

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 702 614**

51 Int. Cl.:

H04N 19/117	(2014.01)
H04N 19/179	(2014.01)
H04N 19/33	(2014.01)
H04N 19/136	(2014.01)
H04N 19/17	(2014.01)
H04N 19/105	(2014.01)
H04N 19/124	(2014.01)
H04N 19/186	(2014.01)
H04N 19/53	(2014.01)
H04N 19/98	(2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.12.2013 PCT/US2013/073085**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **10.07.2014 WO14107255**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.12.2013 E 13811081 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.09.2018 EP 2941872**

54 Título: **Codificación retrocompatible para señales de vídeo de ultra alta definición con dominio dinámico aumentado**

30 Prioridad:

02.01.2013 US 201361748411 P
08.05.2013 US 201361821173 P
26.09.2013 US 201361882773 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.03.2019

73 Titular/es:

DOLBY LABORATORIES LICENSING CORPORATION (100.0%)
1275 Market Street
San Francisco, CA 94103, US

72 Inventor/es:

SU, GUAN-MING;
ATKINS, ROBIN y
CHEN, QIAN

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 702 614 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

Codificación retrocompatible para señales de vídeo de ultra alta definición con dominio dinámico aumentado

5 REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

Esta solicitud reivindica la prioridad a la Solicitud Provisional de los Estados Unidos número 61/748,411, presentada el 2 de enero de 2013; número de Solicitud Provisional de EE. UU. 61/821,173, presentada el 8 de mayo de 2013; y la solicitud de patente provisional de EE.UU. número 61/882.773 presentada el 26 de septiembre de 2013.

10 TECNOLOGÍA

La presente invención se refiere en general a imágenes. Más en particular, una forma de realización de la presente invención se refiere a la codificación y decodificación retrocompatible con versiones anteriores de señales de alta definición con dominio dinámico mejorado.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La compresión de audio y vídeo es una componente clave en el desarrollo, almacenamiento, distribución y consumo de contenido multimedia. La elección de un método de compresión implica soluciones de compromiso entre la eficiencia de la codificación, la complejidad de la codificación y el retardo. A medida que aumenta la relación entre la potencia de procesamiento y el coste del cálculo informático, permite el desarrollo de técnicas de compresión más complejas que permiten una compresión más eficiente. Como ejemplo, en la compresión de vídeo, el Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento (MPEG) de la Organización Internacional de Normalización (ISO) ha continuado mejorando el estándar de vídeo MPEG-1 original al emitir las normas de codificación de MPEG-2, MPEG-4 (parte 2) y H.264/AVC (o MPEG-4, parte 10).

A pesar de la eficiencia de compresión y el resultado satisfactorio de H.264, una nueva generación de tecnología de compresión de vídeo, conocida como codificación de vídeo de alta eficiencia (HEVC), se encuentra actualmente en desarrollo. HEVC, para el cual se encuentra disponible una versión en borrador en "Borrador 8 de especificación de texto de codificación de vídeo de alta eficiencia (HEVC)", Equipo Conjunto Colaborativo UIT-T/ISO/CEI sobre Codificación de Vídeo (JCT-VC), documento JCTVC-J1003, julio de 2012, por B. Bross, W.-J. Han, G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, y se espera que T. Wiegand proporcione una capacidad de compresión mejorada con respecto al estándar H.264 existente (también conocido como AVC), publicado como "Codificación de vídeo avanzada para servicios audiovisuales genéricos", Rec. UIT T H.264 e ISO/IEC 14496-10, que se incorpora aquí en su integridad.

Las señales de vídeo pueden caracterizarse por múltiples parámetros, tales como profundidad de bits, espacio de color, gama de colores y resolución. Los televisores modernos y los dispositivos de reproducción de vídeo (por ejemplo, reproductores de Blu-ray) admiten una variedad de resoluciones, incluyendo definición estándar (por ejemplo, 720x480i) y alta definición (HD) (por ejemplo, 1920 x 1080p). La ultra alta definición (UHD) es un formato de resolución de próxima generación con una resolución de al menos 3.840 x 2.160 (referida como 4K UHD) y opciones para llegar a una tan alta resolución como de 7680 x 4320 (referida como 8K UHD). La ultra alta definición también se puede denominar Ultra HD, UHDTV o súper alta visión. Tal y como se utiliza en este documento, UHD indica cualquier resolución superior a la resolución HD.

Otro aspecto de la característica de una señal de vídeo es su dominio dinámico. El dominio dinámico (DR) es un dominio de intensidad (por ejemplo, luminancia, *luma*) en una imagen, por ejemplo, desde los oscuros más oscuros hasta los más brillantes. Tal y como aquí se utiliza, el término "dominio dinámico" (DR) puede relacionarse con una capacidad del sistema psico-visual humano (HVS) para percibir un margen de intensidad (p. ejem., luminancia, *luma*) en una imagen, p. ejem., desde las sombras más oscuras hasta las zonas más brillantes. En este sentido, DR se relaciona con una intensidad 'referida a la escena'. DR también puede relacionarse con la capacidad de un dispositivo de visualización para representar de manera adecuada o aproximadamente un dominio de intensidad de una amplitud particular. En este sentido, DR se relaciona con una intensidad 'referida a la visualización'. A menos que se especifique explícitamente que un sentido particular tiene un significado particular en cualquier punto de la presente descripción, debe deducirse que el término se puede utilizar en uno u otro sentido, por ejemplo, de forma intercambiable.

Tal como se utiliza en el presente documento, el término alto dominio dinámico (HDR) se refiere a una amplitud de DR que abarca unos 14-15 órdenes de magnitud del sistema visual humano (HVS). Por ejemplo, los seres humanos bien adaptados con una normalidad esencial (por ejemplo, en uno o más de un sentido estadístico, biométrico u oftalmológico) tienen un dominio de intensidad que abarca aproximadamente 15 órdenes de magnitud. Los seres humanos adaptados pueden percibir fuentes de luz tenue de tan solo unos pocos fotones. Sin embargo, estos mismos seres humanos pueden percibir la intensidad casi dolorosamente brillante del sol del mediodía en el desierto, el mar o la nieve (o incluso mirar al sol, aunque sea brevemente para evitar daños). Sin embargo, este intervalo está disponible para serse humanos "adaptados", por ejemplo, aquellos cuyo HVS tiene un período de tiempo para restablecer y ajustar.

En contraste, el DR sobre el cual un ser humano puede percibir simultáneamente una amplitud extensa en el dominio de intensidad puede estar algo truncado, en relación con el HDR. Tal como se utiliza en el presente documento, los términos 'dominio dinámico mejorado' (EDR), 'dominio dinámico visual' o 'dominio dinámico variable' (VDR) pueden relacionarse individual o indistintamente con el DR que se percibe simultáneamente por un HVS. Tal y como se utiliza en este documento, EDR puede relacionarse con un DR que abarca 5-6 órdenes de magnitud. Por lo tanto, aunque tal vez sea algo más estrecho en relación con la verdadera escena referida HDR, la EDR representa, sin embargo, una amplia gama de DR. Tal y como se utiliza en este documento, el término "dominio dinámico simultáneo" puede relacionarse con EDR.

Para admitir la retro-compatibilidad con los dispositivos de reproducción en legado, así como con las nuevas tecnologías de visualización HDR o UHD, se pueden usar múltiples capas para entregar datos de vídeo UHD y HDR (o EDR) desde un dispositivo de flujo ascendente a dispositivos de flujo descendente. Dado este flujo multicapa, los decodificadores en legado pueden usar la capa de base para reconstruir una versión HD SDR del contenido. Los decodificadores avanzados pueden utilizar, a la vez, tanto la capa de base como las capas de mejora para reconstruir una versión UHD EDR del contenido para renderizarlo en pantallas más capaces. Como aprecian los inventores en este caso, son deseables técnicas mejoradas para la codificación de vídeo UHD EDR.

Los enfoques descritos en esta sección son enfoques que podrían seguirse, pero no necesariamente enfoques que se hayan concebido o perseguido previamente. Por lo tanto, a menos que se indique lo contrario, no debe suponerse que ninguno de los enfoques descritos en esta sección se califiquen como técnica anterior simplemente en virtud de su inclusión en esta sección. De manera similar, los problemas identificados con respecto a uno o más enfoques no deben asumir que se han reconocido en cualquier técnica anterior sobre la base de esta sección, a menos que se indique de cualquier otro modo.

La solicitud de patente número PCT/US2012/034747 da a conocer, en codificación VDR en capas, que los residuos entre capas se cuantifican mediante un cuantizador no lineal antes de ser codificados por un codificador posterior. Se presentan varios cuantizadores no lineales. Dichos cuantizadores no lineales se basan en, por ejemplo, funciones de transferencia del tipo sigmoide, controladas por uno o más parámetros libres que controlan su alcance de dominio medio. Estas funciones dependen de, por ejemplo, un desplazamiento, un parámetro de dominio de salida y el valor absoluto máximo de los datos de entrada.

En la solicitud de patente número PCT/US2012/142741, la predicción de imágenes se aplica a la codificación eficiente de imágenes y señales de vídeo de alto dominio dinámico. Los modelos de regresión múltiple (MMR) de múltiples canales, en los que se basa la predicción de la imagen, incluyen, por ejemplo, parámetros de primer orden, parámetros de segundo orden y parámetros de pixels cruzados. También se presentan modelos MMR que utilizan parámetros de extensión que incorporan relaciones de pixels próximas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Una realización de la presente invención se ilustra a modo de ejemplo, y no de manera limitativa, en las figuras de los dibujos adjuntos y en donde las referencias numéricas similares se refieren a elementos similares y en donde:

La Figura 1 representa una puesta en práctica de un ejemplo de un sistema de codificación UHD EDR de conformidad con una forma de realización de esta invención;

La Figura 2 representa una puesta en práctica de un ejemplo de un sistema de decodificación UHD EDR de conformidad con una forma de realización de esta invención.

