thể đọc được bằng máy tính theo điểm 17, trong đó một hoặc nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được sử dụng cho một hoặc nhiều lớp mức độ chi tiết tương ứng với các hệ số biến đổi.

19. Phương tiện có thể đọc được bằng máy tính theo điểm 17, trong đó một hoặc nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được sử dụng cho một hoặc nhiều tham số lượng tử hóa dựa trên lượng tử hóa của các hệ số biến đổi.

20. Phương tiện có thể đọc được bằng máy tính theo điểm 17, trong đó một hoặc nhiều loại phân vùng theo bảng chữ cái được sử dụng cho một hoặc nhiều lớp mang

tính biến đổi tỷ lệ cho mã hóa biến đổi tỷ lệ theo tỷ lệ tín hiệu trên tạp âm dựa trên các mối tương quan giữa các hệ số biến đổi.

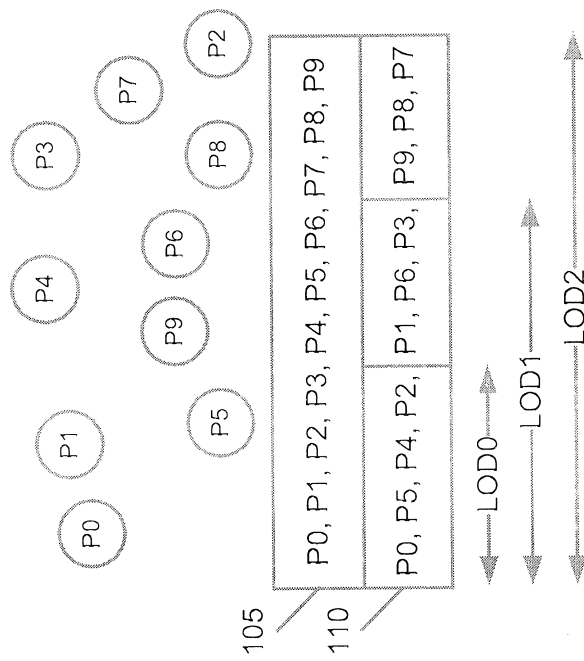


FIG. 1A

2/9

100

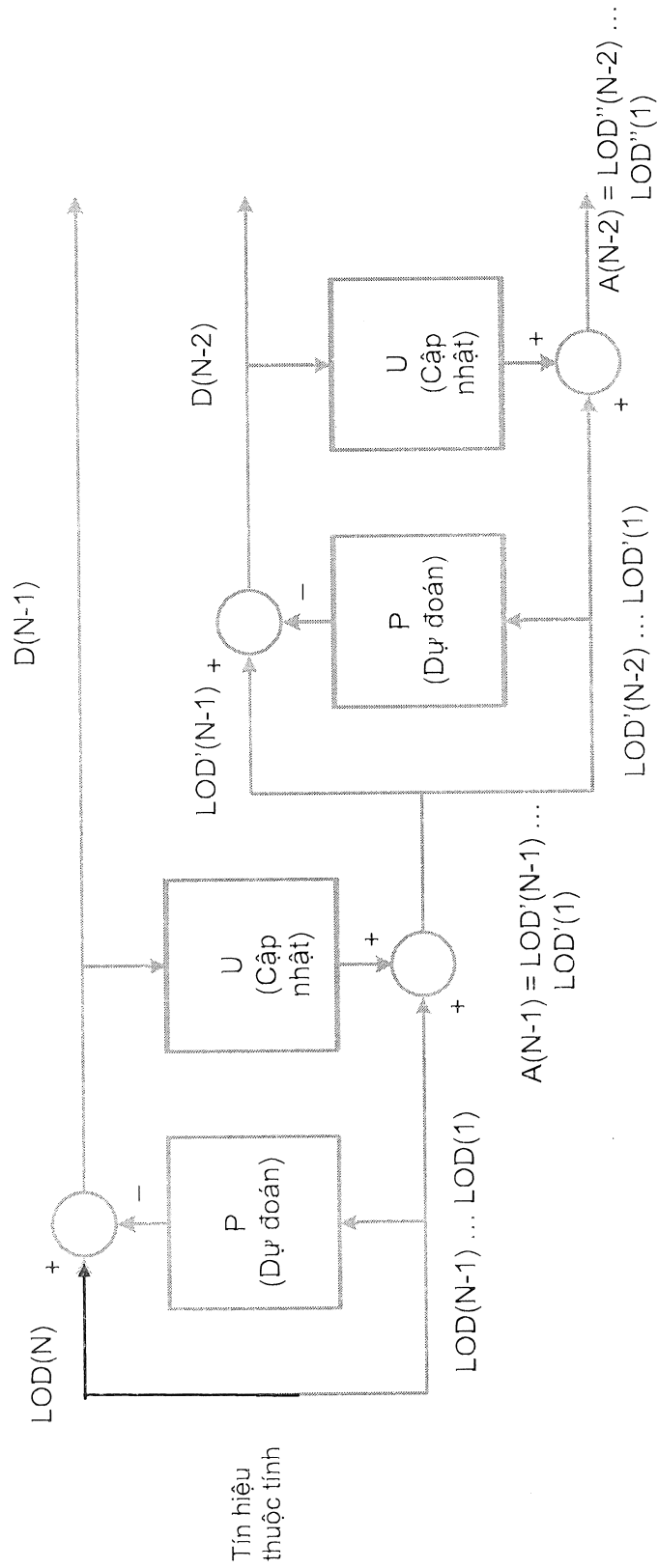


FIG. 1B

