

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 014 895**

51 Int. Cl.:

H04N 19/186 (2014.01)
H04N 19/46 (2014.01)
H04N 19/70 (2014.01)
H04N 19/85 (2014.01)
H04N 19/98 (2014.01)
G06T 5/92 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.06.2022** **PCT/US2022/031767**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.12.2022** **WO22260902**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.06.2022** **E 22731949 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2025** **EP 4352964**

54 Título: **Optimización de funciones de remodelación encadenadas**

30 Prioridad:

08.06.2021 EP 21178180
08.06.2021 US 202163208190 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
28.04.2025

73 Titular/es:

**DOLBY LABORATORIES LICENSING
CORPORATION (100.00%)**
1275 Market Street
San Francisco, CA 94103, US

72 Inventor/es:

SU, GUAN-MING

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 3 014 895 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Optimización de funciones de remodelación encadenadas

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

Esta solicitud reivindica prioridad de la solicitud de patente europea n.º 21178180.2, presentada el 8 de junio de 2021 y solicitud provisional estadounidense 63/208,190, presentada el 8 de junio de 2021.

Tecnología

La presente divulgación se refiere en general a operaciones de procesamiento de imágenes. Más particularmente, una realización de la presente divulgación se refiere a códecs de vídeo.

Antecedentes

Tal como se utiliza en el presente documento, el término "rango dinámico" (DR, dynamic range) puede referirse a una capacidad del sistema visual humano (HVS, human visual system) para percibir un rango de intensidad (por ejemplo, luminancia, luma) en una imagen, por ejemplo, desde los negros más oscuros (sombras) hasta los blancos más brillantes (reflejos). En este sentido, DR alude a una intensidad "referida a la escena". DR también puede referirse a la capacidad de un dispositivo de visualización para representar de manera adecuada o aproximada un rango de intensidad de una amplitud particular. En este sentido, DR se refiere a una intensidad "referida a la pantalla". A menos que se especifique explícitamente que un sentido particular tiene un significado particular en cualquier punto de la descripción del presente documento, se debería deducir que el término puede usarse en cualquier sentido, por ejemplo de manera intercambiable.

Tal como se utiliza en el presente documento, el término alto rango dinámico (HDR high dynamic range) se refiere a una amplitud de DR que abarca los 14-15 o más órdenes de magnitud del sistema visual humano (HVS). En la práctica, el DR sobre el que un ser humano puede percibir simultáneamente una amplitud extensa en el rango de intensidad puede estar algo truncado, en relación con el HDR. Tal como se utiliza en el presente documento, los términos rango dinámico mejorado (EDR enhanced dynamic range) o rango dinámico visual (VDR visual dynamic range) pueden relacionarse de manera individual o indistinta con el DR que es perceptible dentro de una escena o imagen por un sistema visual humano (HVS) que incluye movimientos oculares, lo que permite algunos cambios de adaptación a la luz a través de la escena o imagen. Tal como se utiliza en el presente documento, el EDR puede relacionarse con un DR que abarca de 5 a 6 órdenes de magnitud. Si bien quizás es algo más estrecho en relación con el verdadero HDR referido a la escena, el EDR representa, no obstante, una amplitud de DR extensa y también puede denominarse HDR.

En la práctica, las imágenes comprenden uno o más componentes/canales de color (por ejemplo, luma Y y croma Cb y Cr) de un espacio de color, donde cada componente/canal de color está representado por una precisión de n bits por píxel (por ejemplo, n=8). Al utilizar una codificación de luminancia no lineal (por ejemplo, codificación gamma), las imágenes donde $n \leq 8$ (por ejemplo, imágenes JPEG en color de 24 bits) se consideran imágenes de rango dinámico estándar, mientras que las imágenes donde $n > 8$ pueden considerarse imágenes de rango dinámico mejorado.

Una función de transferencia electroóptica (EOTF, electro-optical transfer function) de referencia para una pantalla dada caracteriza la relación entre los valores de color (por ejemplo luminancia, representada en una palabra clave entre palabras clave que representan una imagen, etc.) de una señal de vídeo de entrada y los valores de color de pantalla de salida (por ejemplo luminancia de pantalla, representada en un valor de control de pantalla entre los valores de control de pantalla utilizados para representar la imagen, etc.) producidos por la pantalla. Por ejemplo, la recomendación ITU-R BT. 1886, "Reference electro-optical transfer function for flat panel displays used in HDTV studio production" (marzo de 2011), define la EOTF de referencia para pantallas de panel plano. Dado un flujo de vídeo, la información sobre su EOTF puede estar incorporada en el flujo de bits como metadatos (de imagen). El término "metadatos" en este documento se refiere a cualquier información auxiliar transmitida como parte del flujo de bits codificado y ayuda a un decodificador a representar una imagen decodificada. Tales metadatos pueden incluir, aunque sin limitarse a ello, información sobre el espacio de color o la gama, parámetros de visualización de referencia y parámetros de señal auxiliares, como los que se describen en este documento.

El término "PQ" tal como se utiliza en el presente documento se refiere a la cuantificación de amplitud de luminancia perceptual. El sistema visual humano (HVS) responde a niveles de luz crecientes de una manera muy poco lineal. La capacidad de un ser humano para ver un estímulo se ve afectada por la luminancia de ese estímulo, el tamaño del estímulo, las frecuencias espaciales que componen el estímulo y el nivel de luminancia al que se han adaptado los ojos en el momento particular en el que se está viendo el estímulo. En algunas realizaciones, una función de cuantificación perceptual asigna niveles de gris de entrada lineales a niveles de gris de salida que corresponden mejor a los umbrales de sensibilidad al contraste en el sistema visual humano. Un ejemplo de función de asignación PQ está descrito en SMPTE ST 2084:2014 "High Dynamic Range EOFT of Mastering Reference Displays" (en adelante "SMPTE"), donde dado un tamaño de estímulo fijo para cada nivel de luminancia (por ejemplo, el nivel de estímulo, etc.), es seleccionado un paso de contraste visible mínimo en ese nivel de luminancia según el nivel de adaptación más sensible y la frecuencia espacial más sensible (según los modelos HVS).

Pantallas que soportan luminancia de 200 a 1000 cd/m² o nits tipifican un rango dinámico inferior (LDR low dynamic range), también denominado rango dinámico estándar (SDR standard dynamic range), en relación con EDR (o HDR). El contenido EDR se puede mostrar en pantallas EDR que soporten rangos dinámicos más altos (por ejemplo, de 1000 nits a 5000 nits o más). Tales pantallas se pueden definir utilizando EOTF alternativas que soporten una capacidad de alta luminancia (por ejemplo, de 0 a 10 000 o más nits). Ejemplos de EOTF (tal como, HDR, Hybrid Log Gamma o HLG, etc.) están definidas en SMPTE 2084 y Rec. ITU-R BT.2100, "Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange," (06/2017). Véase también Rec. ITU-R BT.2020-2 "Parameter values for ultra-high definition television system for production and international programme exchange" (octubre de 2015), que se refiere al espacio de color Rec. 2020 o BT. 2020. Los inventores han reconocido aquí que son deseables técnicas mejoradas para codificar datos de contenido de video de alta calidad para que sea representado con una amplia variedad de dispositivos de visualización.

El documento WO 2018/005705 A1 describe un método para reconstruir una señal de vídeo de alto rango dinámico. Un decodificador recibe parámetros en el flujo de bits de entrada para generar una función de predicción. Usar la función de predicción genera un primer conjunto de nodos para una primera tabla de búsqueda de predicción, en donde cada nodo se caracteriza por un valor de nodo de entrada y un valor de nodo de salida. A continuación, modifica los valores de nodo de salida de uno o más del primer conjunto de nodos para generar un segundo conjunto de nodos para una segunda tabla de búsqueda de predicción y genera valores de predicción de salida utilizando la segunda tabla de búsqueda. Se presentan métodos de baja complejidad para modificar el valor de nodo de salida de un nodo actual en el primer conjunto de nodos basándose en el cálculo de pendientes modificadas entre el nodo actual y los nodos que rodean al nodo actual.

El documento WO 2017/015564 A1 describe un método de codificación de datos de vídeo digital que aplica un preprocesamiento adaptativo a los datos que representan datos de imagen de alto rango dinámico (HDR) y/o amplia gama de colores (WCG wide color gamut) antes de la codificación y un posprocesamiento complementario a los datos después de la decodificación para permitir al menos una reproducción parcial de los datos HDR y/o WCG. Los métodos de ejemplo aplican una o más conversiones de espacio de color y funciones de transferencia perceptual a los datos antes de la cuantificación. Los métodos de ejemplo aplican funciones de transferencia perceptual inversas y conversiones de espacio de color inversas después de la decodificación para recuperar los datos HDR y/o WCG. Las funciones de transferencia son adaptativas, de modo que se pueden aplicar diferentes funciones de transferencia a conjuntos de datos de vídeo que incluyen diferentes grupos de fotogramas, ventanas de fotogramas o procesamiento en un único fotograma. La información sobre el conjunto de datos y la información sobre la función de transferencia aplicada es pasada como metadatos del codificador al decodificador.

El documento WO 2012/125802 A1 describe un método para transformar datos de imagen para su visualización en una pantalla de destino. Una función de transferencia sigmoidea proporciona un parámetro libre que controla el contraste de tonos mínimo. La función de transferencia puede ser ajustada dinámicamente para adaptarse a las condiciones de iluminación ambiental cambiantes. La transformación puede ser seleccionada de modo que adapte automáticamente los datos de imagen para su visualización en una pantalla de destino de una manera que conserve sustancialmente la intención creativa incorporada en los datos de imagen. Los datos de imagen pueden ser datos de vídeo.

El documento de Minoo, K. et al. "Descripción of the reshaper parameters derivation process in ETM reference software", Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) de ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, 23ª reunión: San Diego, EE. UU., 19-26 de febrero de 2016, documento JCTVC-W0031, fecha de guardado: 11 de enero de 2016, divulga un proceso de remodelación para analizar una señal HDR de entrada en una tubería de procesamiento HEVC, producir una señal de video SDR remodelada compatible y parámetros de remodelación para reconstruir la señal HDR a partir de la señal de video remodelada.

El documento de Francois, E. et al. "HDR CE2-related: some experiments on ETM with dual grading input", Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) de ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, 23ª reunión: San Diego, EE. UU., 19-26 de febrero de 2016, documento JCTVC-W0089, fecha de guardado: 15 de febrero de 2016, describe un escenario de distribución HDR de gradación dual. Ambas versiones SDR y HDR son proporcionadas como entrada del sistema de distribución HDR para generar una versión compatible con SDR a partir de ellas.

Sumario de la divulgación

La invención es definida por las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes se refieren a características opcionales de algunas realizaciones de la invención.

Breve descripción de los dibujos

Una realización de la presente invención está ilustrada a modo de ejemplo, y no como limitación, en las figuras de los dibujos adjuntos, en los que números de referencia iguales se refieren a elementos similares y en los que:

FIG. 1, ilustra un ejemplo de tubería de procesamiento de imágenes para realizar una optimización de remodelación encadenada;

FIG. 2A a 2D, ilustran ejemplos de tuberías de funciones de remodelación encadenadas;

FIG. 3A a 3F, ilustran ejemplos de distorsiones en señales de vídeo remodeladas;

FIG. 4A y la FIG. 4B, ilustran ejemplos de flujos de procesos; y

FIG. 5, ilustra un diagrama de bloques simplificado de una plataforma de hardware de ejemplo en donde puede ser implementado un ordenador o un dispositivo informático como el descrito en este documento.

Descripción de ejemplos de realización

En la siguiente descripción, con el propósito de explicación, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión completa de la presente divulgación. Sin embargo, será evidente que la presente divulgación puede llevarse a la práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, estructuras y dispositivos bien conocidos no se describen con detalle exhaustivo, para evitar innecesariamente ocluir, oscurecer o hacer farragosa la presente divulgación.

Sumario

En este documento se describen técnicas para la optimización de remodelación encadenada (CRO chained reshaping optimization). Una cadena de funciones de remodelación puede ser concatenada en una tubería. Cada función de remodelación en la cadena de funciones de remodelación tiene un grado de color de referencia (o una señal de vídeo de referencia) para aproximarse y generar un grado de color objetivo (o remodelado) que sea igual o se aproxime mucho al grado de color de referencia. La cadena de funciones de remodelación puede ser utilizada para generar una pluralidad de grados de color objetivo (o remodelados). Tal como se utiliza en este documento, diferentes grados de color del mismo contenido de vídeo pueden ser de diferentes combinaciones de algunos o todos los rangos dinámicos, espacios o gamas de color, resoluciones espaciales, frecuencias de refresco de la imagen, formatos de muestreo de croma, contenedores de imagen, etc. Un grado de color específico puede hacer referencia a datos de vídeo – tales como los transportados en una señal de vídeo - con una combinación específica de algunos o todos de: rango dinámico, espacio o gama de color, resolución espacial, frecuencia de refresco de imagen, formato de muestreo de croma, contenedor de imagen, etc.

Se puede implementar o realizar una solución/un algoritmo de optimización restringido o no restringido para encontrar funciones de remodelación optimizadas que constituyen la cadena de funciones de remodelación. La solución/el algoritmo de optimización se puede implementar como solución/algoritmo iterativo en una formulación de problema restringido o no restringido.

Solo con fines ilustrativos, los grados de color generados por códecs de video de implementación o que corresponden a perfiles de ejemplo (tales como flujo de bits, codificación de video, Dolby, propiedad de terceros, basados en estándares, etc.) relacionados con la codificación de video retrocompatible con HDR10, la codificación de video retrocompatible con SDR, la codificación de video retrocompatible con HLG, etc., se utilizan en algunas discusiones en este documento como ejemplos de implementación no limitativos para ilustrar algunas o todas estas técnicas. Debería advertirse que en varias realizaciones, estos y otros perfiles pueden ser utilizados como señal de video de entrada, como algunas o todas las señales de video de referencia o grados de color, como algunas o todas las señales de video objetivo o remodeladas o grados de color, etc.

Los perfiles de ejemplo (tales como flujo de bits, codificación de video, Dolby, propiedad de terceros, basados en estándares, etc.) que pueden ser soportados o implementados por códecs de video como se describe en este documento, se pueden encontrar en SMPTE ST 2094, "Dynamic Metadata for Color Volume Transform (DMCVT)" (2016). Los perfiles como se describe en este documento pueden incluir, pero no de forma limitativa: perfiles soportados por códecs de 10 bits, tales como el perfil HEVC (Main 10) de 10 bits; perfiles soportados por códecs de 8 bits, tales como el perfil AVC (Main) de 8 bits; perfiles soportados con códigos de video que implementan cuantificación perceptual; perfiles soportados por códecs de video que implementan codificación de video SDR, tal como el perfil 8.2 para video SDR Rec. 709, el perfil 32.2 para video SDR móvil, etc.; perfiles soportados por códigos de video que implementan codificación de video Hybrid Log Gamma o HLG, tal como video móvil y video de difusión DVB, etc. Estos perfiles (por ejemplo, flujo de bits, codificación de video, Dolby, propiedad de terceros, basados en estándares, etc.) se pueden utilizar para soportar diferentes dispositivos de usuario, diferentes códecs de vídeo, diferentes rangos dinámicos, diferentes espacios de color, diferentes dominios en donde se representan palabras clave de imágenes, etc.

Las técnicas de optimización de funciones de remodelación en cadena descritas en el presente documento pueden ser utilizadas para proporcionar asignaciones estáticas, así como asignaciones dinámicas, entre diferentes grados de color. Las asignaciones estáticas pueden ser generadas de antemano y seleccionadas (por ejemplo, basándose al menos en parte en distribuciones de palabras clave reales u otras características de una imagen de entrada, etc.) para su aplicación en tiempo de ejecución, mientras que las asignaciones dinámicas pueden ser generadas y aplicadas sobre la marcha en tiempo de ejecución. A modo de ejemplo, pero no limitativo, algunas o todas estas técnicas pueden ser implementadas o aplicadas para proporcionar asignaciones estáticas entre diferentes grados de color objetivo (o

remodelado) soportados por funciones de remodelación encadenadas en la tubería, por ejemplo concatenando funciones de remodelación (por ejemplo, ordenadas, encadenadas, secuenciales, dirigidas, etc.) en la cadena de funciones de remodelación y aplicando las funciones de remodelación concatenadas a un grado de color (por ejemplo, objetivo, remodelado, etc.) decodificado a partir de una señal de vídeo. Por ejemplo, los grados de color correspondientes a diferentes perfiles (por ejemplo, perfiles de Dolby Vision soportados por soluciones de codificación de vídeo Dolby Vision disponibles comercialmente en Dolby Laboratories, Inc., California, etc.) pueden ser convertidos mediante asignaciones estáticas.

En un primer ejemplo, un primer perfil (por ejemplo de, flujo de bits, codificación de vídeo, Dolby, propiedad de terceros, basado en estándares, etc.) (por ejemplo, perfil de Dolby Vision 8.4, etc.) soportado por códecs retrocompatibles con HLG puede ser convertido mediante asignaciones estáticas a un perfil (por ejemplo de flujo de bits, codificación de vídeo, Dolby, propiedad de terceros, basado en estándares, etc.) (por ejemplo, perfil de Dolby Vision 8.2/9.2/32.2, etc.) soportado por códecs retrocompatibles con SDR en dispositivos de usuario ampliamente implementados. Más específicamente, dada una señal de vídeo (por ejemplo, primer perfil, perfil Dolby Vision 8.4, etc.) o una imagen (de entrada) en la capa base HLG (Hybrid Log Gamma) de la señal de vídeo como entrada, puede ser construida o utilizada una primera función de remodelación para convertir la imagen de entrada HLG en una imagen SDR. Luego se puede construir o utilizar una segunda función de remodelación diferente para seguir convirtiendo la imagen SDR en una imagen PQ – que por ejemplo puede ser la misma o equivalente a una imagen PQ de salida de 1000 nits obtenida al remodelar directamente la imagen de entrada en el primer perfil o espacio de color BT. 2100.

En un segundo ejemplo, un segundo perfil (por ejemplo de flujo de bits, codificación de vídeo, Dolby, propiedad de terceros, basado en estándares, etc.) (por ejemplo perfil Dolby Vision 8.1, etc.) soportado por códecs retrocompatibles con HDR10 puede ser convertido mediante asignaciones estáticas en un perfil (por ejemplo de flujo de bits, codificación de vídeo, Dolby, propiedad de terceros, basado en estándares, etc.) (por ejemplo, perfil Dolby Vision 8.4, etc.) soportado por códecs retrocompatibles con HLG. Más específicamente, dada una señal de vídeo (por ejemplo, segundo perfil, perfil Dolby Vision 8.1, etc.) o una imagen (de entrada) en la capa base PQ de 1000 nit de la señal de vídeo como entrada, se puede construir o utilizar una primera función de remodelación para convertir la imagen de entrada PQ de 1000 nit en una imagen (capa de base) HLG de 1000 nit. Luego, se puede construir o utilizar una segunda función de remodelación diferente para seguir convirtiendo la imagen HLG (capa de base) de 1000 nits en una imagen PQ de 4000 nits - que por ejemplo puede ser la misma o equivalente a una imagen PQ de 4000 nits de salida obtenida directamente al remodelar la imagen de entrada en el segundo perfil).

Se debe tener en cuenta que en diversas realizaciones, estas y otras cadenas de funciones de remodelación – que incluyen pero sin limitarse a ellas, cadenas más largas de funciones de remodelación - pueden ser construidas, optimizadas o utilizadas para generar pluralidades de grados de color objetivo (o remodelados).

En algunos escenarios operativos se puede utilizar un algoritmo (de optimización) iterativo para soportar la reversibilidad en rutas (de remodelación) hacia adelante y hacia atrás. Por ejemplo, un grado de color de salida (o una señal de vídeo de salida) generado a partir de una remodelación hacia atrás puede ser optimizado para que sea cercano a un grado de color de entrada (o una señal de vídeo de entrada) de una remodelación hacia adelante. Por lo tanto, la señal de vídeo de salida puede eventualmente volver a la señal de vídeo de entrada (original) (o a un dominio de entrada original).