La Figura 3 representa una variación del sistema ilustrado en la Figura 1 de conformidad con una forma de realización de esta invención, en donde la capa de base comprende una señal entrelazada;

La Figura 4 representa una variación del sistema de decodificación de la Figura 2 de conformidad con una forma de realización de esta invención, en donde la capa de base comprende una señal de vídeo entrelazada;

La Figura 5 representa una puesta en práctica de un ejemplo de un cuantizador no lineal para una señal residual en una capa de mejora de conformidad con una forma de realización de esta invención;

La Figura 6A representa un proceso de pre-cuantización adaptativa de pixels residuales de conformidad con una forma de realización de esta invención; y

La Figura 6B representa un proceso adaptativo para establecer los límites de entrada inferior o superior de un cuantizador no lineal para señales residuales de conformidad con una forma de realización de esta invención.

DESCRIPCIÓN DE FORMAS DE REALIZACIÓN A MODO EJEMPLO

La codificación retro-compatible con versiones anteriores de señales de ultra alta definición con dominio dinámico mejorado según se describe en este documento. Dada una señal de entrada de vídeo que puede ser representada por dos señales: una señal con resolución de ultra alta definición (UHD) y dominio dinámico alto o mejorado (EDR), y la otra señal con resolución UHD (o inferior) y un dominio dinámico estándar (SDR), las dos señales se codifican en un flujo en capas retrocompatibles que permite a los decodificadores en legado extraer una señal de dominio dinámico estándar HD (SDR) y a nuevos decodificadores extraer la señal EDR de UHD.

En la siguiente descripción, a los efectos de la explicación, se exponen numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión completa de la presente invención. Sin embargo, será evidente que la presente invención puede ponerse en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, las estructuras y dispositivos bien conocidos no se describen en detalle exhaustivo, para evitar oscurecer innecesariamente la presente invención.

DESCRIPCIÓN GENERAL

Las realizaciones a modo de ejemplo aquí descritas se refieren a la codificación y decodificación retro-compatible con versiones anteriores de señales de ultra alta definición con dominio dinámico mejorado.

Un aspecto de la presente invención da a conocer un método para codificar datos de vídeo de entrada en un flujo en capas retrocompatibles, según se establece en la reivindicación 1.

Otro aspecto de la presente invención proporciona un método para decodificar un flujo en capas, como se describe en la reivindicación 5.

Otros aspectos de la presente invención proporcionan un aparato según la reivindicación 14 y un medio de almacenamiento según la reivindicación 15.

Codificador para señales EDR de ultra alta definición

Los dispositivos de visualización y reproducción existentes, como HDTV, decodificadores o reproductores de Blu-ray, generalmente admiten señales de hasta 1080p de resolución HD (por ejemplo, 1920 x 1080 a 60 tramas por segundo). Para aplicaciones de consumo, dichas señales no están ahora normalmente comprimidas utilizando una profundidad de bits de 8 bits por pixel por componente de color en un formato de color de luminancia-crominancia, donde típicamente las componentes de crominancia tienen una resolución más baja que la componente de luminancia (por ejemplo, formato de color de YCbCr o YUV 4: 2: 0). Debido a la profundidad de 8 bits y al bajo dominio dinámico correspondiente, dichas señales se suelen referir como señales con dominio dinámico estándar (SDR).

A medida que se desarrollan nuevos estándares de televisión, como Ultra Alta Definición (UHD), puede ser conveniente codificar señales con resolución mejorada y/o dominio dinámico mejorado en un formato que tanto los decodificadores HDTV en legado o como los decodificadores UHD más nuevos, puedan procesar.

La Figura 1 representa una forma de realización de una puesta en práctica de un ejemplo de un sistema que admite la codificación retro-compatible con versiones anteriores de señales UHD con dominio dinámico mejorado (EDR). El codificador comprende un codificador de capa de base (BL) (130) y un codificador de capa de mejora (EL) (160). En una forma de realización, el codificador BL 130 es un codificador en legado, tal como un codificador MPEG-2 o H.264, y el codificador EL 160 es un nuevo codificador estándar, tal como un codificador HEVC. Para admitir decodificadores BL en legado, el codificador BL 130 suele ser un codificador de 8 bits; sin embargo, el codificador EL 160 puede admitir flujos de entrada con una mayor profundidad de bits, tal como 10 bits, según lo especificado por los estándares H.264 y HEVC. Sin embargo, este sistema es aplicable a cualquier combinación de codificadores conocidos o futuros, ya sean basados en estándares o propietarios.

Tal como se representa en la Figura 1, una señal de entrada, tal como una transmisión de películas o televisión, puede representarse mediante dos señales: una entrada EDR UHD (102) y una entrada SDR UHD (104). Por ejemplo, la señal UHD EDR (102) puede ser una señal de resolución 4K (por ejemplo, 3840 x 2160) capturada por una cámara HDR y graduada en color para una pantalla EDR. La misma señal también se puede graduar en color en una pantalla 4K SDR para generar una correspondiente señal 4K SDR 104. De forma alternativa, la señal SDR 104 puede generarse aplicando a la señal EDR cualquiera de las técnicas conocidas en el mapeado de tonos o gestión de pantalla técnicas. Sin pérdida de generalidad, estas dos señales de entrada pueden representarse típicamente en el espacio de color RGB utilizando representaciones de profundidad de bit de 16 bits o equivalentes (por ejemplo, coma flotante). Tal y como se utiliza en el presente documento, el término señal de N bits indica una imagen o señal de vídeo con una o más componentes de color (por ejemplo, RGB o YCbCr), en donde cada pixel en cualquiera de estas componentes de color (por ejemplo, Y) está representado por un valor de pixels de N bits. Dada una representación de N bits, cada pixel puede tomar valores entre 0 y 2^N-1 . Por ejemplo, en una representación de 8 bits, para cada componente de color, cada pixel puede tomar valores comprendidos entre 0 y 255.

En una forma de realización, la señal UHD SDR 104 puede muestrearse en sentido descendente en una señal HD

SDR (por ejemplo, 1080p), que luego se convierte en color a un formato de color adecuado para la codificación utilizando un codificador de 8 bits en legado, por ejemplo, en formato de color YCbCr 4: 2: 0 de 8 bits. Dicha conversión puede comprender transformaciones de color (como conversión de RGB a YCbCr 115-C) y submuestreo de crominancia (por ejemplo, conversión 4: 4: 4 a 4: 2: 0 120-C). De este modo, la señal HD SDR 128 muestra una representación de señal retro-compatibile con versiones anteriores de la señal UHD EDR 102 original. La señal 128 puede estar codificada por el codificador BL 130 para generar un flujo de bits codificado retro-compatibile 132. El codificador BL 130 puede comprimir o codificar la señal HD SDR 128 utilizando cualquiera de los algoritmos de compresión de vídeo conocidos o futuros, como MPEG-2, MPEG-4, parte 2, H.264, HEVC, VP8 y similares.

Dada la señal 102 de UHD EDR, los procesos de muestreo descendente (110-A) y de conversión de color (115-B y 120-B) pueden convertir la señal UHD EDR 102 en una señal de referencia HD EDR 124 de predicción de referencia. En una forma realización preferida, los procesos de muestreo descendente y conversión de color (110-A, 115-B y 120-B) (por ejemplo, filtros y espacio de color seleccionados) en esta etapa deben ser idénticos o lo más cercanos posible al muestreo descendente y a los procesos de conversión de color (110-B, 115-C y 120-C) utilizados para generar la señal HD SDR 128 en la capa de base.

Después de la transformación de UHD EDR a HD EDR, la salida de la señal HD EDR 124 se separa en componentes de luminancia (Y 124-Y) y crominancia (CbCr 124-C), que se aplican para determinar los coeficientes de predicción para el predictor de luminancia 145 y predictor de crominancia 140.

Dada la señal HD SDR 128, el codificador BL 130 genera no solamente el flujo de bits BL codificado 132, sino también la señal BL 126, que representa la señal HD SDR 128, ya que será decodificada por un correspondiente decodificador BL. En algunas formas de realización, la señal 126 puede ser generada por un decodificador BL separado (no mostrado) que sigue al codificador BL 130. En algunas otras formas de realización, la señal 126 puede generarse a partir del bucle de realimentación utilizado para realizar la compensación de movimiento en el codificador BL 130. Según se ilustra en la Figura 1, la salida de la señal HD EDR 126 también se puede separar en sus componentes de luminancia (Y 126-Y) y de crominancia (CbCr 126-C) que se aplican al predictor de luminancia 145 y al predictor de crominancia 140 para predecir la señal HD EDR 147.