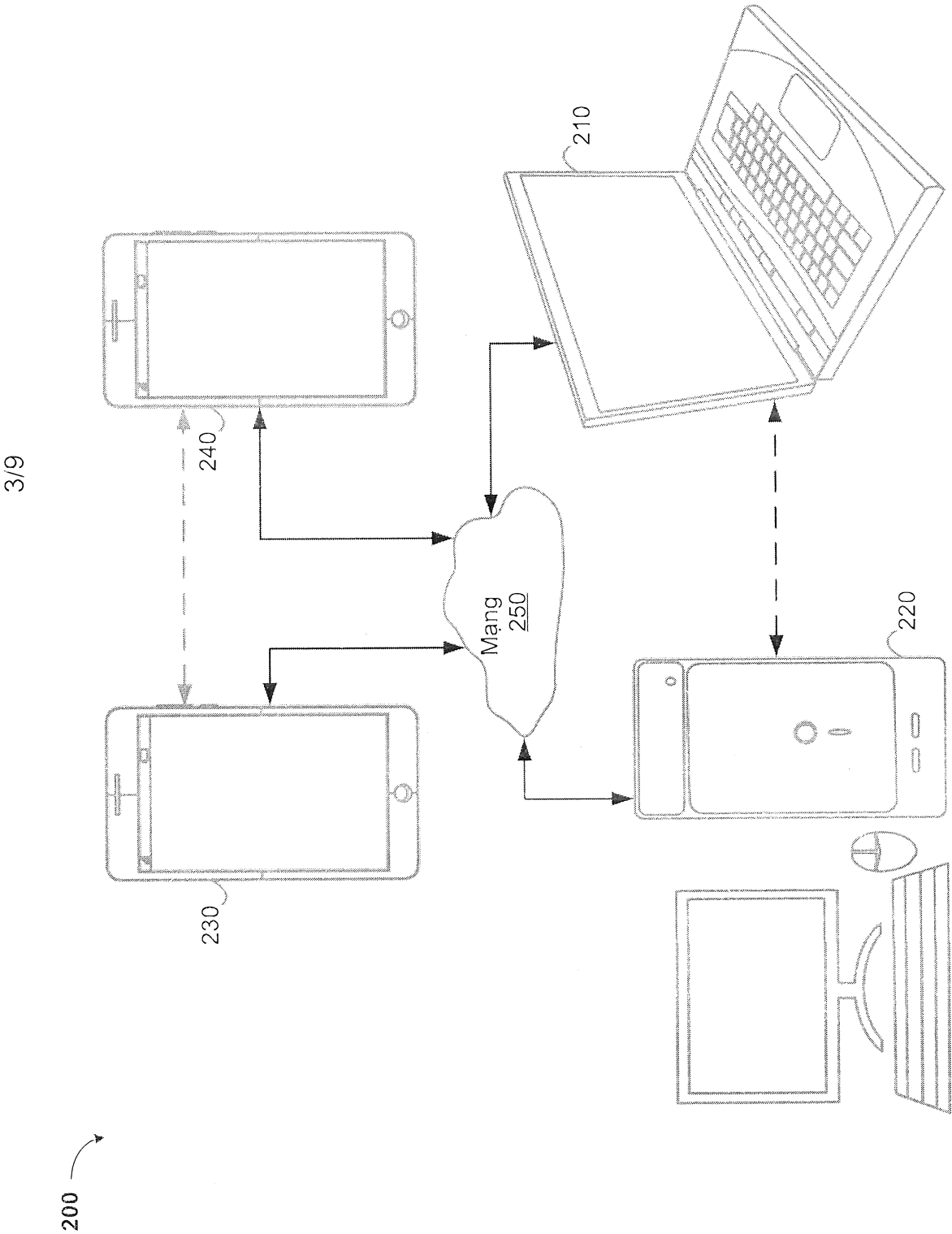


FIG. 2

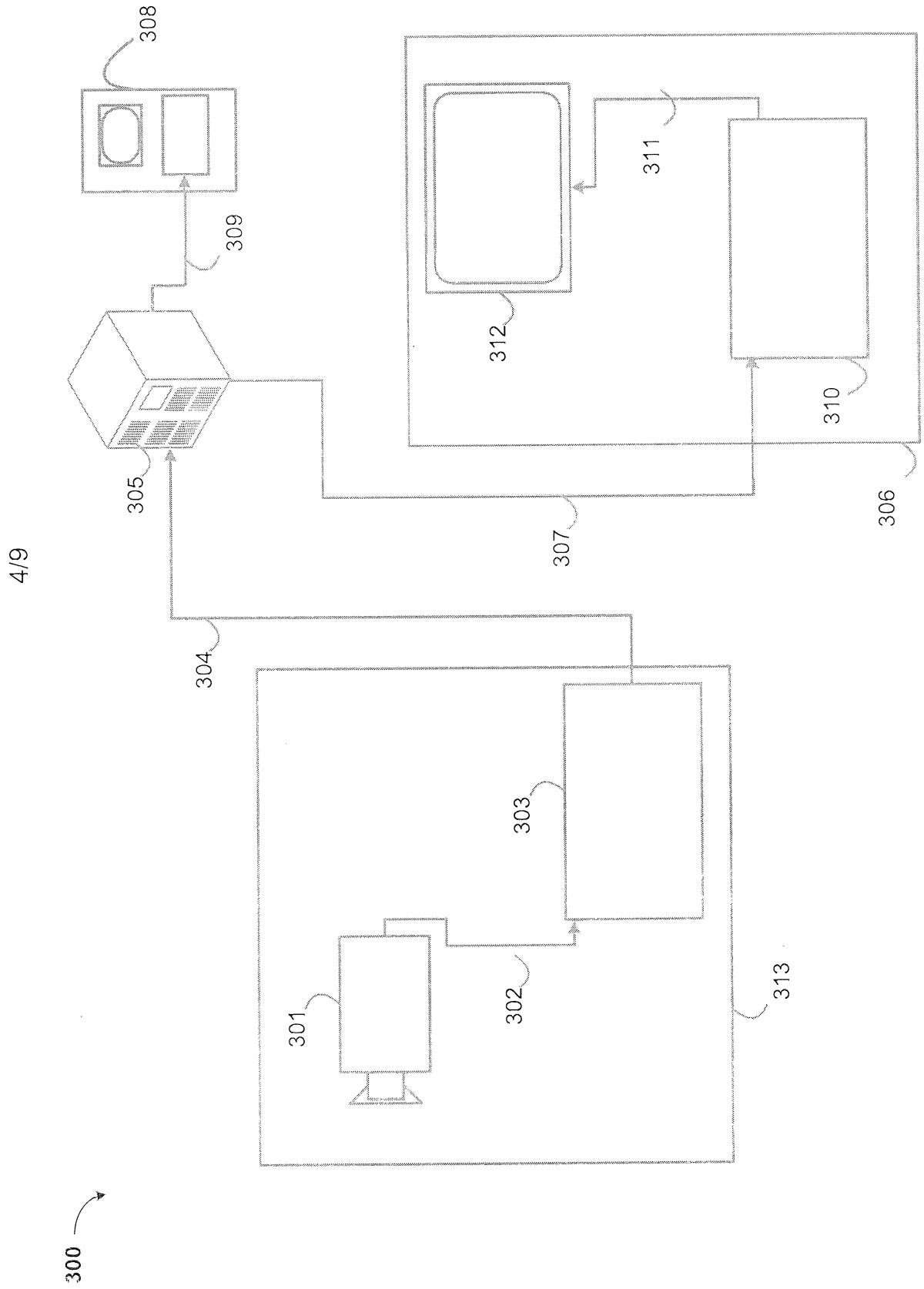


FIG. 3

5/9

303

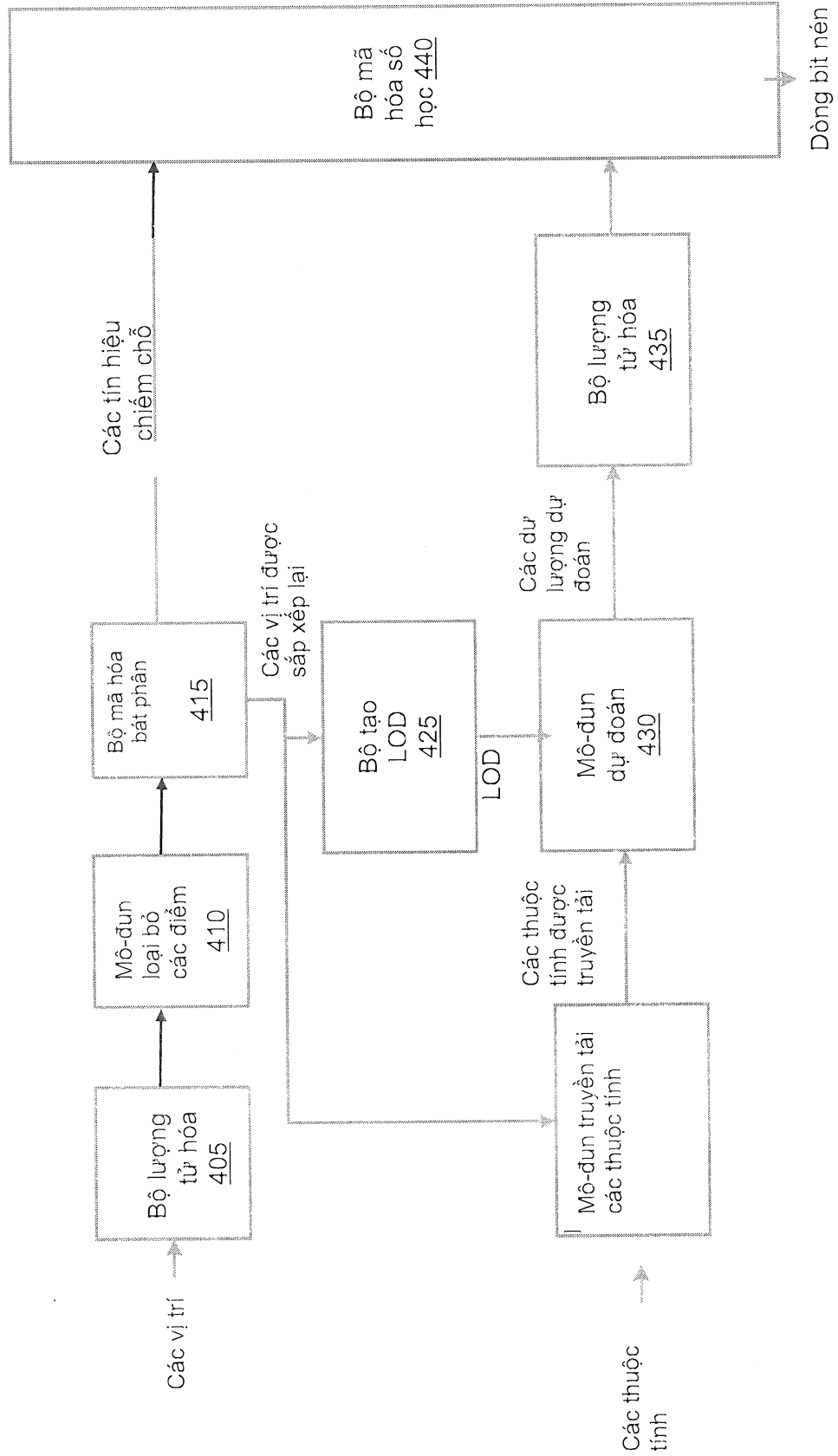


FIG. 4

6/9

310 →