En algunos escenarios operativos, un grado de color de salida (o una señal de vídeo de salida o remodelada) generado a partir de (por ejemplo, al final de, etc.) una cadena de funciones de remodelación puede no estar en el mismo dominio o puede no ser el mismo o aproximarse a un grado de color de entrada (o una señal de vídeo de entrada) introducido a la cadena de funciones de remodelación. Estas técnicas permiten ajustar el grado de color de salida (por ejemplo final, optimizado, optimizado iterativamente, etc.). Además, de manera opcional o alternativa, estas técnicas pueden ser implementadas para asegurar un nivel relativamente alto de fidelidad en cada grado de color intermedio (objetivo) generado con parte o toda la cadena de funciones de remodelación al minimizar las desviaciones o diferencias entre el grado de color intermedio (por ejemplo, grado de color SDR, etc.) y un grado de color de referencia (original) (por ejemplo, grado de color SDR de referencia, etc.). Además, de manera opcional o alternativa, algunas o todas estas técnicas pueden ser implementadas en una amplia variedad de aplicaciones de distribución y visualización de vídeo, que incluyen, aunque no como limitación, aquellas que soportan códecs de capa única retrocompatibles (SLBC).

Los ejemplos de realización descritos en el presente documento se refieren a la codificación de imágenes de vídeo en relación con la optimización de remodelación encadenada. Es recibida una imagen de entrada de una señal de vídeo de entrada en una tubería de funciones de remodelación encadenadas, incluyendo la tubería de funciones de remodelación encadenadas una cadena de funciones de remodelación. Se generan dos o más imágenes de referencia para dos o más grados de color de referencia a partir de la imagen de entrada de la señal de vídeo de entrada, correspondiendo cada imagen de referencia en las dos o más imágenes de referencia a un grado de color de referencia respectivo de los dos o más grados de color de referencia. La imagen de entrada y las dos o más imágenes de referencia se utilizan para determinar dos o más conjuntos de parámetros operativos para dos o más funciones de remodelación encadenadas en la tubería de funciones de remodelación encadenadas, especificando cada conjunto de parámetros operativos una función de remodelación encadenada respectiva en las dos o más funciones de remodelación encadenadas, siendo utilizada cada función de remodelación encadenada en las dos o más funciones de remodelación encadenadas para generar una imagen remodelada respectiva de dos o más imágenes remodeladas

en dos o más grados de color de remodelación. Una imagen remodelada seleccionada en un grado de color de remodelación seleccionado, entre las dos o más imágenes remodeladas en los dos o más grados de color de remodelación, es codificada en una señal de vídeo junto con metadatos de imagen, incluyendo los metadatos de imagen uno o más conjuntos de parámetros operativos para una o más funciones de remodelación encadenadas entre las dos o más funciones de remodelación encadenadas, haciendo que un dispositivo receptor de la señal de vídeo utilice los metadatos de imagen y la imagen remodelada seleccionada para generar una imagen reconstruida de un grado de color de remodelación distinto del grado de color de remodelación seleccionado.

Los ejemplo de realización descritos en el presente documento se refieren a la decodificación de imágenes de vídeo en relación con la optimización de remodelación encadenada. Una imagen remodelada en un grado de color de remodelación, junto con los metadatos de la imagen, es decodificada a partir de una señal de vídeo, incluyendo los metadatos de imagen uno o más conjuntos de parámetros operativos que especifican, respectivamente, una o más funciones de remodelación encadenadas en una tubería de funciones de remodelación encadenadas. Al menos una de las una o más funciones de remodelación encadenadas es aplicada a la imagen remodelada decodificada a partir de la señal de vídeo para generar una segunda imagen remodelada en un segundo grado de color de remodelación. Una imagen de visualización generada a partir de la segunda imagen remodelada es representada en un dispositivo de visualización.

Ejemplo de tubería de procesamiento de imágenes

La FIG. 1 representa un ejemplo de proceso de una tubería de distribución de vídeo (100) que muestra varias etapas desde la captura de vídeo hasta la visualización de contenido de vídeo. Una secuencia de fotogramas de vídeo (102) es capturada o generada utilizando un bloque de generación de imágenes (105). Los fotogramas de vídeo (102) pueden ser capturados digitalmente (por ejemplo, mediante una cámara digital, etc.) o generarse mediante un ordenador (por ejemplo, utilizando animación por ordenador, etc.) para proporcionar datos de vídeo (107). Además, opcional o alternativamente, los fotogramas de vídeo (102) pueden ser capturados en película mediante una cámara de cine. La película puede ser convertida a un formato digital para proporcionar los datos de vídeo (107). En una fase de producción (110), los datos de vídeo (107) son editados para proporcionar un flujo de producción de vídeo (112).

Los datos de vídeo del flujo de producción (112) son proporcionados a continuación a un procesador para la edición de posproducción (115). La edición de posproducción (115) puede incluir (por ejemplo, de forma automática, manual, automática en parte, manual en parte, etc.) el ajuste o la modificación de colores o brillo en áreas particulares de una imagen para mejorar la calidad de la imagen o conseguir una apariencia particular para la imagen de acuerdo con la intención creativa del creador del vídeo. Esto a veces se denomina "etalonaje de color" o "gradación de color". En la edición de posproducción (115) se pueden realizar otras ediciones (por ejemplo, selección y secuenciación de escenas, generación de información de corte de escenas manual y/o automática, recorte de imágenes, adición de efectos especiales visuales generados por ordenador, etc.) para producir, a través de la asignación de contenido y/o la gradación de color, una señal de vídeo de entrada original para la tubería de funciones de remodelación encadenadas o similares.

La señal de vídeo de entrada original puede ser utilizada por un dispositivo aguas arriba (por ejemplo, codificador, transcodificador, sistema de estudio de producción, servidor de agregación y/o distribución de contenido, servidor de medios, etc.) - o el bloque de posproducción (115) y/o el bloque de codificación (120) en el mismo - para generar uno, dos o más grados de color de referencia de imágenes, así como funciones de remodelación encadenadas utilizadas para generar uno, dos o más grados de color remodelados que sean, respectivamente, iguales o se aproximen estrechamente a uno, dos o más grados de color de referencia (por ejemplo, a través de la minimización de errores de predicción, a través de soluciones de forma cerrada a problemas de optimización sin restricciones o con restricciones, etc.).

Los grados de color de referencia y/o los grados de color remodelados pueden comprender diferentes conjuntos o secuencias de imágenes de referencia correspondientes que representan las mismas escenas o contenidos semánticos, pero pueden diferir en uno o más de: diferentes niveles de rango dinámico, diferentes espacios de color, diferentes EOTF, diferentes tipos de espacios de color, etc. Por ejemplo, estos grados de color de referencia y/o grados de color remodelados pueden comprender imágenes con cualidades visuales perceptibles por el usuario optimizadas para diferentes códecs de vídeo y/o diferentes capacidades de procesamiento de imágenes y/o diferentes dispositivos de usuario, tales como dispositivos iOS, dispositivos Android, tabletas, ordenadores portátiles, ordenadores de escritorio, televisores con diferentes capacidades de visualización, etc. En algunos escenarios operativos, un grado de color remodelado que se aproxima mucho a un grado de color de referencia puede ser transmitido, decodificado o reconstruido de forma más eficiente (por ejemplo con menos costes computacionales, con menos tiempo, etc.) por un dispositivo receptor de una señal de vídeo que incluye algunos o todos los parámetros operativos de algunas o todas las funciones de remodelación encadenadas y un grado de color codificado en la señal de vídeo. Ejemplos de operaciones de remodelación están descritos en la patente estadounidense 10,080,026, "Signal reshaping approximation," de G-M. Su et al.

En algunos escenarios operativos, el bloque de codificación (120) recibe la señal de vídeo de entrada original (por ejemplo, un grado de color de entrada, una señal de vídeo HLG Rec. 2020, etc.) generada a partir del bloque de posproducción (115). Se pueden utilizar asignaciones de contenido y/o herramientas de gradación/etalonaje de color

para generar uno, dos o más grados de color de referencia a partir de la señal de vídeo de entrada original. Cada una de las señales de vídeo de entrada y los grados de color de referencia representa el mismo conjunto de escenas visuales o contenidos semánticos. Los grados de color de referencia pueden ser derivados de la señal de vídeo de entrada original a través de una asignación de contenido y/o una gradación de color realizados de forma manual, automática o una combinación de operaciones de procesamiento de imágenes manuales y automáticas.

Solo con fines ilustrativos, la señal de vídeo de entrada original - recibida por ejemplo por el bloque de codificación (120) desde el bloque de posproducción (115) - representa un grado de color de entrada de imágenes HDR 117. Las imágenes de referencia en un grado de color de referencia que se va a aproximar mediante un grado de color remodelado pueden ser asignadas con contenido (por ejemplo, utilizando un perfil apropiado de una herramienta de codificación de vídeo, tal como las herramientas de codificación Dolby Vision disponibles comercialmente en Dolby Laboratories, Inc., San Francisco, California, etc.) a partir de las imágenes HDR (117) en la señal de vídeo de entrada original. En algunas realizaciones, durante la edición de posproducción (115), las imágenes HDR (117) son visualizadas en una pantalla de referencia HDR (125) que soporta el alto rango dinámico por un colorista que está realizando operaciones de edición de posproducción en las imágenes HDR (117).

El bloque de codificación (120) puede implementar algunas o todas las operaciones de optimización encadenadas como se describe en este documento para generar múltiples conjuntos de parámetros operativos para funciones de remodelación encadenadas en la tubería utilizada para asignar imágenes en la señal de vídeo de entrada a imágenes remodeladas en grados de color remodelados intermedios y/o finales. En algunos escenarios operativos, un grado de color remodelado seleccionado (por ejemplo, único, etc.) (por ejemplo un grado de color SDR, un grado de color SDR para dispositivos móviles, un grado de color SDR para televisores SDR, etc.) seleccionado de los grados de color remodelados intermedios y final puede ser comprimido/codificado por el bloque de codificación (120) en un flujo de bits codificado (122). Algunos o todos los múltiples conjuntos de parámetros operativos para las funciones de remodelación encadenadas (por ejemplo, funciones de remodelación hacia atrás, funciones de remodelación inversa, etc.) pueden incluirse o codificarse en el mismo flujo de bits codificado como parte de los metadatos de imagen.

El bloque de codificación (120) puede incluir codificadores de audio y vídeo, tales como los definidos por ATSC, DVB, DVD, Blu-Ray y otros formatos de distribución, para generar el flujo de bits codificado (122).

En algunos escenarios operativos, el flujo de bits codificado (122) puede representar una señal de vídeo (por ejemplo, una señal de vídeo SDR de 8 bits, una señal de vídeo SDR de 10 bits, etc.) que sea retrocompatible con una amplia variedad de dispositivos de visualización SDR (por ejemplo, pantallas SDR, etc.). En un ejemplo no limitativo, la señal de vídeo codificada con las imágenes SDR remodeladas puede ser una señal de vídeo de una sola capa retrocompatible. Aquí, una "señal de vídeo de una sola capa retrocompatible" puede referirse a una señal de vídeo que lleva imágenes SDR que están específicamente optimizadas o con gradación de color para pantallas SDR en una sola capa de señal. Ejemplos de operaciones de codificación de vídeo de una sola capa se describen en la publicación de solicitud de patente estadounidense n.º 2019/0110054, "Encoding and decoding reversible production-quality single-layer video signals," de G-M. Su et al.

Los múltiples conjuntos de parámetros operativos para las funciones de remodelación encadenadas pueden ser decodificados y utilizados en operaciones de predicción por un dispositivo receptor de la señal de vídeo o flujo de bits codificado para generar imágenes reconstruidas de otro(s) grado(s) de color a partir de las imágenes decodificadas de un grado de color. Se pueden generar uno o más niveles de calidad de vídeo diferentes para las imágenes reconstruidas utilizando operaciones de predicción (por ejemplo, operaciones de remodelación hacia atrás, operaciones de asignación de tono inversas, etc.) con los múltiples conjuntos de parámetros operativos para las funciones de remodelación encadenadas generados por el bloque de codificación (120) (aguas arriba). Estos diferentes niveles de calidad de vídeo pueden corresponder, respectivamente, a uno o más grados de color diferentes, tales como grados de color remodelados intermedios y/o finales en el lado del codificador.

En algunos escenarios operativos, las imágenes decodificadas representan imágenes SDR que fueron remodeladas hacia adelante por un codificador de vídeo aguas arriba (por ejemplo, con el bloque de codificación (120), etc.) a partir de las imágenes HDR con gradación de color (117) para aproximarse a un grado de color SDR de referencia. Las imágenes reconstruidas - tal como son generadas a partir de las imágenes decodificadas utilizando funciones de remodelación especificadas con los múltiples conjuntos de parámetros operativos en los metadatos de imagen transmitidos en el flujo de bits codificado (122) - representan imágenes que se aproximan a otros grados de color de referencia intermedios y/o finales distintos del grado de color SDR de referencia.

Además, opcionalmente o alternativamente, el flujo de bits codificado (122) se codifica con metadatos de imagen adicionales que incluyen, aunque no de forma limitativa, metadatos de gestión de visualización (DM, display management) que pueden ser utilizados por los decodificadores aguas abajo para realizar operaciones de gestión de visualización en imágenes decodificadas o imágenes remodeladas hacia atrás para generar imágenes de visualización optimizadas para su representación en pantallas de destino, que pueden tener o no las mismas capacidades de visualización que las pantallas de referencia para las cuales los grados de color de referencia intermedios y/o finales proporcionan calidades visuales relativamente altas.

El flujo de bits codificado (122) es distribuido entonces aguas abajo a receptores, tales como dispositivos móviles, teléfonos, tabletas, dispositivos de decodificación y reproducción, dispositivos de fuente de medios, dispositivos cliente de transmisión de medios, televisores (por ejemplo, televisores inteligentes, etc.), decodificadores, salas de cine y similares. En un receptor (o un dispositivo aguas abajo), el flujo de bits codificado (122) es decodificado por el bloque de decodificación (130) para generar imágenes decodificadas 182, que pueden ser las mismas que imágenes (por ejemplo, imágenes SDR remodeladas hacia delante, etc.) codificadas por el bloque de codificación (120) en el flujo de bits (122), sujetas a errores de cuantificación generados en la compresión realizada por el bloque de codificación (120) y la descompresión realizada por el bloque de decodificación (130).

En escenarios operativos en los que el receptor opera con (o está conectado o vinculado operativamente a) una pantalla de destino 140 que soporta la representación de las imágenes decodificadas (182), el bloque de decodificación (130) puede decodificar las imágenes (182) (por ejemplo en la capa única, etc.) del flujo de bits codificado (122), y usar las imágenes decodificadas (182) (por ejemplo, imágenes SDR remodeladas hacia adelante, etc.) directa o indirectamente para su representación en la pantalla de destino (140).

En algunos escenarios operativos, la pantalla de destino (140) tiene características similares a las de la pantalla de referencia SDR (125), y las imágenes decodificadas (182) son imágenes SDR remodeladas hacia adelante que se pueden ver directamente en la pantalla de destino (140).

En algunas realizaciones, el receptor funciona con (o está conectado o vinculado operativamente a) una pantalla de destino que tiene capacidades de visualización diferentes a las de una pantalla de referencia para la que fueron optimizadas las imágenes decodificadas (182). Algunos o todos los múltiples conjuntos de parámetros operativos para las funciones de remodelación encadenadas en los metadatos de imagen (o metadatos de compositor) pueden ser usados para componer o reconstruir imágenes a partir de las imágenes decodificadas (182) que están optimizadas para la pantalla de destino.

Por ejemplo, el receptor puede operar con una pantalla de destino HDR 140-1 que soporte un rango dinámico alto (por ejemplo 100 nits, 200 nits, 300 nits, 500 nits, 1000 nits, 4000 nits, 10 000 nits o más, etc.) mayor el de las imágenes decodificadas (182). El receptor puede extraer los metadatos de la imagen (por ejemplo, el(los) contenedor(es) de metadatos, etc.) del flujo de bits codificado (122) y utilizar los múltiples conjuntos de parámetros operativos para las funciones de remodelación encadenadas en los metadatos de imagen (o metadatos de compositor) para componer o reconstruir imágenes 132-1 a partir de las imágenes decodificadas (182), tales como imágenes SDR remodeladas hacia adelante.

En algunos escenarios operativos, las imágenes reconstruidas (132-1) representan imágenes reconstruidas (por ejemplo, HDR, EDR, imágenes optimizadas para dispositivos de visualización de 1000 nits, imágenes optimizadas para dispositivos de visualización de 4000 nits, etc.) optimizadas para ser visualizadas en una pantalla que es la misma o comparable con una pantalla de destino que funciona junto con el receptor. El receptor puede utilizar directamente las imágenes reconstruidas (132-1) para su representación en la pantalla de destino.

En algunos escenarios operativos, las imágenes reconstruidas (132-1) representan imágenes reconstruidas optimizadas para su visualización en una pantalla (por ejemplo, de referencia, etc.) que no es la misma que la pantalla de destino (140-1) y que funciona en conjunto con el receptor. Un bloque de gestión de pantalla (por ejemplo, 135-1, etc.) - que puede estar en el receptor, en la pantalla de destino (140-1) o en un dispositivo separado- ajusta además las imágenes reconstruidas (132-1) a las características de la pantalla de destino (140-1) generando una señal asignada a la pantalla (137-1) adaptada a las características de la pantalla de destino (140-1). Las imágenes de visualización o las imágenes reconstruidas ajustadas pueden ser reproducidas en la pantalla de destino (140-1).

Tuberías de funciones de remodelación encadenadas

La FIG. 2A ilustra un ejemplo de tubería de funciones de remodelación encadenadas. Estas funciones de remodelación encadenadas pueden generarse o construirse utilizando métodos o procedimientos de optimización como los descritos en este documento.

Una señal de vídeo de entrada (original) (o una imagen de entrada en ella) a la tubería de funciones de remodelación encadenadas es denotada por $s_{<0>}$. El i -ésimo píxel, denotado como $s_{<0>,i}$, de la señal de entrada (o la imagen de entrada en ella) comprende tres canales denominados, respectivamente, como $(s_{<0>,i}^y, s_{<0>,i}^{co}, s_{<0>,i}^{c1})$ de un espacio de color de entrada (o un dominio de entrada).

La tubería de funciones de remodelación encadenadas comprende K funciones de remodelación concatenadas entre sí, donde K es un entero mayor que uno (1). La k -ésima función de remodelación, denotada como $R_k()$, en la tubería de funciones de remodelación encadenadas puede tener, o se le puede asignar, una señal de vídeo de referencia correspondiente (o una imagen de referencia correspondiente en la misma) denotada como $r_{<k+1>}$, donde $k=0, \dots, K-1$.

El i-ésimo píxel de la señal de referencia (o de la imagen de referencia contenida en ella) $r_{<k+1>}$ para la k-ésima función de remodelación $R_k()$ se denota como $(r_{<k+1>,i}^y, r_{<k+1>,i}^{co}, r_{<k+1>,i}^{c1})$. La señal de vídeo de entrada (o una imagen de entrada en ella) a la k-ésima función de remodelación $R_k()$ y la señal de vídeo de salida o remodelada (o una imagen de salida o remodelada contenida en ella) de la k-ésima función de remodelación $R_k()$ son denotadas por $s_{<k>}$ y $s_{<k+1>}$, respectivamente, donde $k=0, \dots, K-1$. La k-ésima función de remodelación $R_k()$ puede ser aplicada para remodelar hacia adelante la señal de entrada (o la imagen de entrada contenida en ella) $s_{<k>}$ en la señal de salida (o la imagen de salida en ella) $s_{<k+1>}$, como sigue:

$$s_{<k+1>}^{\square} = R_k(s_{<k>}^{\square}) \quad (1)$$

En muchos escenarios operativos, la señal de vídeo de salida final o remodelada (o una imagen de salida final en ella) de la tubería de funciones de remodelación encadenadas no es igual a la primera u original señal de vídeo de entrada (o la primera u original imagen de entrada en ella), como sigue:

$$r_{<K>}^{\square} \neq s_{<0>}^{\square} \quad (2)$$

Para la k-ésima función de remodelación, su señal de salida, $s_{<k+1>}$, debería ser lo más cercana posible (por ejemplo, sujeta a un procedimiento de minimización/optimización, dependiendo de un umbral/medida de error, etc.) a la señal de referencia, $r_{<k+1>}$, como sigue:

$$\min_{R_k()}\|s_{<k+1>}^{\square} - r_{<k+1>}^{\square}\|^2 \quad (3)$$

Como resultado, la construcción/generación de funciones de remodelación optimizadas en toda la tubería de funciones de remodelación encadenadas puede ser formulada como (soluciones a) una combinación lineal de problemas de optimización individuales de funciones de remodelación individuales, como sigue:

$$\min_{\{R_k()\}} \sum_{k=0}^{K-1} u_k \|s_{<k+1>}^{\square} - r_{<k+1>}^{\square}\|^2 \quad (4)$$

dónde u_k representa un factor de ponderación asignado a cada función de remodelación correspondiente en la tubería de funciones de remodelación encadenadas.