En una forma de realización, el predictor de luminancia 145 puede comprender un predictor polinomial para predecir las componentes de luz de la señal HD EDR 147 sobre la base de los valores de pixels de luminancia de la señal HD SDR de capa de base 126-Y. En dicho predictor, se puede predecir una componente de pixels de luminancia sin tomar en consideración cualesquiera valores de pixels en cualquiera de las otras componentes de color de la señal. Por ejemplo, supóngase que g_i indica los valores de pixels de luminancia de la señal BL HD SDR (126-Y), luego, sin pérdida de generalidad, un predictor polinomial de tercer orden puede expresarse como

$$\hat{s}_i = \sum_{k=0}^3 a_k g_{i-k} + \sum_{k=0}^3 b_k g_{i-k}^2 + \sum_{k=0}^3 c_k g_{i-k}^3,$$

en donde a_k , b_k y c_k son los coeficientes del predictor. En una forma de realización, los coeficientes del predictor pueden determinarse mediante cualquiera de las técnicas de minimización-error conocidas en la técnica, tales como minimizar el error cuadrático medio (por ejemplo, $\|s_i - \hat{s}_i\|^2$) entre el valor predicho (\hat{s}_i) y los valores de pixels de luminancia en la señal de referencia HD EDR (124-Y) (s_i).

En una forma de realización, el predicto de crominancia 140 también puede ser un predictor polinomial, similar al descrito anteriormente; sin embargo, en una forma de realización preferida, el predictor de crominancia 140 comprende un predictor de regresión múltiple (MMR) de canales multicolores, tal como el descrito por G-M Su et al., en la solicitud de PCT número de serie PCT/US2012/033605 (publicada como WO2012/142471), "Predictor de regresión múltiple de canales multicolores", presentada el 13 de abril de 2012. Un predictor de MMR predice las componentes de crominancia de la señal de HD EDR utilizando información tanto de los valores de pixels de luminancia como de los valores de crominancia en la señal de referencia HD EDR 124 y en la señal HD SDR de capa de base 126. Los coeficientes de predicción en el modelo MMR también se pueden determinar utilizando técnicas de minimización de error cuadrático medio minimizando el MSE entre los valores cromáticos predichos y los valores de pixels de luminancia y de crominancia de la señal de referencia HD EDR 124.

Puesto que tanto la señal HD SDR 126 como la señal HD HDR de referencia 124 están en formato YCbCr 4: 2: 0, donde la resolución espacial de la componente de luminancia es doble, la resolución espacial de cada uno de las componentes de crominancia, las componentes de luminancia de ambas de estas señales se muestrean en sentido descendente (135-A y 135-B) antes de aplicarse al predictor de crominancia 140. En una forma de realización preferida, los filtros utilizados en la muestra de 135-A y 135-B de luminancia son iguales a los filtros de muestreo descendente de crominancia utilizados en el procesamiento 4: 4: 4 a 4: 2: 0 (120). Los coeficientes de predicción de luminancia y de crominancia se pueden actualizar en una diversidad de intervalos de tiempo de interés, como por escena operativa, por grupo de imágenes o por trama. Los coeficientes del filtro de predicción se pueden comunicar a un decodificador mediante una diversidad de métodos, tal como incorporar sus valores en el flujo de bits como datos auxiliares o metadatos.

Dada la señal de HD EDR predicha 147, el muestreador 150 genera una señal de UHD EDR 152, que se utiliza para generar la señal residual 167. Puesto que la señal de UHD EDR está en el formato de codificación preferido (por ejemplo, YCbCr 4: 2: 0), pueden ser necesarias etapas adicionales de transformación de color (115-A) y muestreo descendente de crominancia (120-A) para convertir la señal original UHD EDR 102 desde el formato original (por ejemplo, RGB) a la señal UHD EDR 122 en el formato de codificación preferido. Las señales 122 y 152 son objeto de substracción para crear la señal residual de EL 167.

En una forma de realización, los procesos de submuestreo de transformación de color (115-A) y de crominancia (120-A) son idénticos o lo más cercanos posible a los procesos de submuestreo de transformación de color (115-B y 115-C) y de crominancia (120-B y 120-C) que se utilizan para generar la señal codificada BL 128 y la señal de predicción 124.

En una forma de realización, antes de codificar la señal de EL 167 por el codificador de EL 160, la señal puede procesarse mediante un cuantizador no lineal (NLQ) 155. Se pueden encontrar ejemplos de cuantizadores no lineales adecuados en la solicitud de patente PCT nº de serie PCT/US2012/034747 (publicada como WO2012/148883), "Cuantizador Residual No lineal VDR", presentada el 24 de abril de 2012. La salida del NLQ 155 se puede comprimir utilizando un codificador EL 160 para generar un flujo de bits EL codificado 162 que puede transmitirse a decodificadores adecuados. Además, en algunas formas de realización, el residuo (167) también se puede muestrear en sentido descendente espacialmente mediante un módulo de muestreo descendente (no ilustrado). Dicho muestreo descendente (por ejemplo, por un factor de 2 o 4 en ambas dimensiones) mejora la eficiencia de la codificación, especialmente a velocidades de bits muy bajas. El muestreo descendente se puede realizar antes o después del cuantizador no lineal (155).

El codificador de EL 160 puede ser cualquier codificador adecuado, tal como los descritos por las especificaciones de MPEG-2, MPEG-4, H.264, de HEVC y similares. En una forma de realización, el flujo de bits de BL codificado 132, el flujo de bits de EL codificado 162 y los metadatos relacionados con el proceso de codificación (por ejemplo, los parámetros del predictor o las tablas de consulta) pueden multiplexarse en un flujo de bits único (no ilustrado).

Según se ilustra en la Figura 1, en una realización preferida, el muestreo descendente (110-A o 110-B) se aplica preferiblemente antes de las transformaciones de formato de color (115-B y 120-B o 115-C y 120-C); sin embargo, en algunas formas de realización, el muestreo descendente se puede realizar después de las transformaciones de color. Por ejemplo, en una realización, la entrada a 110-A puede recibirse directamente desde la señal UHD EDR YCbCr 122, eliminando así la necesidad de realizar el procesamiento de transformación de color 115-B y 120-B para generar la señal de referencia HD EDR 124. De manera similar, el muestreo descendente de 110-B podría realizarse después de la etapa de conversión de color 120-C.

En algunas formas de realización, la señal HD SDR de línea de base 128 puede estar ya disponible para el codificador 100 en la resolución y el formato de color correctos. En tal caso, las etapas de muestreo descendente (110-B) y de transformación de color (115-C y 120-C) se pueden omitir.

En algunas formas de realización, la señal UHD EDR 102 puede estar disponible con una precisión inferior o superior a 16 bits; sin embargo, se espera que su precisión sea superior a 8 bits (por ejemplo, 10 bits o 12 bits). De manera similar, la señal UHD SDR 104 ya puede estar disponible con una precisión inferior a 16 bits (por ejemplo, 8 bits o 10 bits).

DECODIFICADOR PARA SEÑALES EDR DE ULTRA ALTA DEFINICIÓN

La Figura 2 representa una realización de una puesta en práctica de un ejemplo de un sistema que admite decodificación retro-compatibile con versiones anteriores de señales UHD con dominio dinámico mejorado (EDR). En respuesta a una señal codificada transmitida por un codificador (por ejemplo, 100), el decodificador 200 recibe y demultiplexa un flujo de bits codificado que comprende al menos dos subflujos codificados: un flujo codificado BL 132 y un flujo codificado EL 162.

El flujo codificado BL 132 comprende una señal HD SDR (217) que se puede decodificar utilizando el decodificador de BL 215. En una forma de realización, el decodificador de BL 215 coincide con el codificador de BL 130. Por ejemplo, para retro-compatibilidad con versiones anteriores y estándares de Blu-ray, el decodificador BL 215 puede cumplir con una o más de las especificaciones de codificación MPEG-2 o H.264. Después de la decodificación BL 215, un decodificador HD SDR puede aplicarse a la señal decodificada HD SDR 217, transformaciones de color adicionales (270) para traducir la señal entrante de un formato de color adecuado para la compresión (por ejemplo, YCbCr 4: 2: 0) a un formato de color adecuado para visualización (por ejemplo, RGB 4: 4: 4). Los receptores con resolución mejorada y/o capacidades de visualización EDR pueden combinar información de los flujos de bits BL y EL (132 y 162) para generar una señal UHD con dominio dinámico mejorado (por ejemplo, 232) como se muestra en la Figura 2.

Después de la decodificación de BL 215, la señal decodificada 217 se divide en sus componentes de luminancia (217-Y) y de crominancia (217-C). La componente de luminancia (217-Y) es procesada por un predictor de

luminancia 240 para generar valores de estimación de luminancia para la señal de HD EDR 255. Las componentes de luminancia y de crominancia también son procesadas por un predictor de crominancia 250 para generar valores de estimación de crominancia para la señal de HD EDR 255. En una forma de realización, antes de procesar la señal de luminancia 217-Y por el predictor de crominancia, se submuestra por el muestreador descendente 245 de modo que coincida con la resolución de las componentes de crominancia. Los predictores de luminancia y de crominancia (240 y 250) hacen coincidir los predictores de luminancia y de crominancia (145 y 140) en el codificador 100. Por lo tanto, el predictor de luminancia 240 puede ser un predictor polinomial, mientras que el predictor de crominancia puede ser un predictor MMR. En una forma de realización, las características y los parámetros de filtro de estos predictores pueden determinarse utilizando metadatos incorporados en el flujo de bits codificado recibido. Después de las etapas de predicción de luminancia y de crominancia (240 y 250), la señal predicha de HD EDR 255 se muestra en sentido ascendente (260) para generar la señal de UHD EDR 265.