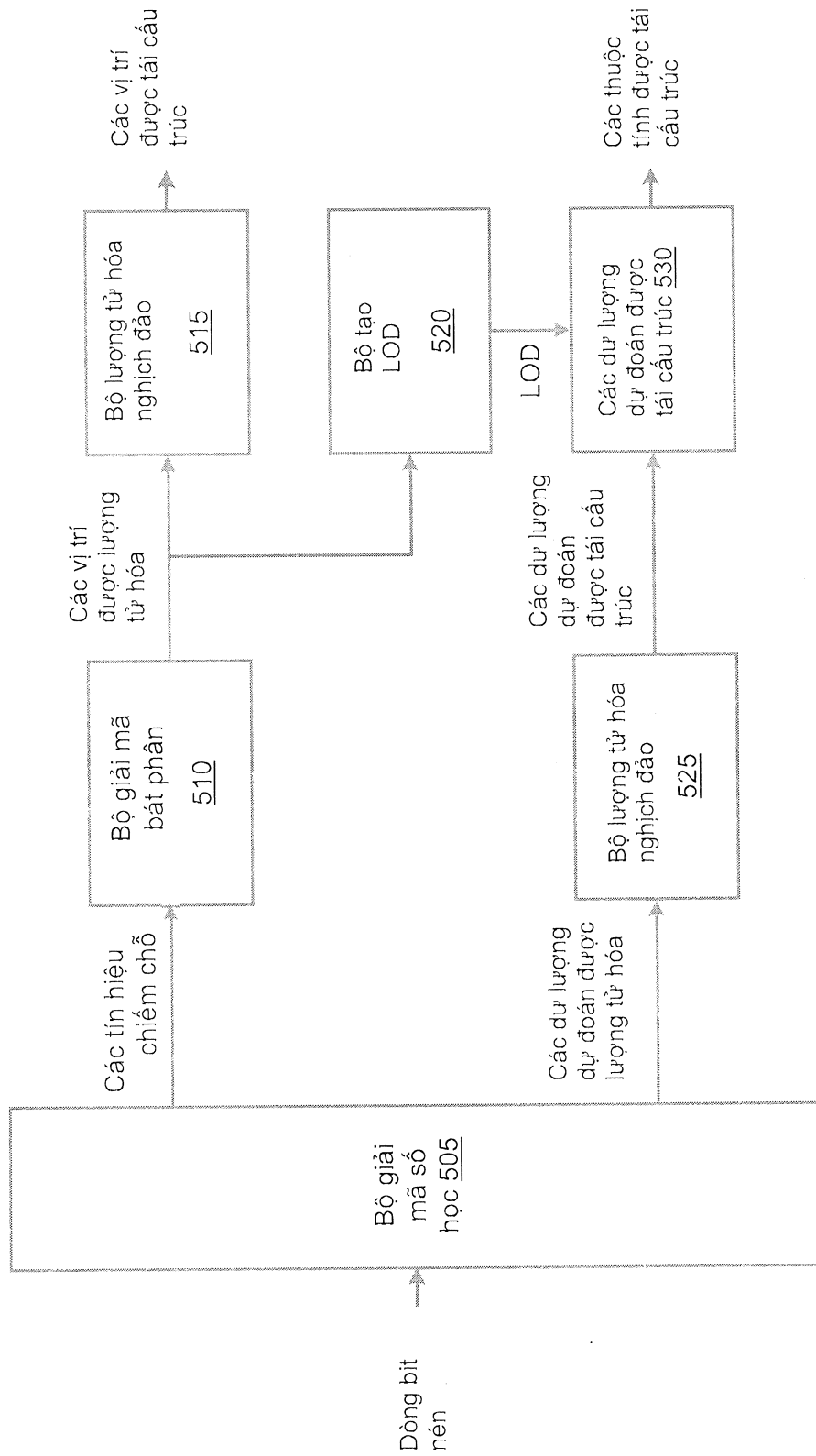


FIG. 5

7/9

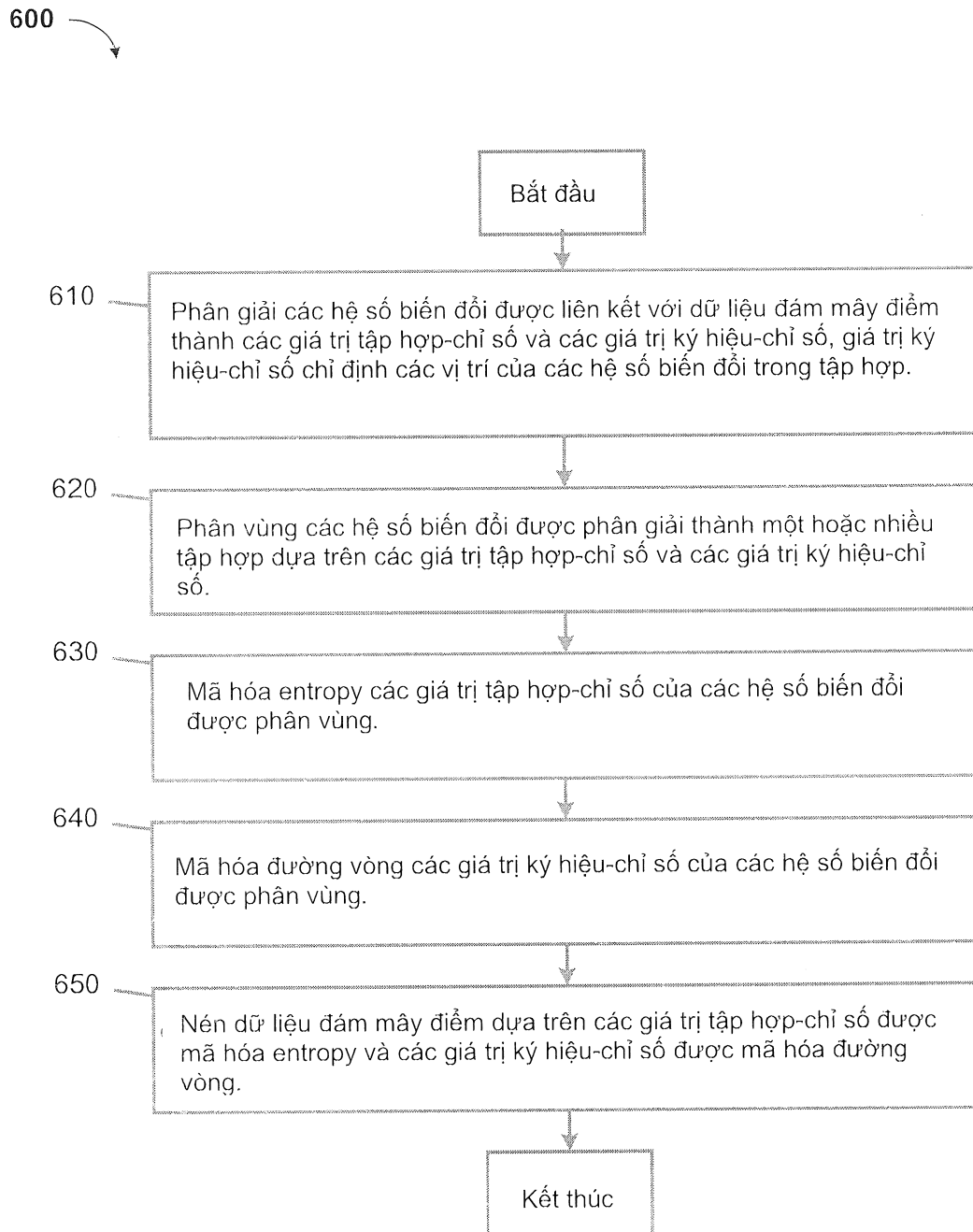


FIG. 6

8/9

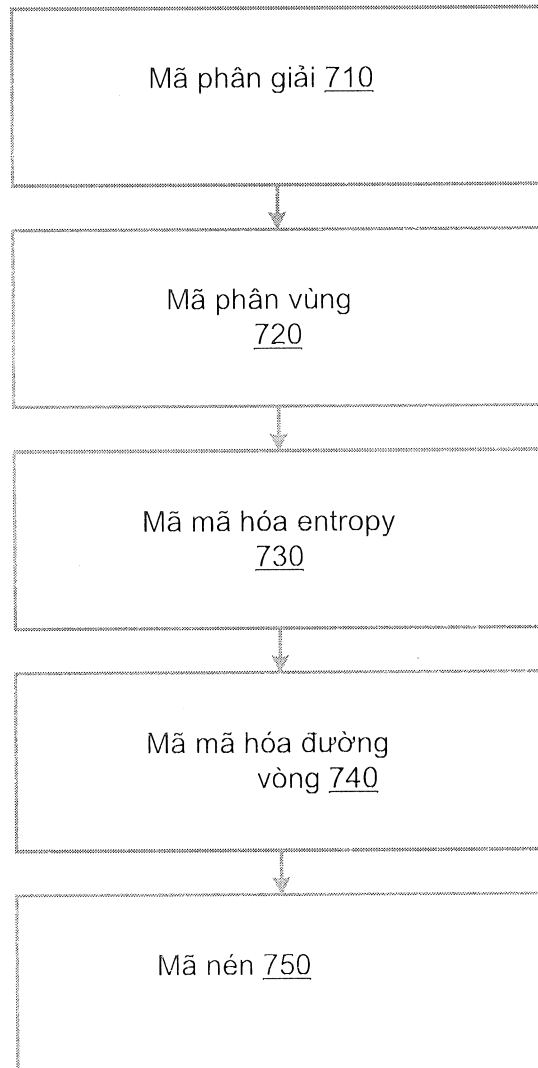
700 

FIG. 7