Si bien una optimización de extremo a extremo puede ser relativamente difícil o requerir un uso intensivo de recursos computacionales para resolverla, se pueden utilizar métodos mejores y más eficientes, tales como la optimización secuencial, para abordar este problema.

La FIG. 2B ilustra un ejemplo (específico) de una tubería de funciones de remodelación encadenadas, que puede ser utilizada para implementar la conversión del perfil Dolby Vision 8.4 al perfil Dolby Vision 8.2 como se mencionó anteriormente.

Como se muestra en la FIG. 2B, la señal de vídeo primera u original $s_{<0>}$ a la tubería de funciones de remodelación encadenadas es una señal HLG de entrada (por ejemplo, R.2020, etc.). La primera función de remodelación R_0 en la tubería de funciones de remodelación encadenadas tiene, o está asignada a, la señal de referencia $r_{<1>}$ que puede ser derivada o convertida a partir de la señal HLG de entrada utilizando la API (interfaz de programación de aplicaciones) HLG a SDR o un kit de herramientas disponible comercialmente.

La señal de vídeo de salida o remodelada $s_{<1>}$ puede ser generada aplicando la primera función de remodelación R_0 en la tubería de funciones de remodelación encadenadas a la primera u original señal de vídeo de entrada $s_{<0>}$ - o en otras palabras, remodelar la primera u original señal de vídeo de entrada $s_{<0>}$ basándose en la primera función de remodelación R_0 . Como se ilustra en la FIG. 2B, la señal de vídeo de salida o remodelada $s_{<1>}$ puede ser una señal SDR remodelada que puede ser igual o aproximarse mucho a la señal de referencia $r_{<1>}$.

La señal SDR remodelada ($s_{<1>}$) puede ser utilizada como señal de vídeo de entrada para la segunda función de remodelación R_1 . La segunda señal de referencia $r_{<2>}$ puede ser una señal PQ de referencia. La señal PQ de referencia puede ser derivada o convertida a partir de la primera u original señal de vídeo de entrada (o la señal de vídeo HLG de entrada) utilizando un códec de vídeo, tal como un códec retrocompatible con HLG o utilizando otros códecs de vídeo que implementen estándares de codificación de vídeo relevantes o perfiles definidos en ellos, tales como el estándar BT. 2100.

La señal de vídeo de salida o remodelada ($s_{<2>}$) es generada al aplicar la segunda función de remodelación R_1 en la tubería de funciones de remodelación encadenadas a la señal de vídeo remodelada $s_{<1>}$ - o en otras palabras, remodelar la señal de vídeo remodelada $s_{<1>}$ basándose en la primera función de remodelación R_1 . La señal de vídeo

de salida o remodelada ($s_{<2>}$) puede ser una señal PQ, que puede ser la misma o aproximarse mucho a la segunda señal de referencia $r_{<2>}$ o la señal PQ de referencia.

Como se muestra, la señal de video SDR remodelada que sale de la primera función de remodelación R_0 pueden ser codificada/representada como datos de imagen de capa de base en una señal de vídeo. Parámetros de función de remodelación, tales como los que especifican la segunda función de remodelación R_1 , pueden ser incluidos como parte de los metadatos de imagen incluidos en la señal de video y utilizados por un dispositivo receptor de la señal de video para reconstruir o remodelar la señal de video SDR representada en los datos de imagen de la capa de base de la señal de video en la señal de video PQ reconstruida o remodelada con imágenes PQ reconstruidas.

Optimización secuencial/encadenada

Se puede utilizar una variedad de predictores para construir o generar funciones de remodelación encadenadas como las descritas aquí, por ejemplo mediante procesos de optimización secuencial. Estos predictores pueden ser predictores avanzados, tales como los predictores TPB (Producto tensorial de B-Splines), así como predictores que no sean TPB.

En algunos escenarios operativos, un problema de optimización para construir funciones de remodelación en toda la tubería de funciones de remodelación encadenadas se puede descomponer en dos problemas de optimización: uno para construir funciones/asignaciones de remodelación (que pueden denominarse funciones de remodelación de luma) utilizadas para el canal de luma y el otro para construir funciones/asignaciones de remodelación (que pueden denominarse funciones de remodelación de croma) para canales de croma. Por ejemplo, una función de remodelación en la tubería de funciones de remodelación puede comprender una función/asignación de remodelación de luma (para remodelar palabras clave de entrada - o palabras clave de luma de entrada - en un canal de luma en palabras clave de salida - o palabras clave de luma de salida - en un canal de luma), así como funciones/asignaciones de remodelación de croma (para remodelar palabras clave de entrada - o palabras clave de luma y croma de entrada - en el canal de luma y croma en palabras clave de salida - o palabras clave de croma de salida - en canales de croma).

En algunos escenarios operativos se puede construir o generar una función/asignación de remodelación de croma y/o luma (por ejemplo, un polinomio de múltiples partes, una tabla de búsqueda unidimensional o 1DLUT, una parte de una tabla de búsqueda tridimensional o 3DLUT, etc.) utilizando técnicas de correspondencia CDF para resolver el problema de optimización para el canal de luma. Además, de manera opcional o alternativa, se pueden construir o generar funciones/asignaciones de remodelación de croma y/o luma con un predictor de canal de color cruzado, tal como técnicas basadas en predicción para múltiples canales de color con regresión múltiple (MMR). Además, de manera opcional o alternativa, se pueden construir o generar funciones o asignaciones de remodelación de croma y/o luma con un predictor de canal de color cruzado, tales como técnicas basadas en predicción de producto tensorial de B-splines (TPB), utilizando funciones B-Spline como funciones base.

Ejemplos de operaciones de correspondencia de funciones de densidad acumulada (CDF) están descritos en la solicitud PCT n.º de serie PCT/US2017/50980, presentada el 11 de septiembre de 2017; solicitud provisional estadounidense n.º de serie 62/404,307, presentada el 5 de octubre de 2016, (también publicada el 5 de abril de 2018, como publicación de solicitud de patente estadounidense n.º de serie 2018/009894).

Ejemplos de operaciones basadas en MMR están descritos en la patente estadounidense 8,811,490.

Ejemplos de operaciones basadas en TPB están descritos la solicitud provisional de patente estadounidense n.º de serie 62/908,770 (Attorney Docket n.º 60175-0417), titulada "TENSOR-PRODUCT B-SPLINE PREDICTOR," presentada el 1 de octubre de 2019.

En un primer ejemplo, las funciones de asignación/asignaciones de croma basadas en MMR (o predictores de MMR) para la k-ésima función de remodelación en la tubería de funciones de remodelación encadenadas pueden ser construidas o generadas como sigue.

Una forma expandida MMR para el i-ésimo píxel de la señal de vídeo de entrada (o una imagen de entrada en ella) es denotada como sigue:

$$\begin{aligned} & \bar{s}_{<k>,i} \\ & = [1 \quad s_{<k>,i}^y \quad s_{<k>,i}^{c0} \quad s_{<k>,i}^{c1} \dots s_{<k>,i}^y s_{<k>,i}^{c0} \dots (s_{<k>,i}^y s_{<k>,i}^{c0})^2 \dots (s_{<k>,i}^{c0})^2 (s_{<k>,i}^{c1})^2 \dots] \end{aligned} \quad (5)$$

Las formas expandidas MMR para todos los píxeles P pueden ser recopiladas en un vector de entrada como sigue:

$$\mathbf{s}_{<k>}^{\square} = \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{s}}_{<k>,0} \\ \bar{\mathbf{s}}_{<k>,1} \\ \vdots \\ \bar{\mathbf{s}}_{<k>,P-1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Una señal o vector de croma de observación (o referencia/objetivo) - donde ch puede ser, o bien un canal c0 o Cb o un canal c1 o Cr - puede formarse basándose en las palabras clave de croma de la señal de video de referencia/objetivo (o una imagen de referencia/objetivo en ella), como sigue:

$$\mathbf{r}_{<k+1>}^{ch} = \begin{bmatrix} r_{<k+1>,0}^{ch} \\ r_{<k+1>,1}^{ch} \\ \vdots \\ r_{<k+1>,P-1}^{ch} \end{bmatrix} \quad (7)$$

5 Los coeficientes MMR, denotados como $\mathbf{m}_{<k>}^{ch}$, pueden ser utilizados para predecir palabras clave de croma de salida o remodeladas en la señal de video de salida o remodelada (o una imagen de salida o remodelada en ella), utilizando una forma de matriz como la siguiente:

$$\mathbf{s}_{<k+1>}^{ch} = \mathbf{s}_{<k>}^{\square} \mathbf{m}_{<k>}^{ch} \quad (8)$$

10 Los coeficientes MMR, $\mathbf{m}_{<k>}^{ch}$, pueden ser optimizados resolviendo un problema de optimización formulado como sigue:

$$\mathbf{m}_{<k>}^{ch,opt} = \underset{\mathbf{m}_{<k>}^{ch}}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{r}_{<k+1>}^{ch} - \mathbf{s}_{<k+1>}^{ch}\| = \underset{\mathbf{m}_{<k>}^{ch}}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{r}_{<k+1>}^{ch} - \mathbf{s}_{<k>}^{\square} \mathbf{m}_{<k>}^{ch}\| \quad (9)$$

Por ejemplo, los coeficientes MMR optimizados pueden ser encontrados o generados a través de la solución de mínimos cuadrados al problema de optimización en la expresión (9), como sigue:

$$\mathbf{m}_{<k>}^{ch,opt} = ((\mathbf{s}_{<k>}^{\square})^T (\mathbf{s}_{<k>}^{\square}))^{-1} ((\mathbf{s}_{<k>}^{\square})^T \mathbf{r}_{<k+1>}^{ch}) \quad (10)$$

15 En algunos escenarios operativos, cada función de remodelación - por ejemplo funciones/asignaciones de remodelación de luma y croma de las mismas - en la tubería de funciones de remodelación encadenadas puede ser generada o construida secuencialmente desde k=0 a K-1. Por ejemplo, las funciones/asignaciones de remodelación de croma en cada función de remodelación en la tubería de funciones de remodelación encadenadas pueden ser generadas o construidas secuencialmente comenzando desde k=0 hasta K-1, utilizando un procedimiento de optimización de ejemplo como se ilustra en la TABLA 1 a continuación.

20

TABLA 1

Señal de entrada: $s_{<0>}$
Señal de referencia : $r_{<k+1>}$, donde $k=0, \dots, K-1$
Para $k=0$ hasta $K-1$
// preparar señal de entrada y señal de salida de referencia de función de remodelación k
$\{s_{<k>}^{(t)}, r_{<k+1>}\}$
// resolver coeficientes de remodelación óptimos
Construir $S_{<k>}$ y $r_{<k+1>}^{ch}$
$m_{<k>}^{ch,opt} = \left((S_{<k>})^T (S_{<k>}) \right)^{-1} \left((S_{<k>})^T r_{<k+1>}^{ch} \right)$
// construir la señal predicha a partir de la función de remodelación
$s_{<k+1>}^{ch} = S_{<k>} m_{<k>}^{ch,opt}$
fin

En un segundo ejemplo, funciones de asignación/asignaciones de croma basadas en TPB (o predictores TPB) para la k-ésima función de remodelación en la tubería de funciones de remodelación encadenadas pueden ser construidas o generadas como sigue.

Para un canal de color ch , se pueden construir las siguientes matrices:

$$S_{<k>}^{ch} = \begin{bmatrix} B_0^{ch}(s_{<k>,0}^y, s_{<k>,0}^{c0}, s_{<k>,0}^{c1}) & \dots & B_{D^{ch}-1}^{ch}(s_{<k>,0}^y, s_{<k>,0}^{c0}, s_{<k>,0}^{c1}) \\ B_0^{ch}(s_{<k>,1}^y, s_{<k>,1}^{c0}, s_{<k>,1}^{c1}) & \dots & B_{D^{ch}-1}^{ch}(s_{<k>,1}^y, s_{<k>,1}^{c0}, s_{<k>,1}^{c1}) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ B_0^{ch}(s_{<k>,p-1}^y, s_{<k>,p-1}^{c0}, s_{<k>,p-1}^{c1}) & \dots & B_{D^{ch}-1}^{ch}(s_{<k>,p-1}^y, s_{<k>,p-1}^{c0}, s_{<k>,p-1}^{c1}) \end{bmatrix} \quad (11-1)$$

$$r_{<k+1>}^{ch} = \begin{bmatrix} r_{<k+1>,0}^{ch} \\ r_{<k+1>,1}^{ch} \\ \vdots \\ r_{<k+1>,p-1}^{ch} \end{bmatrix} \quad (11-2)$$

dónde $B_0^{ch}(\cdot, \cdot), \dots, B_{D^{ch}-1}^{ch}(\cdot, \cdot)$ son las funciones base TPB para el canal ch ; D^{ch} representa un número total de funciones base TPB.

Parámetros operativos TBC optimizados, denotados por $m_{<k>}^{ch,opt}$, para las funciones/asignaciones de remodelación de croma basadas en TPB pueden ser construidas, generadas u obtenidas mediante la solución de mínimos cuadrados a un problema de optimización TPB (global) - por ejemplo, formulado utilizando una formulación similar a la expresión (8) anterior - como sigue:

$$m_{<k>}^{ch,opt} = ((S_{<k>}^{ch})^T S_{<k>}^{ch})^{-1} ((S_{<k>}^{ch})^T r_{<k+1>}^{ch}) \quad (12)$$

Optimización de funciones de remodelación encadenadas

Se puede utilizar una variedad de métodos/algoritmos de optimización para mejorar el rendimiento (por ejemplo, mejorar la precisión en la(s) señal(es) de video reconstruidas, minimizar los errores de predicción, soportar una amplia variedad de códecs de video, etc.) de las funciones de remodelación en una tubería de funciones de remodelación encadenadas. En varios escenarios operativos, estos métodos/algoritmos de optimización pueden o no utilizar restricciones.

En algunos escenarios operativos se puede utilizar un algoritmo/método iterativo – que puede denominarse algoritmo /método BESA (Backward Error Subtraction for signal Adjustement) sin restricciones para mejorar el rendimiento de las funciones de remodelación en una tubería de funciones de remodelación encadenadas. Se puede encontrar un ejemplo de algoritmo/método BESA en la solicitud provisional de patente estadounidense n.º de serie 63/013,063, "Reshaping functions for HDR imaging with continuity and reversibility constraints," de G-M. Su, presentada el 21 de abril de 2020, y la solicitud provisional de patente estadounidense n.º de serie 63/013,807 "Iterative optimization of reshaping functions in single-layer HDR image codec," de G-M. Su and H. Kadu, presentada el 22 de abril de 2020.

El algoritmo/método iterativo puede ser ejecutado en T iteraciones, donde T representa un entero (por ejemplo, preconfigurado, configurado, determinado dinámicamente, presupuestado, etc.) mayor que uno (1). En cada iteración (por ejemplo, iteración t, donde t = 0, ..., T-1) de T iteraciones, la optimización se puede realizar primero hacia adelante para obtener o generar coeficientes de función de remodelación que definen o especifican funciones de remodelación en la tubería de funciones de remodelación encadenadas; luego se puede realizar la modificación de la señal de referencia hacia atrás. Un objetivo del algoritmo/método iterativo es modificar las señales de referencia $r_{<k>}^{(t)}$, en cada iteración t, de modo que se pueda minimizar el error de extremo a extremo (por ejemplo, las diferencias entre una señal de video remodelada final predicha y una señal de video de referencia final, etc.).

En un ejemplo de implementación no limitativo, el algoritmo/método iterativo puede ser implementado o realizado en dos bucles for. En el bucle for exterior de los dos bucles for, el número de iteraciones (t) se incrementa o aumenta en uno hasta que se alcanzan las T las iteraciones como sigue: t = 0, ..., T-1. En el bucle for interior de los dos bucles for puede ser realizada la optimización hacia adelante empezando por la primera función de remodelación, R₀, hasta la última función de remodelación, R_{K-1}.

Al final de cada iteración del bucle for interior de los dos bucles for, la modificación de la señal de referencia hacia atrás puede ser realizada desde la segunda última señal de referencia, $r_{<k-1>}^{(t)}$, a la primera señal de referencia $r_{<1>}^{(t)}$. En algunos escenarios operativos, la última señal de referencia, $r_{<k>}^{(t)}$ es fija, no está sujeta a la modificación de la señal de referencia hacia atrás mencionada. Esto es para mantener la fidelidad de la salida (o la última señal de referencia) de la tubería de funciones de remodelación encadenadas y para evitar la oscilación causada por el cambio de errores finales o de la función de coste final (valores) en cada iteración (lo que resulta en una convergencia nula o relativamente lenta).

Más específicamente, en (por ejemplo cada, etc.) iteración t, en la optimización hacia adelante, cada función de remodelación (por ejemplo, la k-ésima función de remodelación, etc.) puede ser generada o construida realizando una optimización para obtener coeficientes de función de remodelación optimizados $\{m_{<k>}^{(t),ch,opt}\}$ y la señal predicha $s_{<k+1>}^{(t)}$ basada en (1) $s_{<k>}^{(t)}$, que es la primera u original señal de vídeo de entrada (o una primera u original imagen de entrada en ella) si k=0 o una señal de vídeo de entrada actualizada (o una imagen de entrada actualizada en ella) que sale de la función de remodelación (inmediatamente) anterior (por ejemplo, la (k-1)-ésima función de remodelación, etc.) si k ≠ 0, y (2) $r_{<k+1>}^{(t)}$, que es la señal de video de referencia actualizada (o una imagen de referencia actualizada en ella) a partir de la modificación de la señal de referencia hacia atrás realizada al final de la iteración (inmediatamente) anterior. Estas operaciones se pueden realizar secuencialmente para todas las funciones de remodelación en la tubería de funciones de remodelación encadenadas desde k = 0 a K-1.

Al final de cada iteración (t) se puede realizar la modificación de la señal de referencia hacia atrás para cada k calculando un error de predicción para cada canal de color como sigue:

$$e_{<k+1>}^{(t),ch} = r_{<k+1>}^{(k),ch} - s_{<k+1>}^{(t),ch} \quad (13-1)$$

y luego usar el error de predicción para modificar la señal de video de referencia correspondiente (o una imagen de referencia contenida en ella) como sigue:

$$r_{<k>}^{(t+1),ch} = r_{<k>}^{(t),ch} + f(e_{<k+1>}^{(t),ch}) \quad (13-2)$$

Estas operaciones se pueden realizar secuencialmente para todas las señales de video de referencia (excepto la última señal de video de referencia) desde k = K-1 a 1.

En algunos escenarios operativos, una función f() puede ser utilizada para determinar cómo modificar una señal de vídeo de referencia (o una imagen de referencia incluida en ella). La función puede ser utilizada para propagar hacia atrás errores relativamente grandes a la señal de vídeo de referencia. Para cada píxel (o el i-ésimo píxel), la función f() puede ser especificada o definida como sigue:

$$f(e_{<k+1>,i}^{(t),ch}) = \min\{(|e_{<k+1>,i}^{(t),ch}| > \epsilon)? \alpha^{ch} \cdot e_{<k+1>,i}^{(t),ch}; 0, \lambda\} \quad (14)$$

dónde ε es un umbral de error mínimo para determinar si un error es suficientemente grande como para justificar el cambio de la señal de vídeo de referencia (o de la imagen de referencia contenida en ella); α^{ch} representa un factor de velocidad de convergencia (o un factor de escala); λ representa el límite superior para la modificación.