Dado el flujo de bits codificado 162, el decodificador EL 210 lo decodifica para generar la señal residual de UHD EDR 212. El decodificador de EL 210 coincide con el codificador de EL 160. Si el codificador 100 aplicó un cuantizador no lineal 155 al residual 167, en tal caso el proceso de cuantización no lineal se invierte aplicando un decuantizador no lineal (NLDQ) 220 para generar un residuo des-cuantizado 222. Si el codificador (100) aplicó un muestreo descendente espacial al residual (167), entonces, un muestreador ascendente espacial (no ilustrado) antes o después de que NLDQ (220) pueda muestrear el residuo descodificado (por ejemplo, 212 o 222) a su resolución espacial adecuada. Al añadir (225) el residual 222 a la estimación de UHD EDR 265, el decodificador 200 puede generar una señal UHD EDR 227 que coincida con la resolución y el formato de color (por ejemplo, 4: 2: 0 YCbCr) de la señal UHD EDR 122 transmitida por el codificador. Dependiendo de la aplicación de destino, un conjunto de transformaciones de color (230) puede transformar la señal UHD EDR 232 en un formato adecuado para la visualización u otro procesamiento. En una forma de realización, dada una señal YCbCr 4: 2: 0 227, las transformaciones de color 230 pueden comprender una etapa de muestreo ascendente de crominancia 4: 2: 0 a 4: 4: 4, seguida de una etapa de transformación de color YCbCr a RGB.

CODIFICACIÓN Y DECODIFICACIÓN DE FORMATOS PROGRESIVOS Y ENTRELAZOS MIXTOS

A pesar de la mayor adopción de señales de vídeo progresivas (por ejemplo, 720p o 1080p), la transmisión de señales de vídeo entrelazadas (por ejemplo, 1080i) es todavía bastante común en la transmisión de vídeo. En otra forma de realización, la Figura 3 muestra otro ejemplo de un sistema de codificación UHD EDR (300) que admite la codificación de capa utilizando una mezcla de formatos progresivos y entrelazados. En un ejemplo, la señal BL (332) se codifica en un formato entrelazado (por ejemplo, 1080i o 2160i), mientras que la señal EL (162) se codifica en un formato progresivo (por ejemplo, 2160p).

El sistema de codificación (300) comparte la mayor parte de la funcionalidad del sistema de codificación (100), por lo que en esta sección solo se tratarán las diferencias clave entre los dos sistemas. Como se muestra en la Figura 3, en el procesamiento de la capa de base, la señal SDR (104) se convierte en color a un formato de color adecuado para la codificación (por ejemplo, 4: 2: 0 YCbCr) utilizando el codificador BL (130). En una forma de realización a modo de ejemplo, la salida (332) del codificador BL (130) puede comprender una señal SDR entrelazada. El dispositivo entrelazador (320-A) puede aplicar cualquier técnica de entrelazado y muestreo descendente conocida en la técnica para convertir la entrada progresiva (128) en una señal entrelazada de la resolución de codificación deseada de la señal de la capa de base (332) (por ejemplo, 1080i).

En comparación con el sistema (100), en la capa de mejora, las componentes de procesamiento (110-A), (115-B) y (120-B) del sistema (100), pueden ser sustituidas todas por el dispositivo entrelazador (320-B). El dispositivo entrelazador (320-B) puede aplicar cualquier técnica de entrelazado y muestreo descendente conocida en la técnica para convertir la entrada progresiva (122) en una señal entrelazada (124) que coincida con la resolución de la señal entrelazada (126). En una forma de realización preferida, las funciones de muestreo descendente y entrelazado de (320-A) y (320-B) deben ser idénticas o lo más cerca posible entre sí para reducir los artefactos de color y mejorar la calidad general de codificación de la imagen.

Los predictores de luminancia y crominancia (145 y 140) en el sistema (300) siguen siendo los mismos que los existentes en el sistema (100); sin embargo, ahora operan en campos separados de sus entradas, ya que las señales (124) y (126) ahora son señales entrelazadas.

El dispositivo desentrelazador (350) también tiene una doble funcionalidad: desentrelaza la señal de HD EDR predicha (347), y le aplica un muestreo ascendente para que coincida con la resolución de la señal UHD EDR (122), generando así la señal UHD EDR predicha (152) con la misma resolución y formato que la señal (122). El procesamiento del residuo (167) en el sistema (300) sigue siendo el mismo del que fue descrito para el sistema (100).

En algunas formas de realización, la señal SDR (104) puede estar ya en formato entrelazado, luego el dispositivo entrelazador (320-A) puede sustituirse por un muestreador descendente. El dispositivo entrelazador (320-A) puede eliminarse si la señal de entrada (104) ya está entrelazada y con la resolución adecuada.

En una forma de realización, las señales de entrada (102) y (104) pueden ser ambas señales de resolución HD (por ejemplo, 1080p). Luego, la salida del sistema (300) puede comprender una señal de capa de base HD entrelazada codificada (por ejemplo, 1080i) (332) y una HD progresiva codificada (por ejemplo, 1080p) residual (162).

5 En una forma de realización, tanto la señal de BL (332) como la residual (162) pueden estar en la misma resolución, pero en formato mezclado. Por ejemplo, la señal BL (332) puede codificarse en 2160i, mientras que la señal EL (162) puede codificarse en 2160p.

10 La Figura 4 representa una realización de una puesta en práctica a modo de ejemplo de un sistema decodificador (400) para decodificar señales generadas por el codificador de formato mixto (300). El sistema (400) es casi idéntico al sistema decodificador (200), excepto por las siguientes diferencias: a) la señal BL decodificada (417) ahora es una señal de vídeo entrelazada, b) los predictores de luminancia y crominancia (240 y 250) operan en los campos de señales entrelazadas (417) y (247), y c) la señal de HD EDR predicha (455) es una señal entrelazada.

15 El dispositivo desintrelizador (460) coincide en funcionalidad con el dispositivo desintrelizador (350) en el sistema (300); por lo tanto, desentrelaza y realiza un muestreo ascendente de la señal HD EDR entrelazada (455), de modo que, a su salida, la señal UHD EDR (465), tenga la misma resolución y formato que la señal residual de error descodificada (222).

20 Como se indicó con anterioridad, el sistema (300) también puede incluir un módulo de muestreo descendente espacial (no ilustrado) en la ruta de EL, antes o después del cuantizador no lineal (155). En tal caso, en el decodificador (400), se puede utilizar un muestreador ascendente espacial antes o después de NLDQ (220) para restablecer la señal residual decodificada (212) a su resolución espacial adecuada.

25 MUESTREO ASCENDENTE ADAPTATIVO CONTROLADO POR EL DOMINIO DE LUMINANCIA

Según se ilustra en la Figura 1, después de las etapas de predicción de luminancia y de crominancia (140, 145), la señal de HD EDR predicha (147) es objeto de muestreo ascendente por un factor de dos (150) para generar la señal de UHD EDR predicha 152. Se está realizando un proceso similar también en el decodificador (200), en donde después de las etapas de predicción de luminancia y de crominancia (240, 250), la señal de HD EDR predicha (255) es objeto de muestreo ascendente por un factor de dos (260) para generar la señal de UHD EDR predicha (265). Los muestreadores ascendentes (150) y (260) pueden comprender cualquier técnica de muestreo ascendente conocida en la técnica; sin embargo, se puede lograr una mejor calidad de imagen empleando técnicas adaptativas de muestreo ascendente impulsadas en el dominio de luminancia como se describe en esta sección.

35 Se ha observado que el error de predicción (167) entre la señal EDR original (122) y su valor predicho (152) puede variar dependiendo de los valores de luminancia en la señal SDR correspondiente (104). Es decir, las señales residuales (167) en áreas brillantes o resaltadas en la imagen presentan diferentes tipos de características que la señal residual en las áreas de tonos oscuros o medios. En una forma de realización, el dominio de luminancia de la entrada SDR se puede dividir en dos o más sub-dominios de luminancia. Un método de filtrado adaptativo de muestreo ascendente puede aplicar diferentes filtros de muestreo ascendente a pixels diferentes de la imagen predicha de EDR, donde cada filtro se selecciona de conformidad con el sub-dominio de luminancia de los pixels correspondientes en la imagen SDR. Los umbrales que identifican cada uno de estos sub-dominios de luminancia y la identificación de los filtros que se están utilizando, y/o los propios coeficientes de filtro, pueden comunicarse desde el codificador (100) al decodificador (200) a través de metadatos u otros datos auxiliares, de modo que tanto el codificador como el decodificador pueden aplicar los mismos filtros de muestreo ascendente para mejorar la calidad de la imagen.