- 5 En algunos escenarios operativos se puede utilizar un factor de escala adaptativo en la función $f()$ donde el factor de escala se reduce a medida que aumenta el índice de iteración t , como sigue:

$$f(e_{<k+1>,i}^{(t),ch}) = \min\{(|e_{<k+1>,i}^{(t),ch}| > \varepsilon) \beta^{t-1} \cdot \alpha^{ch} \cdot e_{<k+1>,i}^{(t),ch}; 0, \lambda\} \quad (15)$$

dónde β es un factor de descuento, tal como como 0,99, 0,98 u otro valor numérico.

En la TABLA 2 a continuación se ilustra un ejemplo de procedimiento de optimización iterativa.

10

TABLA 2

```

Señal de entrada:  $s_{<0>}^{(0)}$ 
Inicializar señal de referencia :  $r_{<k+1>}^{(0)} = r_{<k+1>}$  donde  $k = 0, \dots, K-1$ 
para t=0 hasta T-1
    // hacia delante
    para k=0 hasta K-1
        // preparar señal de entrada y señal de salida de referencia de función de remodelación k
         $\{s_{<k>}^{(t)}, r_{<k+1>}\}$ 
        // resolver coeficientes de remodelación óptimos
        Construir  $s_{<k>}^{(t)}$  y  $r_{<k+1>}^{ch}$ 
         $m_{<k>}^{(t)ch,opt} = \left( (s_{<k>}^{(t)})^T (s_{<k>}^{(t)}) \right)^{-1} \left( (s_{<k>}^{(t)})^T r_{<k+1>}^{ch} \right)$ 
        // construir la señal predicha a partir de la función de remodelación
         $s_{<k+1>}^{(t)ch} = s_{<k>}^{(t)} m_{<k>}^{(t)ch,opt}$ 
    fin
    //hacia atrás
    para k= K-1 a 1
        // computar error de salida
         $e_{<k+1>}^{(t)ch} = r_{<k+1>}^{(k),ch} - s_{<k+1>}^{(t)ch}$ 
        // modificar la señal de referencia para función anterior
         $r_{<k>}^{(k+1)ch} = r_{<k>}^{(k),ch} + f(e_{<k+1>}^{(t)ch})$ 
    fin
fin

```

Selección de un número optimizado de iteraciones

La FIG. 3A ilustra un ejemplo de distorsiones en una primera señal de vídeo SDR remodelada (o una imagen SDR remodelada contenida en ella) que sale de la primera función de remodelación, R_0 , en cada iteración de un algoritmo/método de optimización iterativo utilizado para construir funciones de remodelación en una tubería de funciones de remodelación encadenadas como se ilustra en la FIG. 2B. La FIG. 3B ilustra un ejemplo de distorsiones

15

en una señal de video HDR remodelada (o una imagen HDR remodelada en ella) que sale de la segunda función de remodelación, R_1 , en cada iteración del algoritmo/método de optimización iterativa.

Como se muestra en la FIG. 3B, las distorsiones en la señal de video HDR remodelada que sale de la segunda función de remodelación se reducen gradualmente cuando el número de iteraciones aumenta hasta saturarse en o por debajo de un cierto nivel. En cambio, como se muestra en la FIG. 3A, las distorsiones en la señal de video SDR remodelada que sale de la primera función de remodelación siguen aumentando cuando el número de iteraciones aumenta, sin alcanzar la saturación en o por debajo de un cierto nivel.

Para aumentar la fidelidad de la señal de video remodelada intermedia, se puede adoptar o usar la remodelación de los coeficientes antes de que el número de iteraciones alcance la ronda final (o T iteraciones) para definir funciones de remodelación específicas en la tubería de funciones de remodelación encadenadas. En otras palabras, puede hacerse la remodelación de coeficientes en la iteración t^{opt} , donde $t^{opt} < T$, en lugar de completar el algoritmo/método de optimización iterativo ilustrado en la TABLA 2 hasta la ronda final (o T iteraciones).

En un primer ejemplo se puede utilizar un método objetivo para seleccionar o escoger un número óptimo de iteraciones t^{opt} . Una curva de convergencia que representa distorsiones a través de iteraciones, tal como se ilustra en la FIG. 3A y la FIG. 3B, se puede utilizar para identificar, seleccionar o elegir un índice de iteración específico (o el número óptimo de iteraciones t^{opt}) que tenga la mejor compensación entre las distorsiones en la primera señal de video remodelada que sale de la primera función de remodelación R_0 y las distorsiones en la segunda señal de video remodelada que sale de la segunda función de remodelación R_1 . Por ejemplo, las distorsiones de R_1 , como se ilustra en la FIG. 3B, comienzan a saturarse alrededor de un número específico de iteraciones, como por ejemplo la iteración n.º 8 - que es un punto de inflexión en la curva de convergencia R_1 . Este punto de inflexión se puede identificar o encontrar donde la curva de convergencia R_1 tiene el mayor cambio de la primera derivada en valor absoluto (o la mayor segunda derivada en valor absoluto o magnitud). Como está ilustrado en la FIG. 3A, las distorsiones de R_0 como se ilustran en la FIG. 3A también tienen una distorsión relativamente pequeña en el número específico de iteración (o iteración 8 en este ejemplo) en la curva de convergencia R_0 .

En un segundo ejemplo se puede utilizar un método subjetivo para seleccionar o escoger un número óptimo de iteraciones t^{opt} . Por ejemplo, cada conjunto de coeficientes de remodelación generados u obtenidos en cada iteración puede ser aplicado a un lote de imágenes de prueba para generar imágenes remodeladas que los usuarios (o personas) puedan revisar para ayudar a determinar la mejor compensación entre diferentes señales de video remodeladas de manera subjetiva. Algunas de estas operaciones se pueden realizar manualmente, mientras que otras de estas operaciones se pueden realizar automáticamente.

Algoritmo basado en gradiente inverso

En algunos escenarios operativos, como parte de la modificación de la señal de referencia hacia atrás, se puede calcular un gradiente inverso para una función de remodelación (por ejemplo, cada una, etc.) en una tubería de funciones de remodelación encadenadas, por ejemplo dando una diferencia de entrada (por ejemplo, relativamente pequeña, etc.) en la señal de video de entrada (o una imagen de entrada en ella) a la función de remodelación y midiendo la diferencia de salida causada en la señal de video remodelada (o una imagen de salida en ella) que sale de la función de remodelación. La relación entre la diferencia de entrada y de salida se puede definir o utilizar como gradiente inverso para la función de remodelación.

Por ejemplo, para cada píxel, se puede agregar una diferencia de entrada denotada como Δ en los valores de píxel (antes de agregar delta) $(s_{<k>,i}^{(t)y}, s_{<k>,i}^{(t)co}, s_{<k>,i}^{(t)c1})$ de la imagen de entrada para cada canal, como sigue:

$$(s_{<k>,i}^{(t)y}, s_{<k>,i}^{(t)co}, s_{<k>,i}^{(t)c1}) = (s_{<k>,i}^{(t)y} + \Delta, s_{<k>,i}^{(t)co} + \Delta, s_{<k>,i}^{(t)c1} + \Delta) \quad (16)$$

donde el lado izquierdo (LHS) son valores de píxeles delta agregados.

La función de remodelación puede ser aplicada a los píxeles de la imagen de entrada para generar la diferencia de salida en la señal de video remodelada que sale de la función de remodelación.

La forma expandida MMR para el i -ésimo píxel de la imagen de entrada para los valores de píxel delta agregados

$(s_{<k>,i}^{(t)y}, s_{<k>,i}^{(t)co}, s_{<k>,i}^{(t)c1})$ puede ser dada como sigue:

$$\begin{aligned} \vec{s}_{<k>,i}^{(t)} \\ = [1 \quad s_{<k>,i}^{(t)y} \quad s_{<k>,i}^{(t)co} \quad s_{<k>,i}^{(t)c1} \dots s_{<k>,i}^{(t)y} \quad s_{<k>,i}^{(t)co} \dots (s_{<k>,i}^{(t)y} s_{<k>,i}^{(t)co})^2 \dots (s_{<k>,i}^{(t)co})^2 (s_{<k>,i}^{(t)c1})^2 \dots] \end{aligned} \quad (17)$$

Las formas expandidas MMR para todos los píxeles pueden ser recopiladas en forma de matriz de la siguiente manera:

$$\mathbf{s}_{<k>}^{(t)} = \begin{bmatrix} \bar{s}_{<k>,0}^{(t)} \\ \bar{s}_{<k>,1}^{(t)} \\ \vdots \\ \bar{s}_{<k>,p-1}^{(t)} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Las diferencias de salida en la señal de video remodelada (o la imagen remodelada contenida en ella) se pueden representar o calcular como sigue:

$$\Delta \mathbf{s}_{<k+1>}^{(t),ch} = \mathbf{s}_{<k>}^{(t)} \mathbf{m}_{<k>}^{(t),ch,opt} - \mathbf{s}_{<k+1>}^{(t),ch} \quad (19)$$

Se puede calcular un gradiente inverso para cada píxel como sigue:

$$g_{<k+1>,i}^{(t),ch} = \begin{cases} \frac{\Delta}{\Delta s_{<k+1>,i}^{(t),ch}}, & \text{if } \Delta s_{<k+1>,i}^{(t),ch} \neq 0 \\ 0, & \text{if } \Delta s_{<k+1>,i}^{(t),ch} = 0 \end{cases} \quad (20)$$

El gradiente inverso $g_{<k+1>,i}^{(t),ch}$ se puede utilizar junto con un error calculado $e_{<k+1>}^{(t),ch}$ entre la señal de vídeo remodelada (o la imagen remodelada contenida en ella) y su señal de vídeo de referencia (o una imagen de referencia contenida en ella) para generar una señal de vídeo de referencia actualizada para la siguiente iteración como parte de la modificación de la señal de referencia hacia atrás, como sigue:

$$\mathbf{r}_{<k>}^{(t+1),ch} = \mathbf{r}_{<k>}^{(t),ch} + f(g_{<k+1>}^{(t),ch} e_{<k+1>}^{(t),ch}) \quad (21)$$

Se puede utilizar un procedimiento/método/flujo de codificación similar al ilustrado en la TABLA 2 para generar o construir funciones de remodelación en una tubería de funciones de remodelación encadenadas, aunque con diferentes señales de video de referencia actualizadas en las expresiones anteriores.

Optimización restringida

Como se ilustra en la FIG. 3A, la optimización sin restricciones en una señal de video remodelada intermedia - o la optimización de la señal de video remodelada intermedia sin restricciones ni límites - puede dar como resultado divergencia para las distorsiones. Se pueden implementar restricciones en un proceso de optimización de la función de remodelación como se describe en este documento para mejorar o asegurar la fidelidad de la(s) señal(es) de video remodeladas(s) intermedia(s) generada(s) a partir de una tubería de funciones de remodelación encadenadas construidas por el proceso de optimización de la función de remodelación.

En algunos escenarios operativos, la optimización de la función de remodelación como se describe en este documento se puede implementar o realizar con restricciones estrictas. Dicha optimización puede denominarse optimización con restricciones estrictas.

Por ejemplo, el nivel de corrección de errores para una señal de video remodelada intermedia generada en una tubería de funciones de remodelación encadenadas se puede restringir o controlar colocando límites/cotas a las modificaciones de una señal de video de referencia a la cual el video remodelado intermedio se debe aproximar o tener como objetivo, como sigue:

$$\mathbf{r}_{<k>}^{(t+1),ch} = \text{clip3}\{\mathbf{r}_{<k>}^{(t),ch} + f(e_{<k+1>}^{(t),ch}), \mathbf{r}_{<k>}^{ch,L}, \mathbf{r}_{<k>}^{ch,H}\} \quad (22)$$

donde $\mathbf{r}_{<k>}^{ch,L}$ y $\mathbf{r}_{<k>}^{ch,H}$ representan, respectivamente, el límite inferior y el límite superior del cambio de valor tolerado. Los límites inferior y superior del cambio de valor tolerado se pueden establecer basándose en una distribución o rango de palabras clave real en la señal de vídeo de referencia (o una imagen de referencia en ella). Se pueden utilizar factores de escala o factores de proporción multiplicativos/divisivos y/o deltas aditivas/sustractivas para establecer estos límites superior e inferior en relación con los valores de palabras clave de grupo (por ejemplo, máximo, mínimo, promedio, medio, promedio ponderado, etc.) determinados a partir de la distribución o rango de palabras clave real en la señal de vídeo de referencia (o la imagen de referencia en ella). Los valores para estos factores y/o deltas pueden ser proporcionales, fijos, etc. Por ejemplo, el límite superior puede ser establecido para que sea (a) igual o inferior al valor de palabra clave válido más grande en un espacio de color o un canal de color en el mismo; y (b) no más del 5 % de diferencia (o un valor fijo) con respecto a la palabra clave más grande determinada en la imagen de referencia. De igual modo, el límite superior puede ser establecido para que sea (a) igual o superior al valor de palabra clave válido más pequeño en el espacio de color o el canal de color en el mismo; y (b) no más del 5 % de diferencia (o un valor fijo) respecto de la palabra clave más pequeña determinada en la imagen de referencia.

Se puede utilizar un procedimiento/método/flujo de codificación similar al ilustrado en la TABLA 2 para generar o construir funciones de remodelación en una tubería de funciones de remodelación encadenadas, aunque con modificaciones limitadas a las señales de video de referencia - para que las señales de video remodeladas intermedias se aproximen o alcancen el objetivo - en la expresión (22) anterior.

- 5 Se ha observado que un cambio en un color saturado es más notorio que un cambio en un color neutro. Por lo tanto, los cambios en los colores saturados en una señal de video remodelada intermedia se pueden evitar, limitar, acotar o atenuar de otra manera.

Las modificaciones de señal que afectan a los colores saturados se pueden realizar con una extensión o grado relativamente pequeño o bajo, mientras que las modificaciones de señal que afectan a los colores no saturados, tales como los colores neutros, se pueden realizar con una extensión o grado relativamente grande o alto.

En algunos escenarios operativos, la optimización de la función de remodelación como se describe en este documento puede ser implementada o realizada utilizando un algoritmo o método ponderado con restricción de saturación.

Por ejemplo, se puede establecer un factor de ponderación para cada píxel para un proceso de optimización de la función de remodelación (en su totalidad). Una saturación (valor) para cada píxel en la señal de video de referencia final $r_{<k>}$ (o una imagen de referencia final en ella) se puede calcular y mantener sin cambios en el proceso de optimización de la función de remodelación (en su totalidad), como sigue:

$$\theta_i = (s_{<k>,i}^{c0} - 0.5)^2 + (s_{<k>,i}^{c1} - 0.5)^2 \quad (23)$$

La saturación (valor) para el píxel como se muestra en la expresión (23) anterior se puede convertir o se puede utilizar para construir, un factor de ponderación para el píxel (o un píxel correspondiente en una señal de video remodelada intermedia) a través de una función decreciente no lineal o una forma funcional, como sigue:

$$w_i = \exp(-\frac{\theta_i}{\sigma}) \quad (24)$$

que representa un parámetro de función de factor de ponderación. Un valor de ejemplo de σ puede ser 0,01, 0,011, etc.

Los factores de ponderación para píxeles se pueden utilizar para modificar la(s) señal(es) de video de referencia a las que se aproximan la(s) señal(es) de video remodeladas intermedias. Si se utilizan estos factores de ponderación, cuanto menor sea la saturación que tiene un píxel, mayor será(n) la(s) cantidad(es) de modificación del (de los) valor(es) de píxel correspondientes al píxel. En otras palabras, se permite que un píxel con una saturación más alta tenga una(s) cantidad(s) de modificación relativamente pequeña(s), lo que ayuda a garantizar una fidelidad relativamente alta, tanto de los píxeles de color saturados como de los píxeles de color neutro en las señales de video remodeladas intermedias.

Una función de modificación de señal de referencia se puede definir con factores de ponderación como sigue:

$$f(e_{<k+1>,i}^{(t),ch}) = \min\{|e_{<k+1>,i}^{(t),ch}| > \varepsilon\} \alpha^{ch} \cdot w_i \cdot e_{<k+1>,i}^{(t),ch}; 0, \lambda \} \quad (25)$$

Se puede utilizar un procedimiento/método/flujo de codificación similar al ilustrado en la TABLA 2 para generar o construir funciones de remodelación en una tubería de funciones de remodelación encadenadas, aunque con modificaciones ponderadas por saturación en las señales de video de referencia - para que las señales de video remodeladas intermedias se aproximen o lleguen al objetivo - en la expresión (25) anterior.

La FIG. 3C ilustra ejemplos de distorsiones en una primera señal de video SDR remodelada (o una imagen SDR remodelada contenida en ella) que sale de la primera función de remodelación, R_0 , en cada iteración de un algoritmo/método de optimización ponderada por saturación iterativa utilizado para construir funciones de remodelación en una tubería de funciones de remodelación encadenadas como se ilustra en la FIG. 2B. La FIG. 3D ilustra ejemplos de distorsiones en una señal de video HDR remodelada (o una imagen HDR remodelada en ella) que sale de la segunda función de remodelación, R_1 , en cada iteración del algoritmo/método de optimización ponderada por saturación iterativa.

Como se muestra en la FIG. 3D, las distorsiones en la señal de video HDR remodelada que sale de la segunda función de remodelación se reducen gradualmente cuando el número de iteraciones aumenta hasta saturarse en o por debajo de un cierto nivel. Como se muestra en la FIG. 3C, las distorsiones en la señal de video SDR remodelada que sale de la primera función de remodelación siguen aumentando cuando el número de iteraciones aumenta, alcanzan un pico alrededor de la iteración n.º 15 y luego comienzan a disminuir hasta cerca de un punto de saturación. Por lo tanto, las distorsiones en las señales de video HDR y SDR remodeladas de ambas funciones de remodelación HDR y SDR convergen. Además, no hay un aumento grande o significativo en las distorsiones en la optimización restringida (por ejemplo, restricciones ponderadas por saturación, etc.) como se ilustra en la FIG. 3C y la FIG. 3B en comparación con las distorsiones en la optimización sin restricciones como se ilustra en la FIG. 3A y la FIG. 3B.

Optimización que incorpora conocimiento previo

En algunos escenarios operativos, la optimización de la función de remodelación como se describe en este documento puede incorporar conocimiento previo sobre diferentes grados de color (o señales de video remodeladas) que se generarán a partir de una tubería de funciones de remodelación encadenadas. Por lo tanto, se puede implementar un algoritmo/método que incorpore conocimiento previo (o basado en restricciones) para incorporar dicho conocimiento previo con el fin de generar o construir funciones de remodelación en la tubería de funciones de remodelación encadenadas.

Por ejemplo, los rangos de datos - que representan un subconjunto adecuado de todos los rangos de datos de valores de palabras clave en un espacio de color o dominio de entrada utilizado para codificar o representar contenido de entrada - de valores de palabras clave realmente utilizadas para codificar/representar el contenido de entrada pueden estar disponibles como información o conocimiento previo. Este conocimiento previo sobre los rangos de datos puede ser implementado como restricción en la optimización de la función de remodelación como se describe en este documento y utilizarse para facilitar una transformación del contenido de entrada desde el espacio de color o dominio al contenido intermedio o final en un espacio de color o dominio diferente.

A modo de ilustración, pero no de limitación, se pueden implementar una o más funciones de remodelación (adicionales) en una tubería de funciones de remodelación encadenadas para tener en cuenta transformaciones/restricciones basadas en conocimiento previo de los rangos de datos. Estas funciones de remodelación (adicionales) pueden o bien ser fijas sin ningún parámetro de función de remodelación que se deba optimizar o configurables con solo un subconjunto de un número relativamente pequeño (por ejemplo, uno, dos, etc.) de parámetros de función de remodelación - entre todos los parámetros de función de remodelación - que se deban optimizar. De manera similar, los rangos de datos de salida también se pueden conocer de manera similar como conocimiento previo y se pueden usar para implementar la restricción/transformación en o cerca de la última etapa de la tubería de funciones de remodelación encadenadas con funciones de remodelación fijas o funciones de remodelación con solo un subconjunto de parámetros de remodelación configurable.

La FIG. 2C ilustra un ejemplo de tubería de funciones de remodelación encadenadas que incorpora conocimientos previos. Se puede generar o construir un subconjunto de estas funciones de remodelación encadenadas utilizando métodos o procedimientos de optimización con restricciones o transformaciones como se describe en este documento.

Como se ilustra en la FIG. 2C, una señal de vídeo de entrada (original) (o una imagen de entrada en ella) $s_{<0>}$ representada/codificada en un espacio de color de entrada (o un dominio de entrada) es proporcionada como entrada a la tubería de funciones de remodelación encadenadas. La tubería de funciones de remodelación encadenadas comprende K funciones de remodelación concatenadas entre sí, donde K es un entero mayor que uno (1). Estas K funciones de remodelación incluyen dos funciones de remodelación fijas, $R_0()$ y $R_{K-1}()$, en los dos extremos de la tubería de funciones de remodelación encadenadas. Cada una de las funciones de remodelación fijas $R_0()$ y $R_{K-1}()$ puede o bien no tener ningún parámetro de función de remodelación a ser optimizado o un subconjunto de un número relativamente pequeño de parámetros de función de remodelación para optimizar. Estas K funciones de remodelación también incluyen el subconjunto de las funciones de remodelación encadenadas, tales como $R_1()$ y $R_2()$ que se optimizarán o construirán mediante la optimización de la función de remodelación como se describe en este documento.

La FIG. 2D ilustra un ejemplo (específico) de una tubería de funciones de remodelación encadenadas que incorpora conocimiento previo, que se puede utilizar para implementar la conversión de un códec retrocompatible con HLC a un códec retrocompatible con SDR, como se mencionó anteriormente.

Como se muestra en la FIG. 2D, el conocimiento previo sobre el(los) rango(s) de datos o el color máximo representado en el contenido de entrada - tal como una señal de video de entrada (o una imagen contenida en ella) capturada por una cámara de teléfono móvil en casos de uso aplicables - puede ser incorporado en la optimización de la función de remodelación. Basándose en el conocimiento previo se puede saber que el(los) rango(s) de datos o el color máximo de las imágenes en el contenido de entrada capturado en la cámara de un teléfono móvil existente está un espacio de color o dominio P3, mientras que se puede saber que la señal de video de entrada que comprende las imágenes está almacenada en un contenedor de datos de imagen HLG R.2020 (o espacio de color o dominio HLG R.2020) con rango(s) de datos o color máximo mucho mayor(es) que el espacio de color o dominio P3 realmente utilizado en las imágenes capturadas/almacenadas. Los documentos SMPTE EG 432-1:2010 "Digital Source Processing - Color Processing for D-Cinema" (10 de noviembre de 2010) y SMPTE RP 431-2:2011 "D-Cinema Quality - Reference Projector and Environment" (6 de abril de 2011) describen un ejemplo de espacio de color P3.

Se pueden generar o construir valores de parámetros de función de remodelación optimizados - que definen o especifican funciones de remodelación en la tubería de funciones de remodelación encadenadas - con esta restricción o conocimiento previo en el contenido de entrada para mejorar el rendimiento (por ejemplo, mejora de la fidelidad de la señal remodelada, reducción del error de predicción, etc.) de las funciones de remodelación en toda la tubería de funciones de remodelación encadenadas.

Por ejemplo, como se ilustra en la FIG. 2D, la restricción del (de los) rango(s) de datos o el color máximo en el contenido de entrada se puede aplicar por medio de una función de remodelación fija, tal como la primera función de remodelación R_0 que implementa una transformación del contenido de entrada (nominalmente) en el espacio de color (o dominio) HLG R.2020 a un espacio de color (o dominio) P3.

- 5 Se puede derivar o convertir una señal de video de referencia SDR (o una imagen SDR en ella) a partir de la señal de entrada HLG R.2020 utilizando una API de HLG a SDR o un kit de herramientas.

- 10 La segunda función de remodelación R_1 en la tubería de funciones de remodelación encadenadas recibe dos entradas - (1) la señal de video de referencia SDR (o la imagen SDR en ella) y (2) la señal de video HLG P3 remodelada (o una imagen HLG P3 remodelada en ella) - e intenta aproximarse a la señal de video de referencia SDR (o la imagen SDR) remodelando la señal de video HLG P3 remodelada (o la imagen HLG P3 remodelada en ella) a través de un modelo de predicción representado por la segunda función de remodelación R_1 en una señal de video SDR remodelada - indicada como SDR en la FIG. 2D - o (una imagen SDR remodelada en ella).

- 15 Una señal PQ intermedia en el espacio de color (o dominio) R.2020 puede ser derivada o convertida a partir de la señal de video HLG R.2020 de entrada utilizando un códec de video, tal como un códec retrocompatible con HLG o utilizando otros códecs de video que implementen estándares de codificación de video relevantes o perfiles definidos en el mismo, tal como el estándar BT.2100.

- 20 La señal PQ intermedia en el espacio de color (o dominio) R.2020 puede ser remodelada luego - mediante una función de remodelación fija, tal como la primera función de remodelación R_0 que implementa una transformación del contenido de entrada (nominalmente) en el espacio de color (o dominio) HLG R.2020 a un espacio de color (o dominio) P3 - en una señal de video PQ de referencia representada en el espacio de color (o dominio) P3.

- 25 La tercera función de remodelación R_2 en la tubería de funciones de remodelación encadenadas recibe dos entradas - (1) la señal de video PQ de referencia representada en el espacio de color (o dominio) P3 y (2) la señal de video SDR remodelada (o una imagen SDR remodelada en ella) que sale de la segunda función de remodelación R_1 - e intenta aproximarse a la señal de video PQ de referencia (o a la imagen PQ de referencia contenida en ella) remodelando la señal de video SDR remodelada (o la imagen SDR remodelada contenida en ella) a través de un modelo de predicción representado por la tercera función de remodelación R_2 en una señal de video PQ reconstruida o remodelada - denotada como PQ en la FIG. 2D - o (una imagen PQ reconstruida o remodelada en ella) en el espacio o dominio de color P3.

- 30 Como se muestra, la señal de video SDR remodelada que sale de la segunda función de remodelación R_1 puede ser codificada/representada como datos de imagen de capa de base en una señal de video. Parámetros de función de remodelación, tales como los que especifican la tercera función de remodelación R_2 se puede incluir como parte de los metadatos de imagen incluidos en la señal de video y utilizados por un dispositivo receptor de la señal de video para reconstruir o remodelar la señal de video SDR representada en los datos de imagen de la capa de base de la señal de video en la señal de video PQ reconstruida o remodelada con imagen(es) PQ reconstruidas.

- 35 En algunos escenarios operativos, la señal de video de salida final esperada puede ser una señal de video PQ R.2020 reconstruida o remodelada. La señal de video PQ reconstruida generada a partir de la tercera función de remodelación R_2 puede transformarse adicionalmente mediante una función de remodelación fija o transformación del espacio de color o dominio P3 al espacio de color o dominio R.2020. Además, opcional o alternativamente, la función de remodelación fija o transformación del espacio de color o dominio P3 al espacio de color o dominio R.2020 puede combinarse o encapsularse como parte de una transformación general (por ejemplo, transformación LMS, etc.) del espacio de color o dominio P3 a otro espacio de color o dominio, tal como un espacio de color o dominio LMS. La combinación o encapsulación de la función de remodelación fija o transformación del espacio de color o dominio P3 al espacio de color o dominio R.2020 en la transformación general puede ser señalizada desde un dispositivo de codificación aguas arriba a un dispositivo de decodificación receptor aguas abajo, por ejemplo a través de los metadatos de imagen o metadatos de gestión de visualización (DM) incluidos en el mismo.

El índice de la primera función de remodelación (no fija) a ser optimizada es denotado como k_s , donde $k_s > 0$, y el índice de la última función de remodelación (no fija) a ser optimizada como k_e , donde $k_e < K-1$. En la TABLA 3 que figura a continuación se ilustra un ejemplo de procedimiento de optimización de función de remodelación que incorpora conocimiento previo con o sin las restricciones discutidas anteriormente.

50

TABLA 3

```

Señal de entrada:  $s_{<0>}^{(0)}$ 

Inicializar señal de referencia :  $r_{<k+1>}^{(0)} = r_{<k+1>}$  donde  $k = 0, \dots, K-1$ 

para t=0 hasta T-1
    // hacia delante
    para k= $k_s$  hasta  $k_e$ 
        // preparar señal de entrada y señal de salida de referencia de función de remodelación k
         $\{s_{<k>}^{(t)}, r_{<k+1>}\}$ 
        // resolver coeficientes de remodelación óptimos
        Construir  $S_{<k>}^{(t)}$  y  $r_{<k+1>}^{ch}$ 
        
$$m_{<k>}^{(t)ch,opt} = \left( (S_{<k>}^{(t)})^T (S_{<k>}^{(t)}) \right)^{-1} \left( (S_{<k>}^{(t)})^T r_{<k+1>}^{ch} \right)$$

        // construir la señal predicha a partir de la función de remodelación
         $s_{<k+1>}^{(t)ch} = S_{<k>}^{(t)} m_{<k>}^{(t)ch,opt}$ 
    fin
    //hacia atrás
    para k=  $k_s$  a  $k_s + 1$ 
        // computar error de salida
        
$$e_{<k+1>}^{(t)ch} = r_{<k+1>}^{(k),ch} - s_{<k+1>}^{(t)ch}$$

        // modificar la señal de referencia para función anterior
        
$$r_{<k>}^{(k+1)ch} = r_{<k>}^{(k),ch} + f(e_{<k+1>}^{(t)ch})$$

    fin
fin

```

La FIG. 3E ilustra ejemplos de distorsiones (o una curva de convergencia) para la segunda función de remodelación R_1 de la FIG. 2D que genera la señal de vídeo SDR remodelada. La FIG. 3F ilustra ejemplos de distorsiones (o una curva de convergencia) para la tercera función de remodelación R_2 de la FIG. 2D que genera la señal de vídeo PQ (o HDR) remodelada.

Ejemplos de flujos de proceso

La FIG. 4A ilustra un ejemplo de flujo de proceso según una realización. En algunas realizaciones, uno o más dispositivos o componentes informáticos (por ejemplo, un dispositivo/módulo de codificación, un dispositivo/módulo de transcodificación, un dispositivo/módulo de decodificación, un dispositivo/módulo de asignación de tonos inverso, un dispositivo/módulo de asignación de tonos, un dispositivo/módulo de medios, un sistema de generación y aplicación de asignación inverso, etc.) pueden realizar este flujo de proceso. En el bloque 402, un sistema de procesamiento de imágenes recibe una imagen de entrada de una señal de vídeo de entrada a una tubería de funciones de remodelación encadenadas. La tubería de funciones de remodelación encadenadas incluye una cadena de funciones de remodelación.

En el bloque 404, el sistema de procesamiento de imágenes genera dos o más imágenes de referencia para dos o más grados de color de referencia a partir de la señal de vídeo de entrada. Cada imagen de referencia en las dos o más imágenes de referencia corresponde a un grado de color de referencia respectivo en los dos o más grados de color de referencia.

- En el bloque 406, el sistema de procesamiento de imágenes utiliza la imagen de entrada y las dos o más imágenes de referencia para determinar dos o más conjuntos de parámetros operativos para dos o más funciones de remodelación encadenadas en la tubería de funciones de remodelación encadenadas. Cada conjunto de parámetros operativos especifica una función de remodelación encadenada respectiva en las dos o más funciones de remodelación encadenadas. Cada función de remodelación encadenada en las dos o más funciones de remodelación encadenadas es utilizada para generar una imagen remodelada respectiva en dos o más imágenes remodeladas en dos o más grados de color de remodelación.
- En el bloque 408, el sistema de procesamiento de imágenes codifica una imagen remodelada seleccionada en un grado de color de remodelación seleccionado, entre las dos o más imágenes remodeladas en los dos o más grados de color de remodelación, en una señal de vídeo junto con metadatos de imagen. Los metadatos de imagen incluyen uno o más conjuntos de parámetros operativos para una o más funciones de remodelación encadenadas entre las dos o más funciones de remodelación encadenadas. Se hace que un dispositivo receptor de la señal de vídeo utilice los metadatos de imagen y la imagen remodelada seleccionada para generar una imagen reconstruida de un grado de color de remodelación distinto del grado de color de remodelación seleccionado.
- En una realización, la señal de vídeo representa una señal de capa única retrocompatible.
- En una realización, la señal de vídeo de entrada corresponde a un primer perfil de codificación de vídeo; los dos o más grados de color remodelados corresponden a uno o más segundos perfiles de codificación de vídeo, cada uno de los cuales es diferente de los primeros archivos de codificación de vídeo.
- En una realización, los dos o más segundos perfiles de codificación de vídeo incluyen al menos un perfil de codificación de vídeo soportado por uno o más de: dispositivos iOS, dispositivos Android, tabletas, ordenadores portátiles, ordenadores de escritorio, dispositivos de usuario con diferentes capacidades de visualización, etc.
- En una realización, la imagen de entrada, las dos o más imágenes de referencia y las dos o más imágenes remodeladas incluyen al menos una de: una imagen de 8 bits, una imagen de 10 bits, una imagen de 12 bits, una imagen hybrid log gamma (HLG), una imagen cuantificada perceptual (PQ), una imagen de alto rango dinámico (HDR), una imagen de rango dinámico estándar (SDR), una imagen de rango dinámico extendido (EDR), una imagen representada en un espacio de color Rec. 2020, una imagen representada en un espacio de color Rec. 2100, una imagen representada en un espacio de color P3, etc.
- En una realización, el conjunto de parámetros operativos que especifica la respectiva función de remodelación encadenada se determina minimizando los errores de predicción entre una imagen remodelada generada con la respectiva función de remodelación encadenada y una imagen de referencia correspondiente en las dos o más imágenes de referencia.
- En una realización, los dos o más conjuntos de parámetros operativos que especifican, respectivamente, las dos o más funciones de remodelación encadenadas se determinan mediante un número total de iteraciones minimizando los errores de predicción entre cada una de las dos o más imágenes remodeladas generadas, respectivamente, con las dos o más funciones de remodelación encadenadas y una imagen de referencia correspondiente en las dos o más imágenes de referencia; el número total es seleccionado de uno de: un número de iteraciones fijo, un número de iteraciones correspondiente a un punto de inflexión en las distorsiones representadas por los errores de predicción o un número de iteraciones seleccionado basándose al menos en parte en la entrada del usuario.
- En una realización, el número total de iteraciones comprende una primera iteración en la que se genera un subconjunto de errores de predicción en los errores de predicción; el subconjunto de errores de predicción en los primeros errores de predicción se utiliza para modificar las dos o más imágenes de referencia utilizadas para una segunda iteración después de la primera iteración.
- En una realización, las palabras clave en las dos o más imágenes de referencia se modifican con uno de: gradientes inversos calculados a partir del subconjunto de errores de predicción, restricciones estrictas utilizadas para limitar las modificaciones a las palabras clave, restricciones suaves utilizadas para limitar las modificaciones a las palabras clave relativamente saturadas entre las palabras clave, etc.
- En una realización, la tubería de funciones de remodelación encadenadas incluye una función de remodelación fija que es determinada basándose al menos en parte en el conocimiento previo acerca de al menos una de la señal de vídeo de entrada y los dos o más grados de color de referencia.
- En una realización, los dos o más grados de color de remodelación generados por la tubería de funciones de remodelación encadenadas incluyen un grado de color de remodelación final que se aproxima a un grado de color de referencia final en los dos o más grados de color de referencia; el grado de color de referencia final es diferente de la señal de vídeo de entrada en al menos uno: profundidad de bits, rango dinámico, espacio de color, resolución espacial, dominio, perfil de codificación de vídeo, etc.

La FIG. 4B ilustra un ejemplo de flujo de proceso según una realización. En algunas realizaciones, uno o más dispositivos o componentes informáticos (por ejemplo un dispositivo/módulo de codificación, un dispositivo/módulo de transcodificación, un dispositivo/módulo de decodificación, un dispositivo/módulo de asignación de tono inverso, un dispositivo/módulo de asignación de tono, un dispositivo/módulo de medios, un sistema de generación y aplicación de asignación inverso, etc.) pueden realizar este flujo de proceso. En el bloque 452, un sistema de procesamiento de imágenes decodifica una imagen remodelada en un grado de color de remodelación, junto con metadatos de imagen, a partir de una señal de vídeo. Los metadatos de imagen incluyen uno o más conjuntos de parámetros operativos que especifican, respectivamente, una o más funciones de remodelación encadenadas en una tubería de funciones de remodelación encadenadas.

En el bloque 454, el sistema de procesamiento de imágenes aplica al menos una de las una o más funciones de remodelación encadenadas a la imagen remodelada decodificada de la señal de vídeo para generar una segunda imagen remodelada en un segundo grado de color de remodelación.

En el bloque 456, el sistema de procesamiento de imágenes representa, en un dispositivo de visualización, una imagen de visualización generada a partir de la segunda imagen remodelada.

En una realización, el uno o más conjuntos de parámetros operativos especifican uno o más de: un polinomio de múltiples partes, una tabla de búsqueda unidimensional (1DLUT), una tabla de búsqueda tridimensional (3DLUT), un predictor de canal de color cruzado, un predictor para múltiples canales de color de regresión múltiple (MMR), un predictor con funciones B-Spline como funciones base, un predictor de producto tensorial de B-splines (TPB), etc.

En una realización, un dispositivo informático, tal como un dispositivo de visualización, un dispositivo móvil, un decodificador, un dispositivo multimedia, etc., está configurado para realizar cualquiera de los métodos anteriores. En una realización, un aparato comprende un procesador y está configurado para realizar cualquiera de los métodos anteriores. En una realización, un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que almacena instrucciones de software provoca la ejecución de cualquiera de los métodos anteriores cuando son ejecutados por uno o más procesadores.

En una realización, un dispositivo informático comprende uno o más procesadores y uno o más medios de almacenamiento que almacenan un conjunto de instrucciones que provocan la ejecución de cualquiera de los métodos anteriores cuando son ejecutadas por el uno o más procesadores.

Hay que tener en cuenta que, aunque en este documento se analizan realizaciones separadas, cualquier combinación de realizaciones y/o realizaciones parciales tratadas en este documento pueden combinarse para formar otras realizaciones.

Ejemplo de implementación de un sistema informático

Las realizaciones de la presente invención pueden implementarse con un sistema informático, sistemas configurados en circuitos y componentes electrónicos, un dispositivo de circuito integrado (IC) tal como un microcontrolador, una matriz de puertas lógicas programables en campo (FPGA) u otro dispositivo lógico configurable o programable (PLD), un procesador de señal digital o de tiempo discreto (DSP), un IC específico de aplicación (ASIC) y/o un aparato que incluya uno o más de tales sistemas, dispositivos o componentes. El ordenador y/o el IC pueden realizar, controlar o ejecutar instrucciones relacionadas con la cuantificación perceptual adaptativa de imágenes con rango dinámico mejorado, como las descritas en el presente documento. El ordenador y/o el IC pueden calcular cualquiera de una variedad de parámetros o valores que se relacionan con los procesos de cuantificación perceptual adaptativa descritos en el presente documento. Las realizaciones de imagen y vídeo pueden ser implementadas en hardware, software, firmware y varias combinaciones de los mismos.

Ciertas implementaciones de la invención comprenden procesadores informáticos que ejecutan instrucciones de software que hacen que los procesadores realicen el método de la divulgación. Por ejemplo, uno o más procesadores en una pantalla, un codificador, un decodificador, un transcodificador o similar pueden implementar métodos relacionados con la cuantificación perceptual adaptativa de imágenes HDR como se describió anteriormente mediante la ejecución de instrucciones de software en una memoria de programa accesible a los procesadores. Las realizaciones de la invención también pueden ser proporcionadas en forma de un producto de programa. El producto de programa puede comprender cualquier medio no transitorio que transporta un conjunto de señales legibles por ordenador que comprenden instrucciones que, cuando son ejecutadas por un procesador de datos, hacen que el procesador de datos ejecute un método de una realización de la invención. Los productos de programa según las realizaciones de la invención pueden estar en cualquiera de una amplia variedad de formas. El producto de programa puede comprender por ejemplo medios físicos, tales como medios de almacenamiento de datos magnéticos que incluyen disquetes, unidades de disco duro, medios de almacenamiento de datos ópticos que incluyen CD ROM, DVD, medios de almacenamiento de datos electrónicos que incluyen ROM, RAM flash o similares. Las señales legibles por ordenador en el producto del programa pueden ser comprimidas o encriptadas opcionalmente.