50 Supóngase que \hat{s}_{ij} indica los valores de pixels de luminancia de la señal de HD EDR (147), que se predice en función de los valores de luminancia de la salida del codificador de BL (130), es decir, la señal SDR s_{ij} (126-Y). Suponiendo que $th(i)$ ($i=0, N$) indica un conjunto de umbrales que dividen el dominio de luminancia de los pixels s_{ij} ($0 \leq s_{ij} \leq 1$) en N dominios de luminancia ($N \geq 1$) de interés (por ejemplo, para $N=3$, en negros, medios tonos y áreas resaltadas). Se supone que H_i indica un conjunto de coeficientes de filtro para i -ésimo ($i= 1, N$) filtro de muestreo ascendente que se utiliza en la etapa (150) o (260) para el i -ésimo dominio de luminancia de interés, y se supone que $f(\bar{s}_{ij})$ indica una función de s_{ij} o sus próximos locales, en cuyo caso, en una forma de realización, el filtrado de muestreo ascendente (por ejemplo, 150 o 260) se puede realizar de conformidad con el siguiente Algoritmo 1 expresado en pseudocódigo:

60 Algoritmo 1: Proceso de muestreo ascendente controlado por dominio de luminancia

// proceso de muestreo ascendente para N dominios de luminancia

if ($(f(\bar{s}_{ij}) \geq th(0)) \&\& (f(\bar{s}_{ij}) < th(1))$)
 utilizar filtro H_1 ;

```

elseif
  ((f( $\bar{s}_{ij}$ ) >= th(1)) && (f( $\bar{s}_{ij}$ ) < th(2)))
  utilizar filtro H2;
...
5 elseif
  ((f( $\bar{s}_{ij}$ ) >= th(N-1)) && (f( $\bar{s}_{ij}$ ))
  utilizar filtro HN;

```

10 En algunas formas de realización, H_i puede representar los coeficientes de filtro de un filtro no separable en 2-D. En algunas otras formas de realización, H_i puede representar los coeficientes de un filtro de muestreo ascendente separable en 2-D, que comprende, sin limitación, coeficientes para un filtro de muestreo ascendente horizontal y vertical. Los coeficientes de filtro H_i se pueden calcular previamente y almacenar en la memoria o se pueden calcular de forma adaptativa según algún criterio de calidad de imagen. Por ejemplo, en una forma de realización, los coeficientes de filtro H_i se pueden calcular de modo que el error cuadrático medio entre la salida del filtro de escalado ascendente, la señal predicha de UHD EDR (152) y la señal de entrada UHD EDR (122) sea objeto de minimización.

20 En algunas formas de realización, f(\bar{s}_{ij}) puede representar un valor de pixel único de interés (por ejemplo, s_{ij} o s_{ij-1}), mientras que, en algunas otras formas de realización, f(\bar{s}_{ij}) puede representar un promedio local o alguna otra función de uno o más pixels que rodean s_{ij} (por ejemplo, una mediana, un mínimo o un máximo).

25 En una forma de realización, los umbrales th(i) pueden determinarse en función de las estadísticas de imagen de la señal de entrada (por ejemplo, el valor promedio de negros, medios tonos o zonas resaltadas). Estas estadísticas se pueden calcular sobre una base de zona por pixel, una base de tramas o una base de escenas operativas (por ejemplo, un grupo de imágenes secuenciales con características de luminancia similares). En algunas formas de realización, th(i) puede determinarse de forma iterativa como parte del proceso de diseño de filtrado. Por ejemplo, consideremos el caso en donde los coeficientes de filtro H_i se calculan en función de algún criterio de optimización, por ejemplo, minimizando el error cuadrático medio (MSE) de la señal (167), luego, en una forma de realización, el Algoritmo 2 describe en pseudocódigo un método a modo de ejemplo para determinar un nuevo umbral (th*) dados dos umbrales de límite (t_low y t_high), y un etapa de búsqueda de umbral (step):

Algoritmo 2 - Determinación de umbral para dos sub-dominios de luminancia (N=2)

```

35 Partition_Function(t_low, t_high, step)
{
  j=0;
  Pth[100]; //matriz de umbrales posibles
  D[100]; //matriz de valores de distorsión
  for(th = t_low, th <= t_high, th = th+step)
40 {
    Pth(j) = th;
    Dividir los sij pixels de entrada en los dos dominios de luminancia A1 y A2,
    en donde para A1 (f( $\bar{s}_{ij}$ ) >= t_low ) && (f( $\bar{s}_{ij}$ ) < th )
    y para A2 (f( $\bar{s}_{ij}$ ) >= th) && (f( $\bar{s}_{ij}$ ) < t_high)
45
    Derivar el filtro H1 considerando solamente los pixels dentro de A1
    Derivar el filtro H2 considerando solamente los pixels dentro de A2
    Realizar un escalado ascendente utilizando los dos filtros H1 y H2 para determinar la señal predicha en escala
50 ascendente  $\hat{v}_{ij}$  (152)
    Calcular D(j), el MSE de señal residual de error (167)

$$D(j) = \sum_j |v_{ij} - \hat{v}_{ij}|^2$$

    j++;
  }
  Definir como el umbral óptimo th*, el valor de Pth(j) para el que D(j) es mínimo:

$$th^* = \min_{\{Pth(j)\}} D(j)$$

55 Calcular los coeficientes de filtros H1 y H2 para el th* calculado return(th*);
}

```

En la descripción anterior, t_{low} y t_{high} indican valores de límites de interés, pudiéndose buscar un umbral solamente. A modo de ejemplo, en una forma de realización, $t_{low} = \min(s_{ij}) = 0$ y $t_{high} = \max(s_{ij}) = 1$ (donde 1 indica el valor máximo posible normalizado), cubre todo el dominio de posibles valores de luminancia; sin embargo, en otras formas de realización, el dominio de valores límite puede ser mucho menor. Por ejemplo, los umbrales de cálculo para una trama de entrada en el tiempo t pueden tomar en consideración los valores de umbral calculados anteriormente, por ejemplo, en el tiempo $t-1$, por lo tanto, se busca solamente dentro de un dominio más pequeño centrado alrededor del umbral anterior (por ejemplo, $(th(i)-C, th(i)+C)$, donde C es una constante).

Dado el algoritmo 2, en algunas formas de realización, se puede utilizar un método similar para subdividir el dominio de luminancia de una trama de imagen en partes adicionales del dominio de luminancia utilizando umbrales adicionales. En una forma de realización a modo de ejemplo, el siguiente algoritmo (Algoritmo 3) se puede utilizar para subdividir un dominio de luminancia dado (A, B) en dos o tres sub-dominios de luminancia.

Algoritmo 3 - Determinación de umbral para tres sub-dominios de luminancia (N=3)

```
// Determinar umbral para N=2
TH* = Partition_Function (A, B, step)
D = D (TH*) // Calcular distorsión global utilizando dos particiones

// Probar otra partición en banda baja
TH_L* = Partition_Function (A, TH*, step)
DL = D (TH_L*) // Calcular distorsión global utilizando tres particiones

// Probar otra partición en banda alta
TH_H* = Partition_Function (TH*, B, step)
DH = D (TH_H*) // Calcular distorsión global utilizando tres particiones

If( (DL < DH ) && ( DL < D ) )
    Seleccionar partición en banda baja

    th[] = { A, TH_L*, TH*, B }
elseif( (DH < DL ) && ( DH < D ) )
    Seleccionar partición en banda alta
    th[] = { A, TH*, TH_H*, B }

else
    Permanecer con dos particiones
    th[] = { A, TH*, B }

end
```

Los umbrales calculados por los algoritmos 2 y 3 pueden aplicarse al algoritmo 1 tanto en el codificador (100) como en el decodificador (200). En una forma de realización, los umbrales calculados pueden transmitirse desde el codificador (100) al decodificador (200) utilizando metadatos.

Según se describió con anterioridad, los dispositivos desintrelazadores (350) y (460) pueden combinar la funcionalidad de desentrelazado y de muestreo ascendente. Los expertos en el campo del procesamiento de imágenes apreciarán que los métodos controlados por el dominio de luminancia analizados en el presente documento para el diseño mejorado de muestreadores ascendentes (150) y (126) también se pueden aplicar en el diseño de muestreadores ascendentes en dispositivo desintrelazadores (350) y (460).

PROCESAMIENTO RESIDUAL ADAPTATIVO

Tal como se ilustra en la Figura 1 y en la Figura 3, en la capa de mejora (EL), la señal residual (167) puede ser procesada por un cuantizador no lineal (NLQ) (155) antes de ser comprimida por el codificador EL (160) para generar el flujo EL (162). Sin pérdida de generalidad, la Figura 5 representa un ejemplo de relación entrada-salida para NLQ (155) de conformidad con una forma de realización de esta invención.

Tal y como se ilustra en la Figura 5, se supone que $(-X_{max}, X_{max})$ indican el dominio de valores de pixels de los pixels residuales x (167) que se codificarán en una trama o zona de tramas de interés. Se supone que Level indica el número de palabras de código disponibles en cada lado del cuantizador (por ejemplo, Level = 128 para $x \geq 0$), luego, dado un umbral positivo T , se supone que

$$SL = \frac{Level}{X_{max} - T}$$

5 En este caso, dados los residuos de entrada x , después de recortar x dentro del dominio $(-X_{max}, X_{max})$, las operaciones de cuantización de la Figura 5 puede expresarse como

$$Q(x) = \begin{cases} floor(M + (SL * (x - T)) + 0.5) & \text{si } x > T \\ M & \text{si } |x| \leq T \\ floor(M + (SL * (x + T)) - 0.5) & \text{si } x < -T \end{cases}$$

10 en donde $Q(x)$ indica la salida cuantificada, SL indica el gradiente de $Q(x)$ dentro de (T, X_{max}) , y M indica un valor de desplazamiento *offset* que representa la palabra de código de salida cuando el residual $x=0$. El umbral T es un número relativamente pequeño y en algunas formas de realización, $T=0$.

15 Los parámetros T , M , X_{max} y SL pueden definirse por separado para cada componente de color de la señal residual x y pueden comunicarse a un receptor utilizando metadatos. En algunas formas de realización, uno o más de los parámetros de cuantización NLQ también pueden definirse para una trama completa, una o más particiones o subzonas de una trama, o para un grupo de tramas (por ejemplo, una escena operativa).