Cuando se hace referencia a un componente (por ejemplo un módulo de software, procesador, conjunto, dispositivo, circuito, etc.), a menos que se indique lo contrario, la referencia a ese componente (incluida una referencia a unos "medios") debe interpretarse como que incluye como equivalente de ese componente cualquier componente que

realice la función del componente descrito (por ejemplo, que sea funcionalmente equivalente), incluidos componentes que no sean estructuralmente equivalentes a la estructura divulgada que realiza la función en las realizaciones de ejemplo de la invención ilustradas.

Según una realización, las técnicas descritas en el presente documento se implementan mediante uno o más dispositivos informáticos de propósito especial. Los dispositivos informáticos de propósito especial pueden estar conectados por cable para realizar las técnicas, o pueden incluir dispositivos electrónicos digitales, tales como uno o más circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC) o matrices de puertas lógicas programables en campo (FPGA) que están programados de forma persistente para realizar las técnicas, o pueden incluir uno o más procesadores de hardware de propósito general programados para realizar las técnicas de conformidad con instrucciones de programa en firmware, memoria, otro almacenamiento o una combinación. Dichos dispositivos informáticos de propósito especial también pueden combinar lógica de conexión por cable personalizada, ASIC o FPGA con programación personalizada para realizar las técnicas. Los dispositivos informáticos de propósito especial pueden ser sistemas de ordenador de escritorio, sistemas de ordenador portátil, dispositivos de mano, dispositivos de red o cualquier otro dispositivo que incorpore lógica de conexión por cable y/o lógica de programa para implementar las técnicas.

Por ejemplo, la FIG. 5 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema informático 500 en donde se puede implementar una realización de la invención. El sistema informático 500 incluye un bus 502 u otro mecanismo de comunicación para comunicar información, y un procesador de hardware 504 acoplado al bus 502 para procesar información. El procesador de hardware 504 puede ser, por ejemplo, un microprocesador de propósito general.

El sistema informático 500 también incluye una memoria principal 506, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM) u otro dispositivo de almacenamiento dinámico, acoplado al bus 502 para almacenar información e instrucciones a ser ejecutadas por el procesador 504. La memoria principal 506 también puede ser usada para almacenar variables temporales u otra información intermedia durante la ejecución de instrucciones a ser ejecutadas por el procesador 504. Tales instrucciones, cuando se almacenan en medios de almacenamiento no transitorios accesibles al procesador 504, convierten al sistema informático 500 en una máquina de propósito especial que está personalizada para realizar las operaciones especificadas en las instrucciones.

El sistema informático 500 incluye además una memoria de solo lectura (ROM) 508 u otro dispositivo de almacenamiento estático acoplado al bus 502 para almacenar información estática e instrucciones para el procesador 504. Es proporcionado un dispositivo de almacenamiento 510, tal como un disco magnético o un disco óptico, y se acopla al bus 502 para almacenar información e instrucciones.

El sistema informático 500 puede estar acoplado a través del bus 502 a una pantalla 512, tal como una pantalla de cristal líquido, para mostrar información a un usuario de ordenador. Un dispositivo de entrada 514, que incluye teclas alfanuméricas y de otro tipo, está acoplado al bus 502 para comunicar información y selecciones de comandos al procesador 504. Otro tipo de dispositivo de entrada de usuario es el control del cursor 516, tal como un ratón, una bola de seguimiento o teclas de dirección de cursor para comunicar información de dirección y selecciones de comandos al procesador 504 y para controlar el movimiento del cursor en la pantalla 512. Este dispositivo de entrada normalmente tiene dos grados de libertad en dos ejes, un primer eje (por ejemplo x) y un segundo eje (por ejemplo y), que permite al dispositivo especificar posiciones en un plano.

El sistema informático 500 puede implementar las técnicas descritas en este documento utilizando una lógica de conexión por cable personalizada, uno o más ASIC o FPGA, firmware y/o lógica de programa que, en combinación con el sistema informático, hace o programa que el sistema informático 500 sea una máquina de propósito especial. Según una realización, las técnicas descritas en este documento son ejecutadas por el sistema informático 500 en respuesta a la ejecución por parte del procesador 504 de una o más secuencias de una o más instrucciones contenidas en la memoria principal 506. Tales instrucciones pueden leerse en la memoria principal 506 desde otro medio de almacenamiento, tal como el dispositivo de almacenamiento 510. La ejecución de las secuencias de instrucciones contenidas en la memoria principal 506 hace que el procesador 504 realice los pasos del proceso descritos en este documento. En realizaciones alternativas se pueden utilizar circuitos de conexión por cable en lugar de instrucciones de software o en combinación con ellas.

El término "medio de almacenamiento" tal como se utiliza en el presente documento se refiere a cualquier medio no transitorio que almacene datos y/o instrucciones que hagan que una máquina funcione de una manera específica. Tales medios de almacenamiento pueden comprender medios no volátiles y/o medios volátiles. Los medios no volátiles incluyen, por ejemplo, discos ópticos o magnéticos, tal como el dispositivo de almacenamiento 510. Los medios volátiles incluyen memoria dinámica, tal como la memoria principal 506. Las formas comunes de medios de almacenamiento incluyen, por ejemplo, un disquete, un disco flexible, un disco duro, una unidad de estado sólido, una cinta magnética o cualquier otro medio de almacenamiento de datos magnético, un CD-ROM, cualquier otro medio de almacenamiento de datos óptico, cualquier medio físico con patrones de agujeros, una RAM, una PROM y una EPROM, una FLASH-EPROM, NVRAM, cualquier otro chip o cartucho de memoria.

Los medios de almacenamiento son distintos de los medios de transmisión, pero pueden utilizarse junto con ellos. Los medios de transmisión participan en la transferencia de información entre medios de almacenamiento. Por ejemplo, los medios de transmisión incluyen cables coaxiales, cables de cobre y fibra óptica, incluyendo los cables que comprende el bus 502. Los medios de transmisión también pueden adoptar la forma de ondas acústicas o de luz, tales como las generadas durante las comunicaciones de datos por radiofrecuencia e infrarrojos.

Pueden estar implicadas diversas formas de medios para llevar una o más secuencias de una o más instrucciones al procesador 504 para su ejecución. Por ejemplo, las instrucciones pueden estar inicialmente contenidas en un disco magnético o en una unidad de estado sólido de un ordenador remoto. El ordenador remoto puede cargar las instrucciones en su memoria dinámica y enviarlas a través de una línea telefónica utilizando un módem. Un módem local del sistema informático 500 puede recibir los datos en la línea telefónica y utilizar un transmisor de infrarrojos para convertir los datos en una señal de infrarrojos. Un detector de infrarrojos puede recibir los datos que lleva la señal de infrarrojos y un circuito adecuado puede colocar los datos en el bus 502. El bus 502 lleva los datos a la memoria principal 506, desde la que el procesador 504 recupera y ejecuta las instrucciones. Las instrucciones recibidas por la memoria principal 506 pueden ser almacenadas opcionalmente en el dispositivo de almacenamiento 510 antes o después de su ejecución por el procesador 504.

El sistema informático 500 también incluye una interfaz de comunicación 518 acoplada al bus 502. La interfaz de comunicación 518 proporciona un acoplamiento de comunicación de datos bidireccional a un enlace de red 520 que está conectado a una red local 522. Por ejemplo, la interfaz de comunicación 518 puede ser una tarjeta de red digital de servicios integrados (ISDN), un módem por cable, un módem por satélite o un módem para proporcionar una conexión de comunicación de datos a un tipo correspondiente de línea telefónica. Como otro ejemplo, la interfaz de comunicación 518 puede ser una tarjeta de red de área local (LAN) para proporcionar una conexión de comunicación de datos a una LAN compatible. También se pueden implementar enlaces inalámbricos. En cualquier implementación de este tipo, la interfaz de comunicación 518 envía y recibe señales eléctricas, electromagnéticas u ópticas que llevan flujos de datos digitales que representan varios tipos de información.

El enlace de red 520 proporciona típicamente comunicación de datos a través de una o más redes a otros dispositivos de datos. Por ejemplo, el enlace de red 520 puede proporcionar una conexión a través de la red local 522 a un ordenador anfitrión 524 o a un equipo de datos operado por un proveedor de servicios de Internet (ISP) 526. El ISP 526 a su vez proporciona servicios de comunicación de datos a través de la red mundial de comunicación de datos por paquetes, ahora comúnmente denominada "Internet" 528. Tanto la red local 522 como Internet 528 utilizan señales eléctricas, electromagnéticas u ópticas que transportan flujos de datos digitales. Las señales a través de las diversas redes y las señales en el enlace de red 520 y a través de la interfaz de comunicación 518, que transporta los datos digitales hacia y desde el sistema informático 500, son ejemplos de medios de transmisión.

El sistema informático 500 puede enviar mensajes y recibir datos, que incluyen código de programa, a través de la(s) red(es), el enlace de red 520 y la interfaz de comunicación 518. En el ejemplo de Internet, un servidor 530 podría transmitir un código solicitado para un programa de aplicación a través de Internet 528, el ISP 526, la red local 522 y la interfaz de comunicación 518.

El código recibido puede ser ejecutado por el procesador 504 a medida que lo recibe, y/o almacenado en el dispositivo de almacenamiento 510, u otro almacenamiento no volátil para su ejecución posterior.

Equivalencias, extensiones, alternativas y varios

En la memoria descriptiva anterior se han descrito realizaciones de la invención con referencia a numerosos detalles específicos que pueden variar de una implementación a otra. Por lo tanto, el único y exclusivo indicador de lo que se reivindica como realizaciones de la invención, y lo que los solicitantes pretenden que se reivindique como realizaciones de la invención, es el conjunto de reivindicaciones que se derivan de esta solicitud en la forma específica en que se formulan dichas reivindicaciones, incluida cualquier corrección posterior. Para cualquier definición expresamente establecida en el presente documento para los términos contenidos en dichas reivindicaciones regirá el significado de dichos términos tal como se utilizan en las reivindicaciones. Por lo tanto, ninguna limitación, elemento, propiedad, característica, ventaja o atributo que no se cite expresamente en una reivindicación debe limitar en modo alguno el alcance de dicha reivindicación. Por lo tanto, la memoria descriptiva y los dibujos deben considerarse en un sentido ilustrativo en lugar de restrictivo.

REIVINDICACIONES

1. Método que comprende:

recibir (402) una imagen de entrada de una señal de vídeo de entrada como entrada a una tubería de funciones de remodelación encadenadas, incluyendo la tubería de funciones de remodelación encadenadas una cadena de

generar (404) dos o más imágenes de referencia para dos o más grados de color de referencia a partir de la imagen de entrada de la señal de vídeo de entrada, correspondiendo cada imagen de referencia en las dos o más imágenes de referencia a un grado de color de referencia respectivo en los dos o más grados de color de referencia, siendo los dos o más grados de color de referencia diferentes entre sí y del grado de color de la imagen de entrada;

utilizar (406) la imagen de entrada y las dos o más imágenes de referencia para determinar dos o más conjuntos de parámetros operativos para dos o más funciones de remodelación encadenadas en la tubería de funciones de remodelación encadenadas, especificando cada conjunto de parámetros operativos una función de remodelación encadenada respectiva en las dos o más funciones de remodelación encadenadas, de tal manera que cada función de remodelación encadenada en las dos o más funciones de remodelación encadenadas genera una imagen remodelada respectiva en dos o más imágenes remodeladas en dos o más grados de color de remodelación, siendo cada uno de los dos o más grados de color de remodelación el mismo o aproximándose a uno correspondiente de los dos o más grados de color de referencia;

codificar (408) una imagen remodelada seleccionada en un primer grado de color de remodelación, entre las dos o más imágenes remodeladas en los dos o más grados de color de remodelación, en una señal de vídeo junto con metadatos de imagen, correspondiendo el primer grado de color de remodelación a una primera función de remodelación encadenada que genera la imagen remodelada seleccionada en el primer grado de color de remodelación, incluyendo los metadatos de imagen uno o más conjuntos de parámetros operativos para una segunda o más funciones de remodelación encadenadas entre las dos o más funciones de remodelación encadenadas, siguiendo la segunda o más funciones de remodelación encadenadas a la primera función de remodelación en la cadena de funciones de remodelación, generando la segunda o más funciones de remodelación encadenadas una imagen reconstruida del segundo grado de color de remodelación, haciendo que un dispositivo receptor de la señal de vídeo utilice los metadatos de imagen y la imagen remodelada seleccionada para generar una imagen reconstruida del segundo grado de color de remodelación.

2. Método según la reivindicación 1, en el que la señal de vídeo representa una señal monocapa retrocompatible.

3. Método según la reivindicación 1 o 2, en el que la señal de vídeo de entrada corresponde a un primer perfil de codificación de vídeo; en el que los dos o más grados de color remodelados corresponden a uno o más segundos perfiles de codificación de vídeo, cada uno de los cuales es diferente de los primeros perfiles de codificación de vídeo.

4. Método según la reivindicación 3, en el que los dos o más segundos perfiles de codificación de vídeo incluyen al menos un perfil de codificación de vídeo soportado por uno o más de: dispositivos iOS, dispositivos Android, tabletas, ordenadores portátiles, ordenadores de escritorio o dispositivos de usuario con diferentes capacidades de visualización.

5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que la imagen de entrada, las dos o más imágenes de referencia y las dos o más imágenes remodeladas incluyen al menos una de: una imagen de 8 bits, una imagen de 10 bits, una imagen de 12 bits, una imagen hybrid log gamma (HLG), una imagen cuantificada perceptual (PQ), una imagen de alto rango dinámico (HDR), una imagen de rango dinámico estándar (SDR), una imagen de rango dinámico extendido (EDR), una imagen representada en un espacio de color Rec. 2020, una imagen representada en un espacio de color Rec. 2100 o una imagen representada en un espacio de color P3.

6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que el conjunto de parámetros operativos que especifica la respectiva función de remodelación encadenada se determina minimizando los errores de predicción entre una imagen remodelada generada con la respectiva función de remodelación encadenada y una imagen de referencia correspondiente en las dos o más imágenes de referencia.

7. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que los dos o más conjuntos de parámetros operativos que especifican, respectivamente, las dos o más funciones de remodelación encadenadas se determinan mediante un número total de iteraciones minimizando los errores de predicción entre cada una de las dos o más imágenes remodeladas generadas, respectivamente, con las dos o más funciones de remodelación encadenadas y una imagen de referencia correspondiente en las dos o más imágenes de referencia; en donde el número total es seleccionado de uno de: un número de iteraciones fijo, un número de iteraciones correspondiente a un punto de inflexión en las distorsiones representadas por los errores de predicción, o un número de iteraciones seleccionado basándose al menos en parte en la entrada del usuario.

8. Método según la reivindicación 7, en el que el número total de iteraciones comprende una primera iteración en la que es generado un subconjunto de errores de predicción en los errores de predicción; en donde el subconjunto de errores de predicción en los primeros errores de predicción se utiliza para modificar las dos o más imágenes de referencia utilizadas para una segunda iteración después de la primera iteración.
- 5 9. Método según la reivindicación 8, en el que las palabras clave en las dos o más imágenes de referencia se modifican con uno de: gradientes inversos calculados a partir del subconjunto de errores de predicción, restricciones estrictas utilizadas para limitar las modificaciones a las palabras clave o restricciones suaves utilizadas para limitar las modificaciones a palabras clave relativamente saturadas entre las palabras clave.
- 10 10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que la tubería de funciones de remodelación encadenadas incluye una función de remodelación fija que es determinada basándose al menos en parte en el conocimiento previo acerca de al menos una de la señal de vídeo de entrada y los dos o más grados de color de referencia.
- 15 11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 -10, en el que los dos o más grados de color de remodelación generados por la tubería de funciones de remodelación encadenadas incluyen un grado de color de remodelación final que se aproxima a un grado de color de referencia final en los dos o más grados de color de referencia; en donde el grado de color de referencia final es diferente del de la señal de vídeo de entrada en al menos uno de: profundidad de bits, rango dinámico, espacio de color, resolución espacial, dominio o perfil de codificación de vídeo.
- 20 12. Método que comprende:
- 25 decodificar (452) una imagen remodelada en un primer grado de color de remodelación, junto con metadatos de imagen, a partir de una señal de vídeo, incluyendo los metadatos de imagen dos o más conjuntos de parámetros operativos, especificando cada conjunto de parámetros operativos una función de remodelación encadenada respectiva en dos o más funciones de remodelación encadenadas, de modo que cada función de remodelación encadenada en las dos o más funciones de remodelación encadenadas genera una imagen remodelada respectiva en dos o más imágenes remodeladas en dos o más segundos grados de color de remodelación, siendo los dos o más segundos grados de color de remodelación diferentes entre sí y del primer grado de color de remodelación;
- determinar un segundo grado de color de remodelación en los dos o más segundos grados de color de remodelación que corresponda a las capacidades de un dispositivo de visualización (140-1) para representar la imagen remodelada en el segundo grado de color de remodelación en el dispositivo de visualización (140-1);
- 30 aplicar (454) al menos una de las dos o más funciones de remodelación encadenadas a la imagen remodelada decodificada a partir de la señal de vídeo para generar una segunda imagen remodelada en el segundo grado de color de remodelación;
- representar (456), en el dispositivo de visualización (140-1), una imagen de visualización generada a partir de la segunda imagen remodelada.
- 35 13. Método según la reivindicación 12, en el que el uno o más conjuntos de parámetros operativos especifican uno o más de: un polinomio de múltiples partes, una tabla de búsqueda unidimensional (1DLUT), una tabla de búsqueda tridimensional (3DLUT), un predictor de canal de color cruzado, un predictor con múltiples canales de color (MMR) de regresión múltiple, un predictor con funciones B-Spline como funciones base o un predictor de producto tensorial de B-splines (TPB).
- 40 14. Aparato (500) que comprende un procesador (504) y configurado para realizar uno cualquiera de los métodos según las reivindicaciones 1 a 13.
15. Medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que tiene almacenada en él una instrucción ejecutable por ordenador para ejecutar un método con uno o más procesadores (504) de acuerdo con cualquiera de los métodos según las reivindicaciones 1 a 13.