20 Dado dicho cuantizador de este tipo, en un receptor (por ejemplo, (200)), el proceso de des-cuantización (por ejemplo, NLDQ (220)), se puede expresar como

$$\hat{R}_{cmp} = \begin{cases} 0, & R_{cmp} = M \\ SL * ((R_{cmp} - M) - 0.5 * sign(R_{cmp} - M)) + T * sign(R_{cmp} - M) & R_{cmp} \neq M \end{cases}$$

en donde

$$sign(x) = \begin{cases} -1 & x < 0 \\ 1 & x \geq 0 \end{cases},$$

25 R_{cmp} indica la señal residual recibida (decodificada) (o la señal EL (212)), y \hat{R}_{cmp} indica la salida des-cuantizada (222), que también puede estar limitada, por ejemplo, en un margen $(-R_{max}, R_{max})$.

30 Los resultados experimentales han indicado que un procesamiento previo adecuado de los datos residuales (167) combinados con un ajuste adaptativo de los parámetros de NLQ (155) pueden proporcionar una codificación más eficiente del flujo de EL, con lo que resulta la presencia de artefactos de codificación reducidos y mejor calidad de imagen global. En esta sección, a continuación, se describen tres algoritmos de preprocesamiento residual.

35 PRE-CUANTIZACIÓN RESIDUAL UTILIZANDO UNA MÉTRICA DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR

40 Unas funciones inadecuadas de cuantización y codificación de la señal residual (167), en particular cuando se codifica el flujo EL a una tasa de bits relativamente baja (por ejemplo, 0,5 Mbits/s) puede dar lugar a artefactos de bloqueo en la señal descodificada (232). En una forma de realización, dichos artefactos se pueden reducir mediante una pre-cuantización adaptativa de algunos valores residuales que se perciben como situados en áreas relativamente "suaves". Un ejemplo de dicho proceso, de conformidad con una forma de realización de la presente invención, se ilustra en la Figura 6A, en donde, sin limitación, la medición de la suavidad de una zona de pixels rectangular, que rodea a cada pixels residual, está basado en el cálculo de la desviación estándar de los pixels en esa zona.

45 Se supone que r_{fi} indica el i -ésimo pixel residual de la f -ésima trama. Se supone que este pixel está en el centro de una zona de pixels $W_{\sigma} \times W_{\sigma}$ (por ejemplo, $W_{\sigma} = 15$), se indica como n_{fi} . En este caso, en la etapa (602), la desviación estándar σ_{fi} para este pixel se puede determinar como

$$\sigma_{fi} = \sqrt{\frac{1}{W_{\sigma}^2} \sum_{j \in n_{fi}} (r_{fj} - \mu_{fi})^2},$$

50 en donde

$$\mu_f = \frac{1}{W_\sigma^2} \sum_{j \in n_f} r_{fj}$$

5 Dado un umbral T_σ , en la etapa (606), los pixels residuales r_{fi} se pueden establecer a un valor predeterminado (por ejemplo, cero) si $\sigma_{fi} < T_\sigma$. El umbral T_σ puede ser fijo, o en una forma realización preferida, se puede determinar de forma adaptativa dependiendo de las características de trama residual y de los requisitos de tasa binaria global. A modo de ejemplo, se supone que P_f indica el número total de pixels en la f-ésima trama. Se supone que σ_{fi} indica los valores de desviación estándar calculados en la etapa (602). En la etapa (604), T_σ se puede determinar de la siguiente manera:

10 (a) Ordenar los valores de σ_{fi} en orden descendente para generar una lista clasificada de $\tilde{\sigma}_{fi}$

(b) Entonces, T_σ es el valor $k * P_f$ en la lista ordenada $\tilde{\sigma}_{fi}$, donde k se define en el margen (0.0 a 1.0). Por ejemplo, para $k=0,25$, dada una trama de 1920×1080 , T_σ corresponde al valor de la 518,400-ésimo de la desviación estándar en la lista clasificada.

15 Métodos alternativos para calcular la suavidad también pueden incluir el cálculo del valor medio o varianza de los pixels de zona $W_\sigma \times W_\sigma$, o calcular una métrica basada en un mapa de borde del área que rodea cada pixel, o utilizar cualquier otro algoritmo de detección y determinación de la suavidad, conocido en esta técnica.

20 AJUSTE DE LOS LÍMITES RESIDUALES DEL FINAL DE LA TRAMA

Se supone que X_f^+ indica el valor residual positivo máximo en la trama f y se supone que X_f^- indica el valor absoluto del valor residual negativo mínimo en la trama f . Entonces

25
$$X_f^+ = \max\{r_{fi} \mid i = 0, \dots, P_f - 1\},$$

y

30
$$X_f^- = |\min\{r_{fi} \mid i = 0, \dots, P_f - 1\}|$$

Según se ilustra en la Figura 5, los límites de entrada del cuantizador podrían determinarse en términos de X_f^+ y X_f^- (p.ejem., $X_{max} = X_f^+$); sin embargo, los resultados experimentales han demostrado que los valores residuales tienen una distribución en forma de campana y generalmente hay muy pocos pixels en cada trama que están cerca de X_f^+ o X_f^- . Según se indicó con anterioridad, para el cuantizador ilustrado en la Figura 5, la etapa de

35 cuantización es proporcional a $\frac{X_{max}}{Level}$. Para un número fijo de palabras de código (por ejemplo, el valor de Level), la distorsión debida a la cuantización es directamente proporcional al valor de X_{max} ; por lo tanto, se prefieren valores

40 X_{max} más pequeños. En una forma de realización, en lugar de determinar X_{max} de conformidad con X_f^+ o X_f^- , se determina un nuevo margen más pequeño $[Th_f^-, Th_f^+]$. Antes de aplicar NLQ (155), los valores de pixels residuales se restringen (o recortan) para que se ajusten dentro del nuevo margen $[Th_f^-, Th_f^+]$; en donde para la trama f , Th_f^+ indica un límite para los residuos positivos y Th_f^- indica un límite para los residuos negativos. Es decir,

$$r_{fi} = \text{clip3}(r_{fi}, Th_f^-, Th_f^+),$$

45 en donde la función clip3() indica que los valores de pixels residuales más grandes que Th_f^+ se recortan a Th_f^+ , y los valores de pixels residuales más pequeños que Th_f^- se recortan a Th_f^- .

50 Si bien un dominio de entrada más pequeño para el proceso NLQ produce errores más pequeños debido a la cuantización, el recorte no restringido de la señal residual puede producir artefactos notables, por lo tanto, existe la necesidad de adaptar la selección del nuevo dominio de conformidad con las características de la señal residual. En una forma de realización, estos dos umbrales se determinan de forma adaptativa en función de la conectividad (o dispersión) observada de los valores de pixels residuales. Es decir, los pixels residuales aislados con valores muy grandes pueden recortarse con un efecto mínimo en la calidad general; sin embargo, los valores de pixels de los pixels residuales conectados deben codificarse correctamente. Una puesta en práctica a modo de ejemplo de dicho proceso de determinación de límite de conformidad con una forma de realización de la presente invención se

55 representa en la Figura 6B mediante el proceso (650).

El proceso (650) calcula un umbral Th que satisface la condición de que los valores de pixels residuales iguales o mayores que Th se consideren conectados de forma dispersa, por lo tanto, pueden ser recortados. El proceso (650) se puede utilizar para calcular uno u otro de los límites Th_{f-} o Th_{f+} , dependiendo de los valores residuales de entrada. Por ejemplo, para determinar $Th_{f+} = Th$, el proceso considera solamente valores de pixels residuales

5 positivos, por ejemplo, en el margen $(0, X_f^+)$,

$$R_{fi} = \begin{cases} r_{fi} & \text{if } r_{fi} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}.$$

Para determinar $Th_{f-} = Th$, el proceso considera solamente los valores absolutos de los valores negativos de pixels residuales, por ejemplo, en el margen $(0, X_f^-)$,

10

$$R_{fi} = \begin{cases} |r_{fi}| & \text{if } r_{fi} < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}.$$

En la etapa (610), el proceso comienza estableciendo un valor inicial para el umbral Th . Por lo tanto, dados los

15 límites originales de r_{fi} (por ejemplo, $Th_L=0$ y $Th_H = X_f^+$ o $Th_H = X_f^-$), en una forma de realización a modo de ejemplo, un umbral inicial se puede establecer en el valor medio del margen conocido, por ejemplo,

$$Th = (Th_H + Th_L)/2.$$

20 Dado el umbral Th , en la etapa (612), se genera un mapa binario M_f , en donde los elementos del mapa binario se calculan como

$$m_{fi} = (R_{fi} \geq Th)$$

25 $M_f(i) = m_{fi}$.