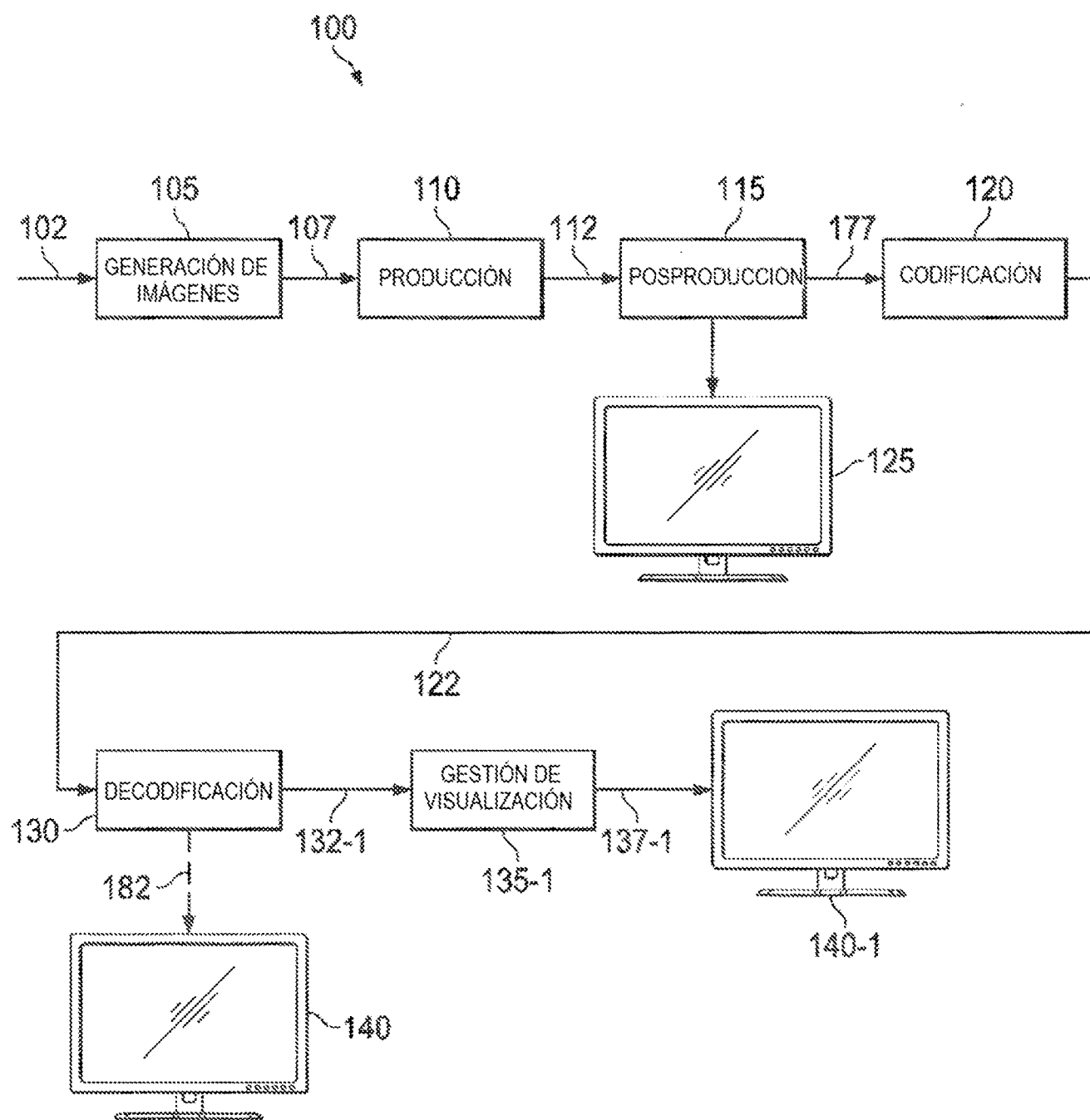


FIG. 1

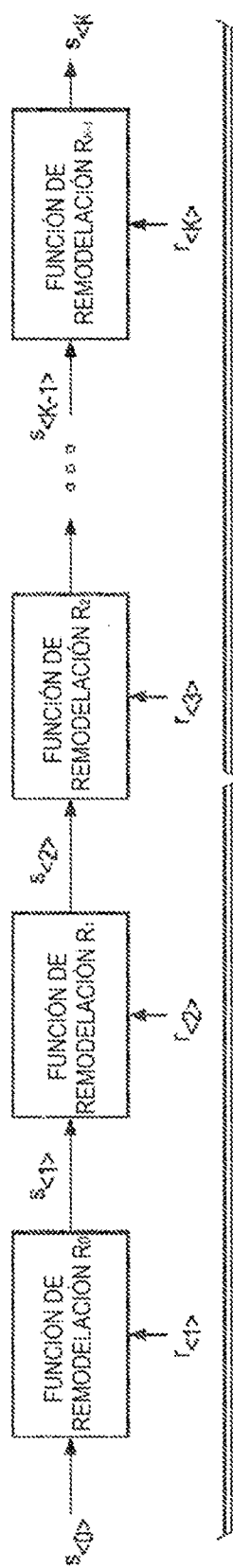


FIG. 2A

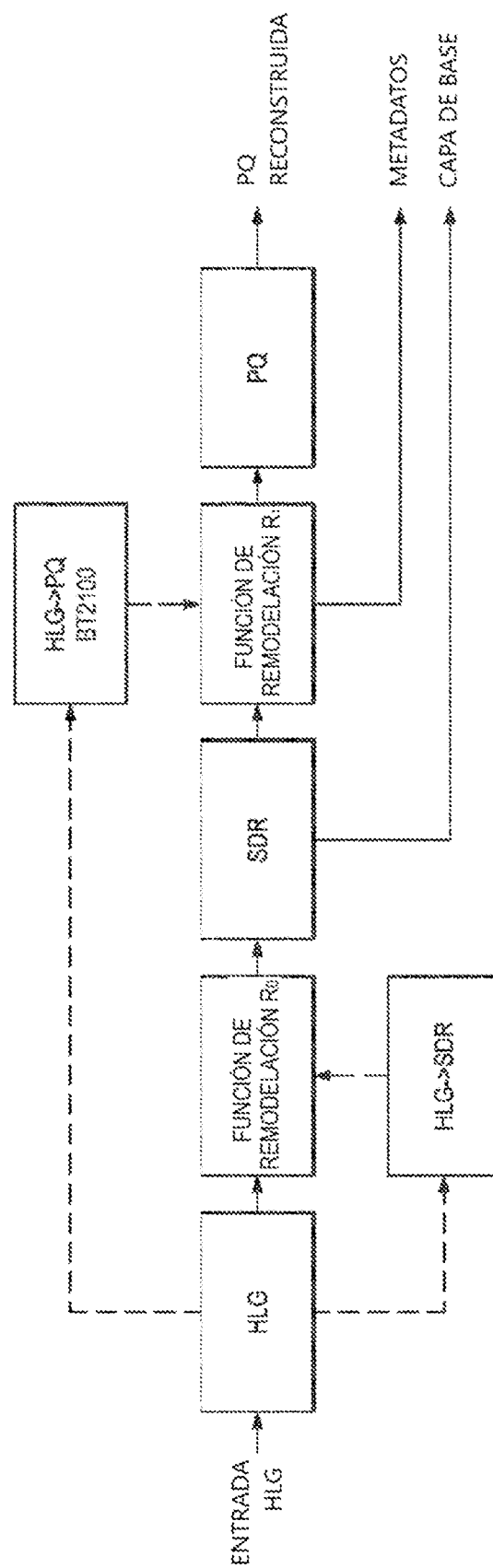
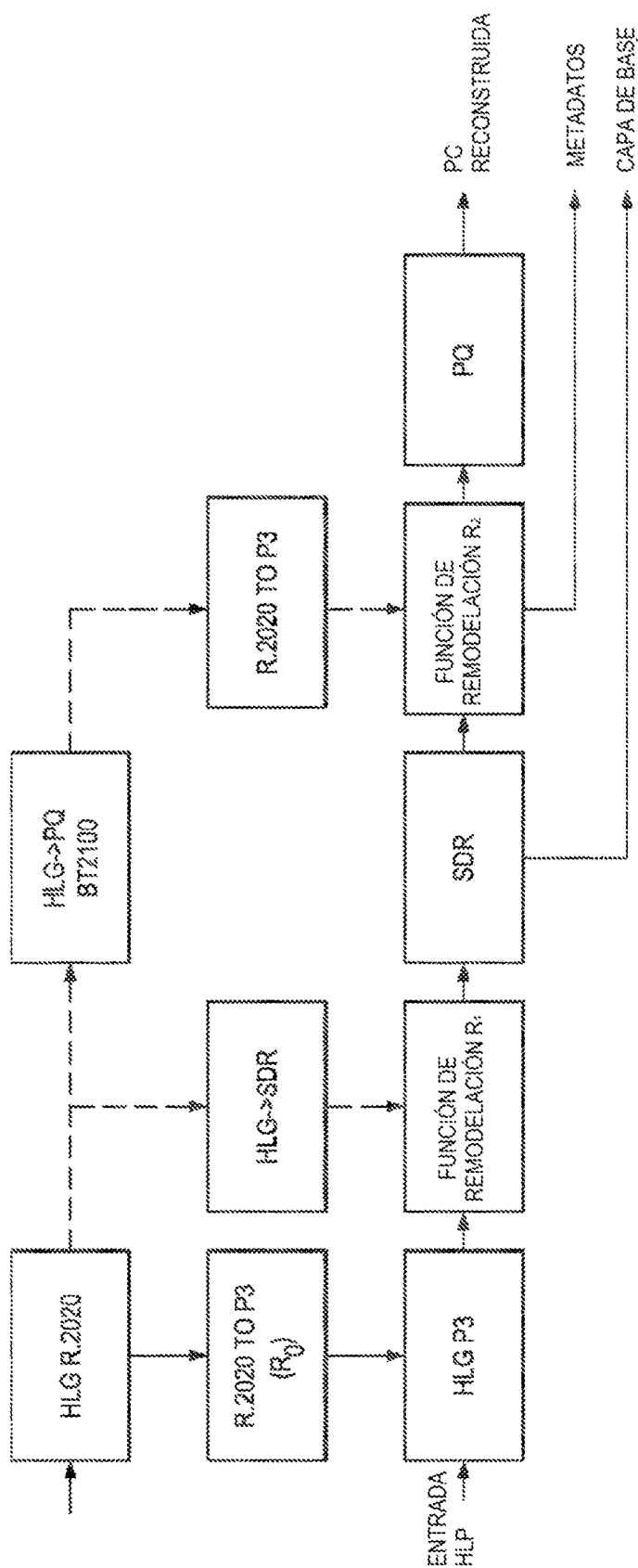
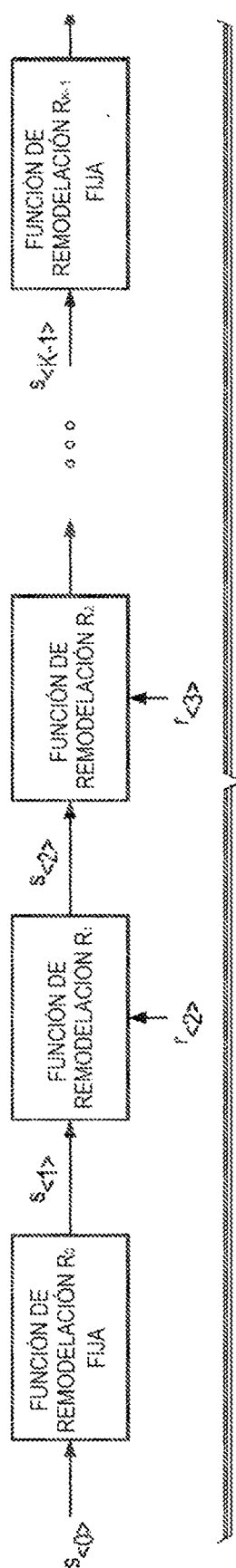
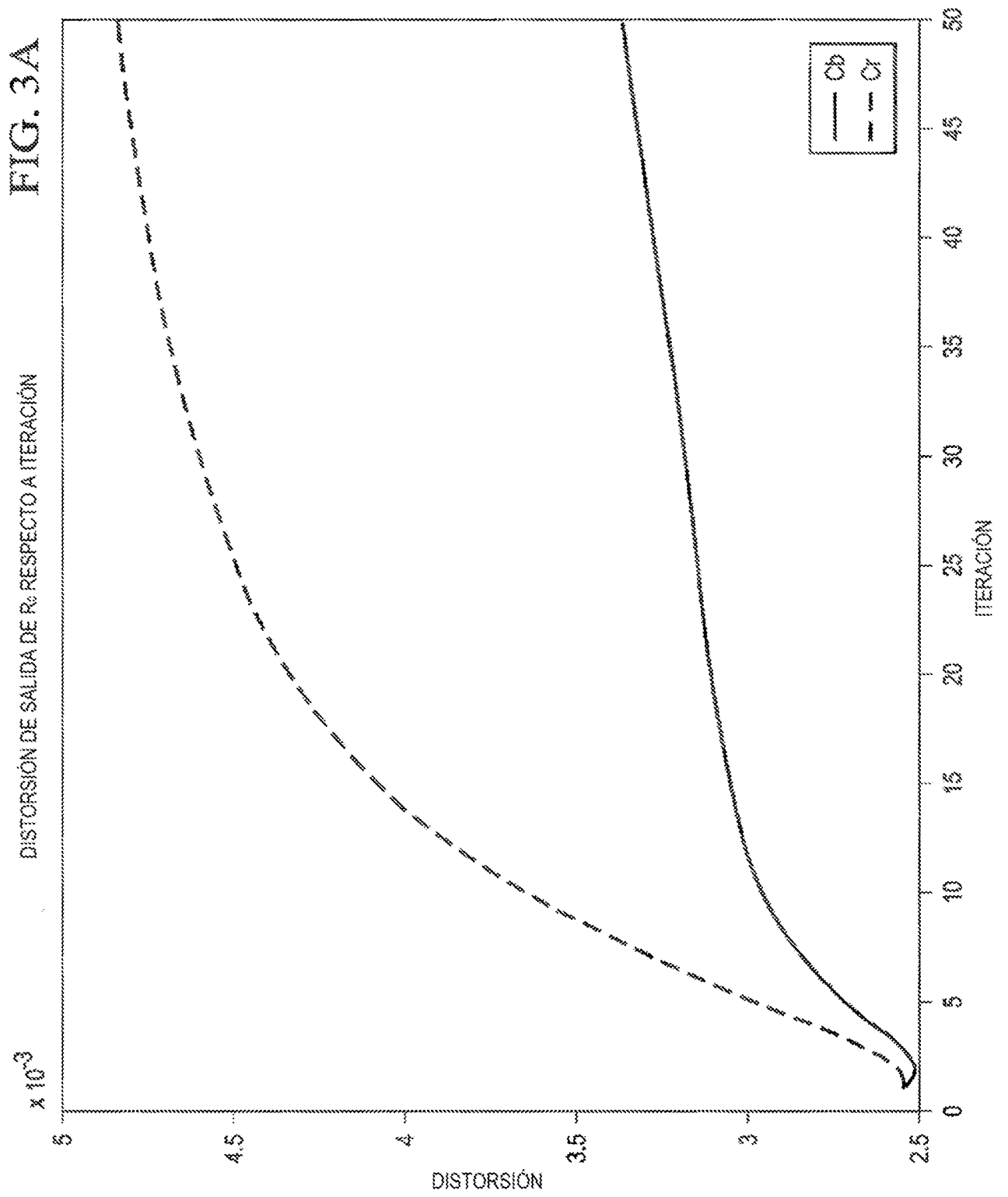


FIG. 2B





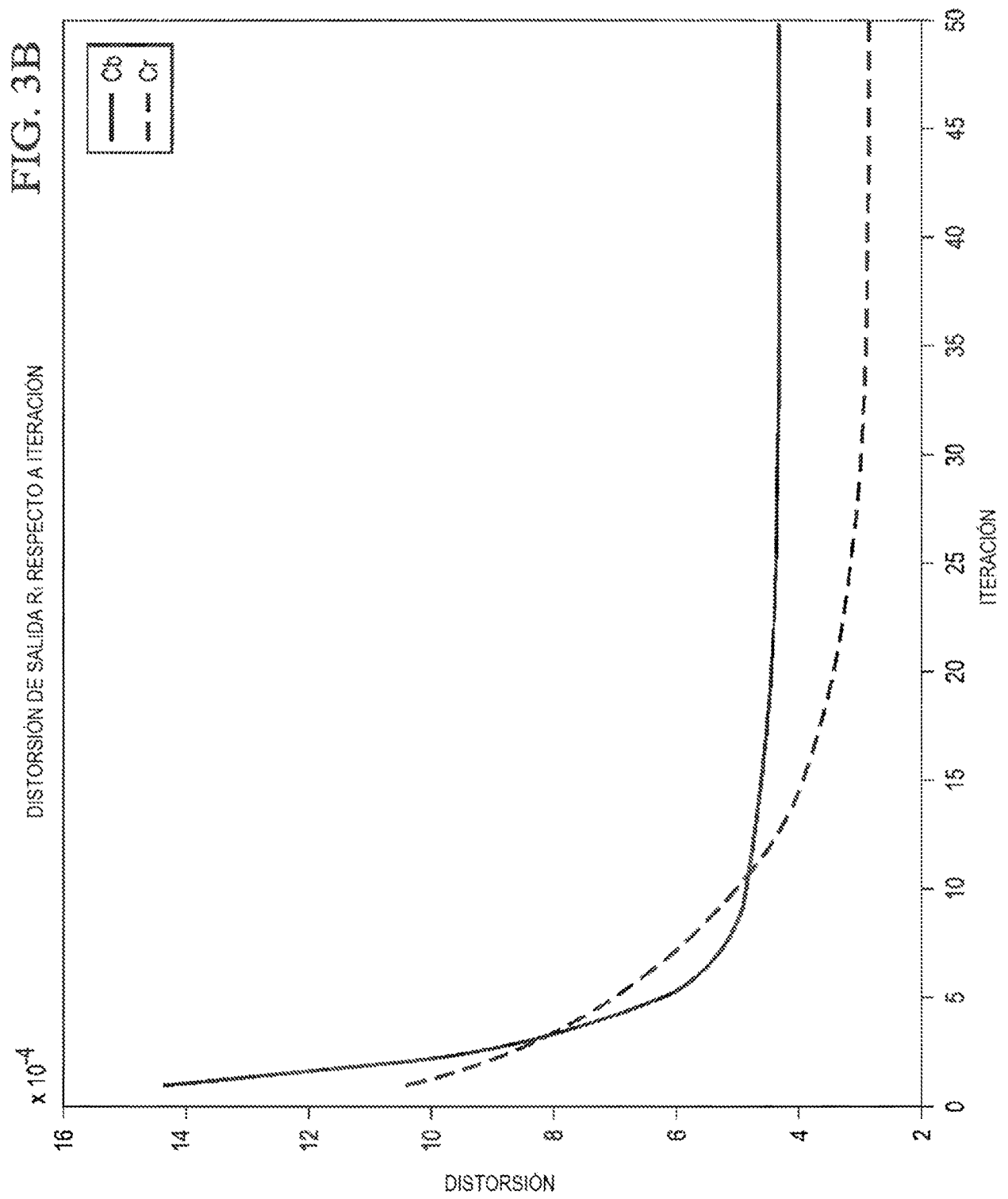
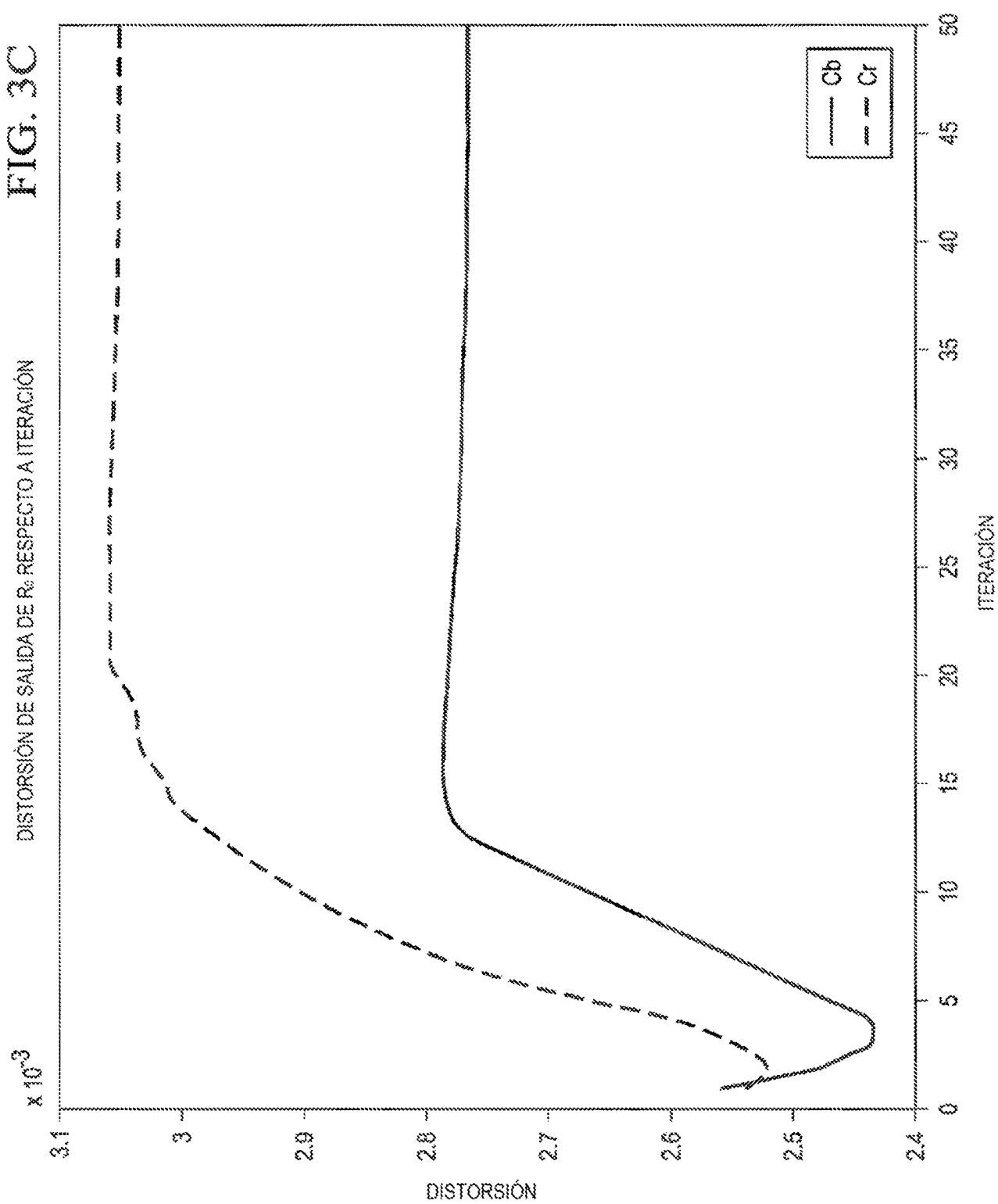
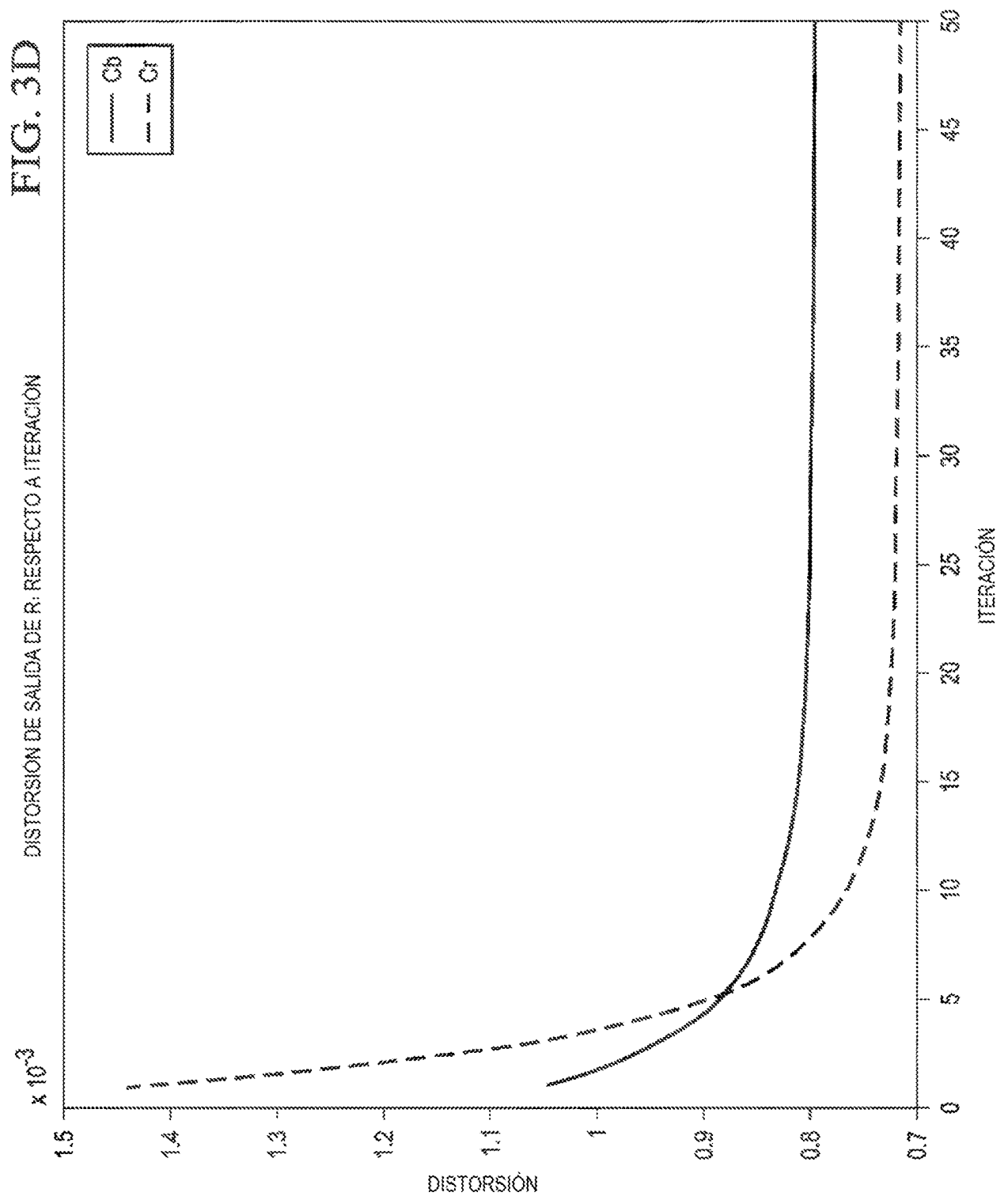
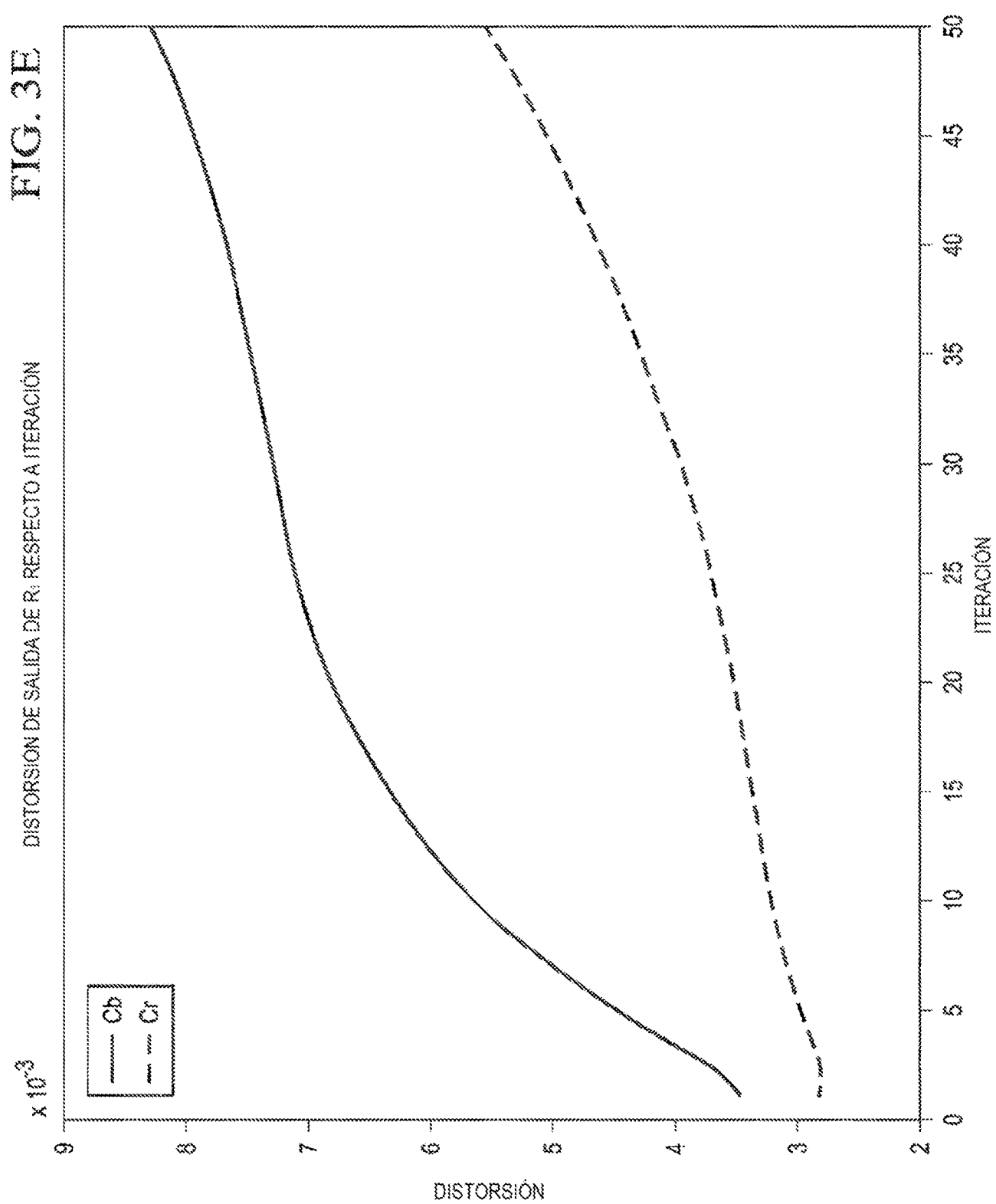
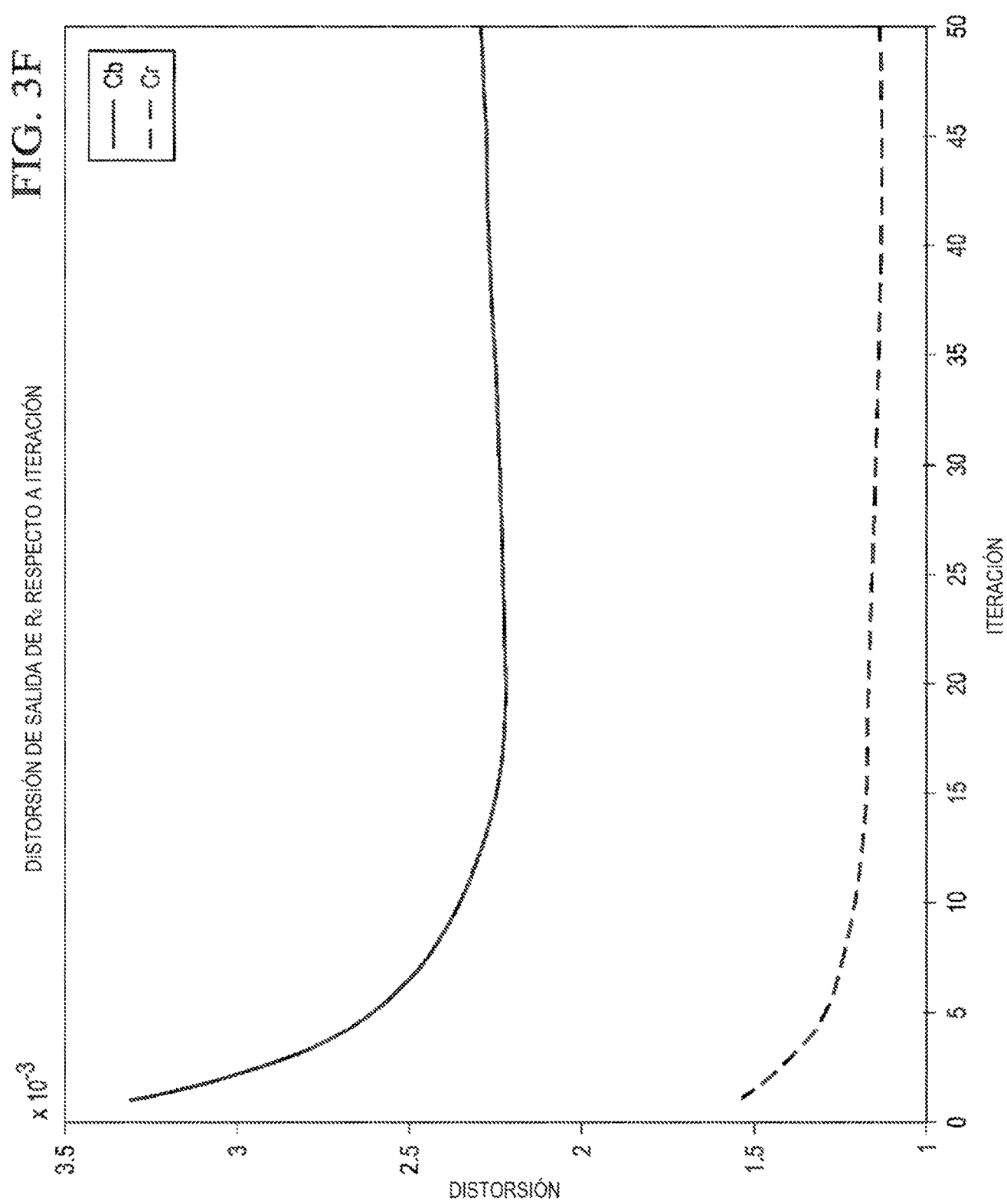


FIG. 3C









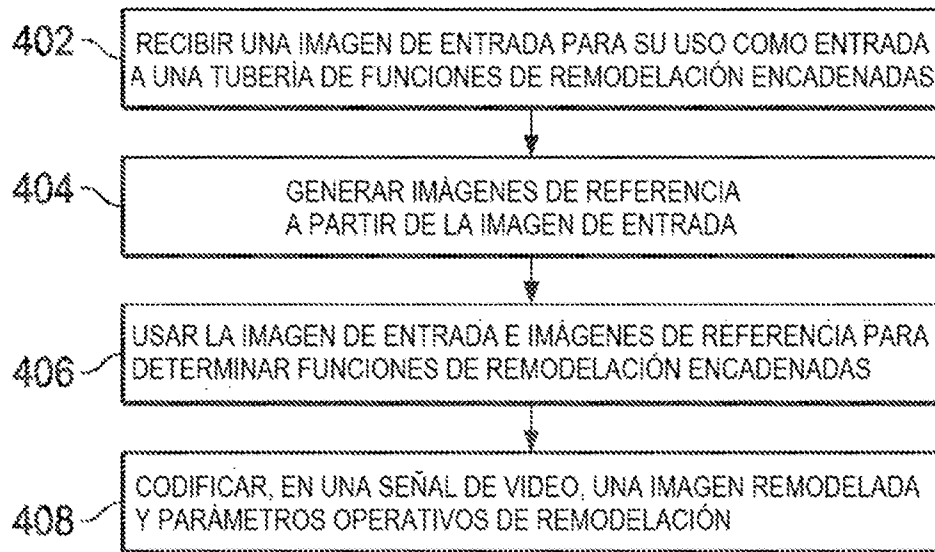


FIG. 4A

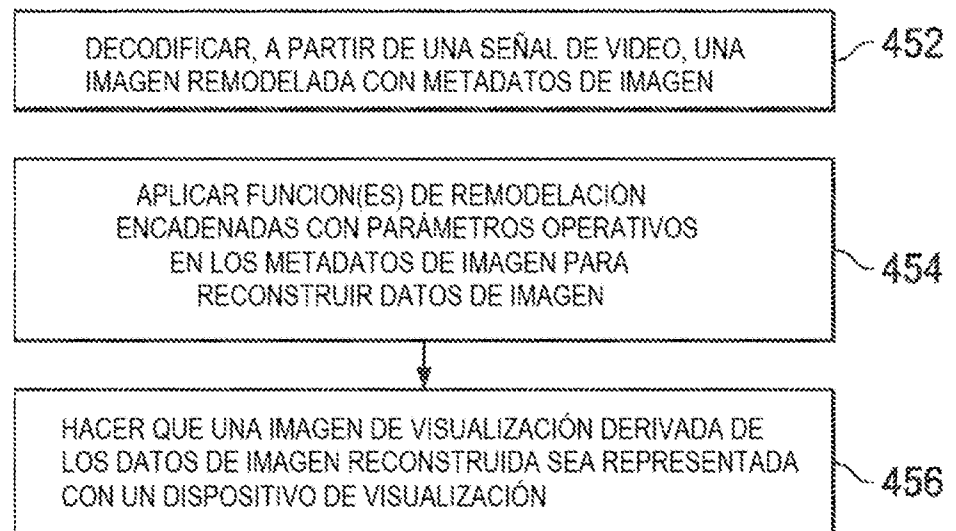


FIG. 4B

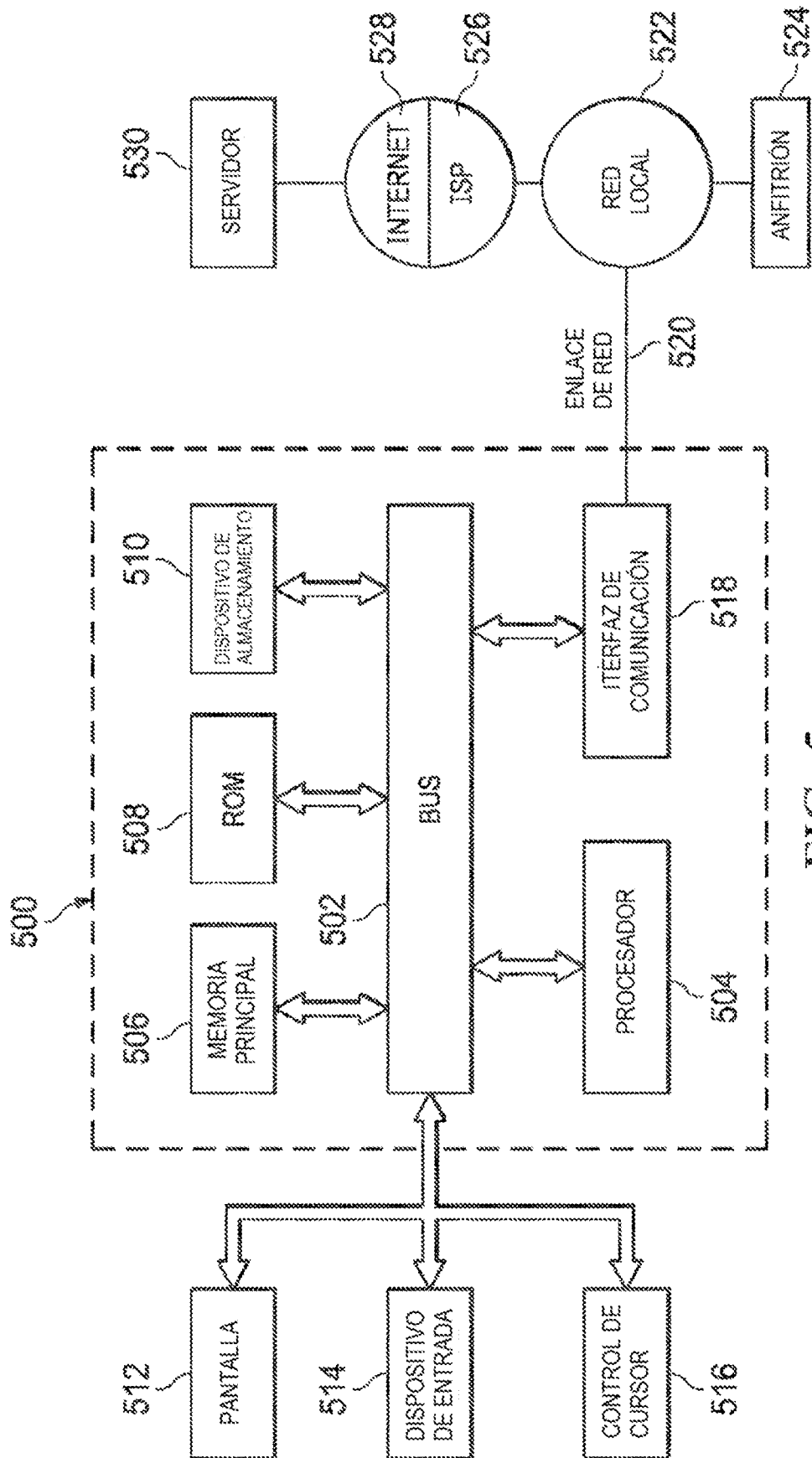


FIG. 5