Dado M_f , en la etapa (614), se puede determinar la conectividad de cada pixel binario. Por ejemplo, en MATLAB, la conectividad de proximidad (por ejemplo, una proximidad conectada de 4 pixels o 8 pixels) se puede calcular utilizando la función `bwconncomp`. Se supone que $NC_f(i)$ indica el número de elementos próximos de cada pixels en la imagen binaria M_f . En la etapa (618), el umbral Th puede ajustarse de manera que no se recorten pixels si su conectividad supera un umbral de conectividad predeterminado T_{cc} (por ejemplo, $T_{cc} = 5$ pixels). Por ejemplo, si la conectividad de pixels máxima en todos los pixels supera un umbral de conectividad predeterminado T_{cc} , entonces, el umbral Th puede aumentarse, y de no ser así, puede disminuirse. Por ejemplo, utilizando una búsqueda binaria,

35 `if(max{ NC_f(i) } ≥ Tcc) // la conectividad máxima para cada pixel supera Tcc`
`Th_L = Th;`

`else`

`Th_H = Th;`

`Th_old = Th;`

`Th = (Th_H + Th_L) / 2;`

Con el fin de reducir la complejidad del cálculo, en una forma de realización, el proceso puede incluir una etapa de prueba de convergencia (620). Por ejemplo, la etapa de convergencia (620) puede calcular la diferencia entre los umbrales anterior (o antiguo) y los nuevos. Si su diferencia es mayor que un umbral de convergencia predeterminado, entonces el proceso continúa nuevamente a partir de la etapa (612) con el nuevo umbral. De lo contrario, termina y genera el límite final que se utilizará (por ejemplo, $Th_{f+} = Th$)

40

CUANTIZACIÓN NO LINEAL BASADA EN LA ESCENA OPERATIVA

45 Como se examinó con anterioridad, en algunas formas de realización, el cuantizador no lineal (155) se puede expresar en términos de los siguientes parámetros: X_{max} , `offset` (por ejemplo, M) y `Level` (ver también la descripción relacionada con la Figura 5). En algunas formas de realización, puede ser conveniente determinar estos parámetros en términos de las características de pixels residuales en una secuencia de tramas, por ejemplo, una escena operativa.

50

Dado los valores de X_f^+ y X_f^- para una secuencia de F tramas, se supone que

$$X^+ = \max\{X_f^+ \mid f = 1, \dots, F\},$$

$$X^- = \max\{X_f^- \mid f = 1, \dots, F\},$$

Entonces, los parámetros del cuantizador no lineal se pueden establecer para toda la escena operativa como

$$Offset = (2^{EL_bitdepth} - 1) \frac{X^-}{X^- + X^+},$$

$$Level = \max\{(2^{EL_bitdepth} - 1) - Offset, Offset\},$$

y

$$X_{MAX} = (1 + \Delta) \max\{X^-, X^+\},$$

donde $EL_bitdepth$ indica la profundidad de bits del codificador EL (160) (por ejemplo, $EL_bitdepth = 8$) y Δ indica un pequeño valor positivo (por ejemplo, $\Delta = 0.1$). En una forma de realización, para las componentes de crominancia, el número de niveles de cuantización se puede determinar utilizando

$$Chroma_Level = \min\{Luma_level \frac{X_{MAX}(chroma)}{X_{MAX}(luma)}, 2^{EL_bitdepth} - 1\}$$

En otra forma de realización, los valores de X_f^+ y X_f^- se pueden sustituir también por los correspondientes valores de Thf^+ y Thf^- , según se calculó con anterioridad.

EJEMPLO DE PUESTA EN PRÁCTICA DEL SISTEMA INFORMÁTICO

Las formas de realización de la presente invención pueden ponerse en práctica con un sistema informático, sistemas configurados en circuitos electrónicos y sus componentes, un dispositivo de circuito integrado (IC) tal como un microcontrolador, una matriz de puertas programables in situ (FPGA), u otro dispositivo lógico, configurable o programable (PLD), un procesador de señal digital o de tiempo discreto (DSP), un IC específico de la aplicación (ASIC) y/o un aparato que incluye uno o más de dichos sistemas, dispositivos o componentes. El ordenador y/o el circuito integrado IC pueden realizar, controlar o ejecutar instrucciones relacionadas con la codificación de señales UHD EDR, tal como las descritas en este documento. El ordenador y/o el circuito integrado IC pueden calcular cualquiera de una diversidad de parámetros o valores relacionados con la codificación de señales UHD EDR tal y como se describe en este documento. Las realizaciones de codificación y decodificación pueden ponerse en práctica en hardware, software, firmware y varias de sus combinaciones.

Algunas puestas en práctica de la invención comprenden procesadores informáticos que ejecutan instrucciones de software que hacen que los procesadores realicen un método de la invención. Por ejemplo, uno o más procesadores en una pantalla, un codificador, un decodificador, un transcodificador o dispositivo similar, pueden poner en práctica métodos relacionados con la codificación de señales UHD EDR tal y como se describió anteriormente ejecutando instrucciones de software en una memoria de programa accesible para los procesadores. La invención también puede proporcionarse en forma de un producto de programa. El producto del programa puede comprender cualquier medio que transmita 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 la invención. Los productos del programa, de conformidad con la invención, pueden estar en cualquiera de una amplia variedad de formas. El producto del programa puede comprender, por ejemplo, medios físicos tales como medios de almacenamiento de datos magnéticos que incluyen disquetes flexibles, unidades de disco duro, medios de almacenamiento de datos ópticos que incluyen CD ROM, DVD, medios de almacenamiento de datos electrónicos que incluyen memorias ROM, RAM, instantánea o similares. Las señales legibles por ordenador en el producto del programa pueden ser comprimidas o encriptadas de forma opcional.

Cuando se hace referencia a un componente (por ejemplo, un módulo de software, un procesador, un conjunto de montaje, dispositivo, circuito, etc.), a menos que se indique lo contrario, la referencia a ese componente (incluida una referencia a un "medio") debe interpretarse como incluyendo como equivalentes de ese componente a cualquier componente que realice la función del componente descrito (por ejemplo, que es funcionalmente equivalente), incluyendo componentes que no son estructuralmente equivalentes a la estructura descrita que realiza la función en

las formas de realización ejemplos ilustradas de la invención.

EQUIVALENTES, EXTENSIONES, ALTERNATIVAS Y REALIZACIONES VARIAS

5 De este modo, se describen formas de realización, a modo de ejemplo, que se relacionan con la codificación y decodificación retro-compatible de señales UHD EDR. En la especificación anterior, las formas de realización de la presente invención se han descrito con referencia a numerosos detalles específicos que pueden variar de una forma de realización a otra. De este modo, el único y exclusivo indicador de lo que es la invención, y que está previsto por los solicitantes para ser la invención, es el conjunto de reivindicaciones que se emiten a partir de esta solicitud, en la
10 forma específica en la que establecen dichas reivindicaciones, incluyendo cualquier corrección posterior. Cualquier definición expresamente expuesta en este documento para los términos contenidos en dichas reivindicaciones regirá el significado de dichos términos como se utiliza en las reivindicaciones. Por consiguiente, sin limitación alguna, la indicación de elemento, propiedad, característica, ventaja o atributo que no se establezca expresamente en una reivindicación, debe limitar el alcance de dicha reivindicación de cualquier manera. En consecuencia, la
15 especificación y las figuras deben considerarse en un sentido ilustrativo y no en un sentido restrictivo.

20

REIVINDICACIONES

1. Un método para codificar datos de vídeo de entrada en un flujo en capas retro-compatibles con versiones anteriores, cuyo método comprende:
- 5 acceder a una primera señal con una primera resolución espacial y un primer dominio dinámico;
- acceder a una segunda señal con una segunda resolución espacial y un segundo dominio dinámico, en donde el segundo dominio dinámico es inferior al primer dominio dinámico;
- 10 en respuesta a la segunda señal, generar con un procesador una señal de capa de base (126) con un formato de color de codificación preferido;
- 15 en respuesta a la primera señal, generando con el procesador una señal de predicción de referencia con la segunda resolución espacial, el primer dominio dinámico y el formato de color de codificación preferido;
- calcular los coeficientes de predicción de luminancia para un predictor de luminancia (145) en respuesta a los valores de pixels de luminancia de la señal de predicción de referencia y los valores de pixels de luminancia de la señal de capa de base, y no en respuesta a los valores de pixels de crominancia de la señal de predicción de referencia o de la señal de la capa de base;
- 20 calcular los coeficientes de predicción de crominancia para un predictor de crominancia (140) en respuesta, a la vez, a los valores de pixels de luminancia y de crominancia de la señal de predicción de referencia y a los valores de pixels de luminancia y de crominancia de la señal de capa de base;
- 25 generar una señal predicha con el primer dominio dinámico utilizando el predictor de luminancia y el predictor de crominancia en respuesta a la señal de la capa de base y a los coeficientes de predicción de luminancia y crominancia;
- 30 generar una señal residual (167) en respuesta a la primera señal y a la señal predicha;
- generar un flujo de capa de base codificado utilizando un codificador de capa de base (130) en respuesta a la señal de capa de base; y
- 35 generar un flujo codificado de capa de mejora utilizando un codificador de capa de mejora (160) en respuesta a la señal residual.
2. El método según la reivindicación 1, en donde el formato de color preferido comprende un formato YCbCr 4: 2: 0.
- 40 3. El método según la reivindicación 1, en donde el predictor de luminancia comprende un predictor polinomial, donde los valores de pixels de una componente de luminancia de una señal predicha se predicen basándose solo en los valores de pixels de luminancia de una señal de entrada, o
- 45 en donde el predictor de crominancia comprende un predictor de regresión múltiple (MMR) de canales multicolores, en donde los valores de pixels de una componente de crominancia de una señal predicha se predicen en función de, a la vez, los valores de pixels de luminancia y crominancia de una señal de entrada.
4. El método según la reivindicación 1 que comprende, además, procesar la señal residual mediante un cuantizador no lineal antes de generar el flujo codificado de capa de mejora, o
- 50 que comprende además generar metadatos en respuesta a los coeficientes de predicción de luminancia y los coeficientes de predicción de crominancia y transmitir los metadatos a un decodificador.
- 55 5. Un método para decodificar un flujo en capas, cuyo método comprende:
- recibir un flujo de bits codificado, incluyendo el flujo de bits codificado un flujo codificado de capa de mejora (EL) (162) con una primera resolución espacial y un primer dominio dinámico y un flujo codificado de capa de base (BL) (132) con una segunda resolución espacial y un segundo dominio dinámico, en donde el primer dominio dinámico es superior al segundo dominio dinámico;
- 60 decodificar el flujo de BL codificado utilizando un decodificador de BL (215) para generar una señal de BL decodificada;
- 65 en respuesta a la señal BL descodificada, se genera una señal predicha con el primer dominio dinámico, en donde los valores de pixels de luminancia de la señal predicha se predicen basándose solamente en los valores de pixels

de luminancia de la señal BL descodificada y los valores de pixels de crominancia de al menos una componente de crominancia de la señal predicha se predicen en función de, a la vez, los valores de pixels de luminancia y crominancia de la señal BL descodificada;

5 descodificar el flujo EL codificado utilizando un decodificador EL (210) para generar una señal residual descodificada; y

generar una señal de salida con la primera resolución y el primer dominio dinámico en respuesta a la señal residual descodificada y a la señal predicha.

10 6. El método según la reivindicación 5 que comprende, además, procesar la señal residual descodificada por un descuantizador no lineal antes de generar la señal de salida, o

15 en donde la primera resolución espacial es superior a la segunda resolución espacial, y antes de aplicar la señal predicha para generar la señal de salida, la señal predicha se muestrea en sentido ascendente para generar una señal predicha muestreada en sentido ascendente con la primera resolución espacial.

20 7. El método según la reivindicación 1 o la reivindicación 6, en donde la primera resolución espacial es una resolución de ultra alta definición (UHD) y la segunda resolución es una resolución espacial de alta definición (HD).

8. El método según la reivindicación 1 o la reivindicación 5, en donde el primer dominio dinámico es un dominio dinámico alto o mejorado y el segundo dominio dinámico es un dominio dinámico estándar, o en donde la primera resolución es la misma que la segunda resolución.

25 9. El método según la reivindicación 1, en donde generar la señal residual comprende, además:

aumentar la escala de la señal predicha utilizando un proceso de ampliación de escala para generar una señal predicha aumentada de escala con la primera resolución espacial; y

30 generar la señal residual en respuesta a la primera señal y la señal predicha de escala ascendente, y

de manera opcional, en donde la generación de la señal predicha de escala ascendente comprende:

35 para uno o más pixels en la señal predicha, aplicando umbrales de luminancia y un criterio de selección para seleccionar un sub-dominio de luminancia del pixels correspondiente en la segunda señal; y

40 aplicando a dicho uno o más pixels en la señal predicha un filtro de escala ascendente determinado para dicho sub-dominio de luminancia para generar valores de pixels correspondientes para la señal predicha de escala ascendente, y

que, además, comprende opcionalmente señalar los umbrales de luminancia e información relacionada con el filtro de aumento de escala para dicho sub-dominio de luminancia a un decodificador.

45 10. El método según la reivindicación 6, en donde generar la señal predicha de muestreo ascendente comprende, además:

recibir desde un codificador umbrales de luminancia para dividir un dominio de luminancia en sub-dominios de luminancia;

50 recibir desde el codificador información de filtro de escala ascendente para cada uno de dichos sub-dominios de luminancia;

55 para uno o más pixels en la señal predicha, aplicar los umbrales de luminancia y un criterio de selección para determinar para uno o más pixels correspondientes en la señal BL decodificada un sub-dominio de luminancia entre los sub-dominios de luminancia; y

60 aplicar a dicho uno o más pixels en la señal predicha el filtro de escala ascendente correspondiente a dicho sub-dominio de luminancia para generar valores de pixels correspondientes para la señal predicha muestreada de manera ascendente.

11. El método según la reivindicación 5, en donde la señal BL descodificada comprende una señal entrelazada y generar la señal de salida comprende, además:

65 el muestreo ascendente y el desentrelazado de la señal predicha para generar una señal predicha progresivamente muestreada ascendente con la primera resolución espacial; y

generar la señal de salida con la primera resolución y el primer dominio dinámico en respuesta a la señal residual decodificada y a la señal predicha progresiva muestreada en sentido ascendente.

5 12. El método según la reivindicación 1 que comprende, además, un método de preprocesamiento para preprocesar datos de pixels residuales en una capa de mejora del flujo en capas retro-compatibles con versiones anteriores, comprendiendo el método de preprocesamiento:

10 acceder a valores de pixels residuales en una trama de imagen residual, los valores de pixels residuales que se procesarán mediante un cuantizador no lineal;

15 calcular uno o más valores métricos de suavidad para uno o más pixels residuales en la trama de imagen residual; y

20 establecer a un valor predeterminado los valores de pixels de uno o más pixels residuales para los cuales su valor métrico de suavidad correspondiente es inferior a un umbral.

15 13. El método según la reivindicación 12, en donde el método de preprocesamiento comprende, además:

20 clasificar en orden decreciente los uno o más valores métricos de suavidad calculados para generar una lista de valores métricos de suavidad ordenados; y

25 seleccionar uno de los valores métricos de suavidad como el umbral, o

30 en donde el valor métrico de suavidad para un pixel residual se calcula basándose en la desviación estándar de los valores de pixels en una zona que rodea al pixel residual.

25 14. Un aparato que comprende un procesador y está configurado para realizar el método según la reivindicación 1 o la reivindicación 5.

30 15. Un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que tiene almacenadas instrucciones ejecutables por ordenador que, cuando son ejecutadas por un ordenador, hacen que el ordenador lleve a cabo el método según la reivindicación 1 o la reivindicación 5.

35

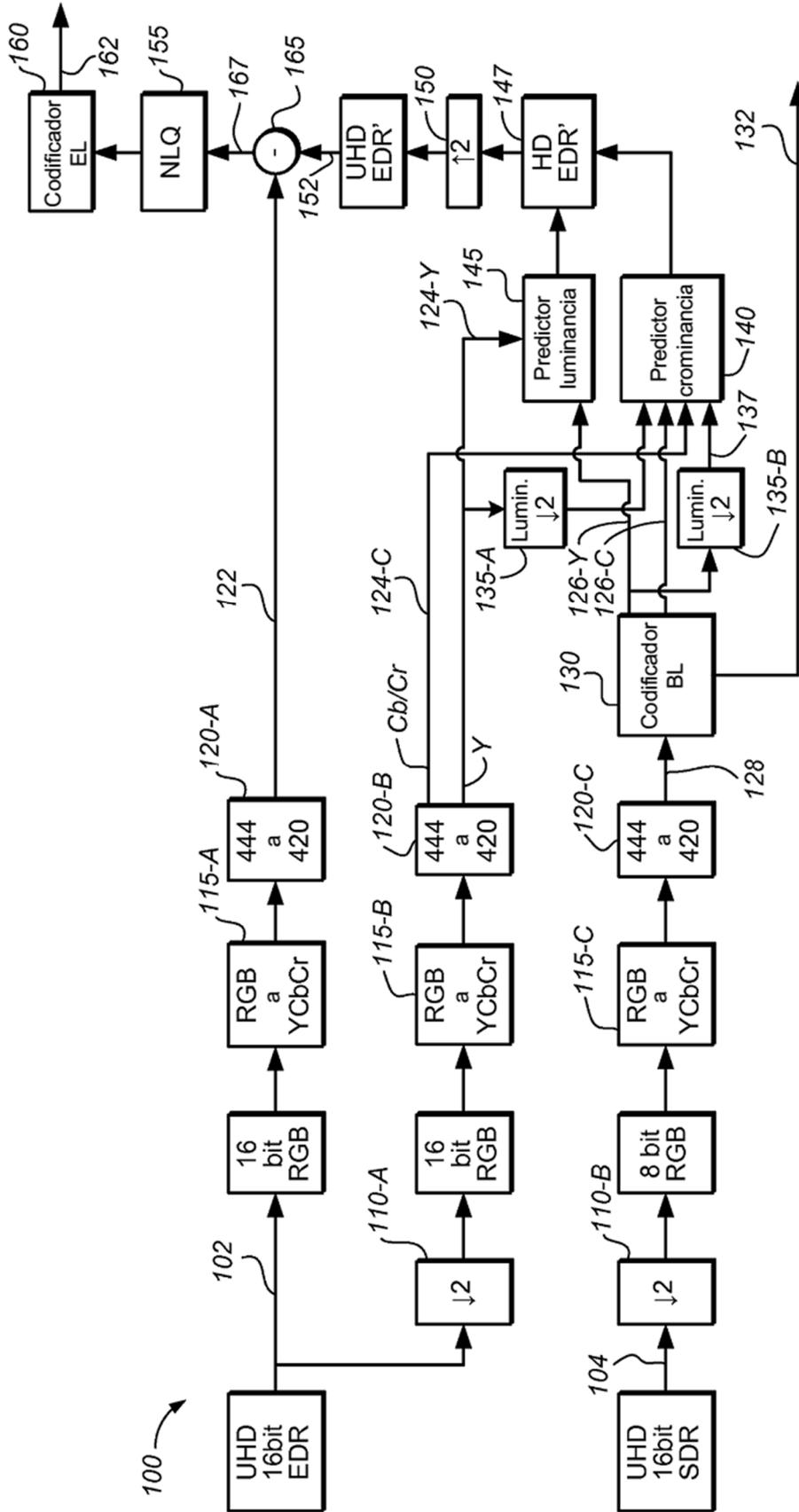


FIG. 1

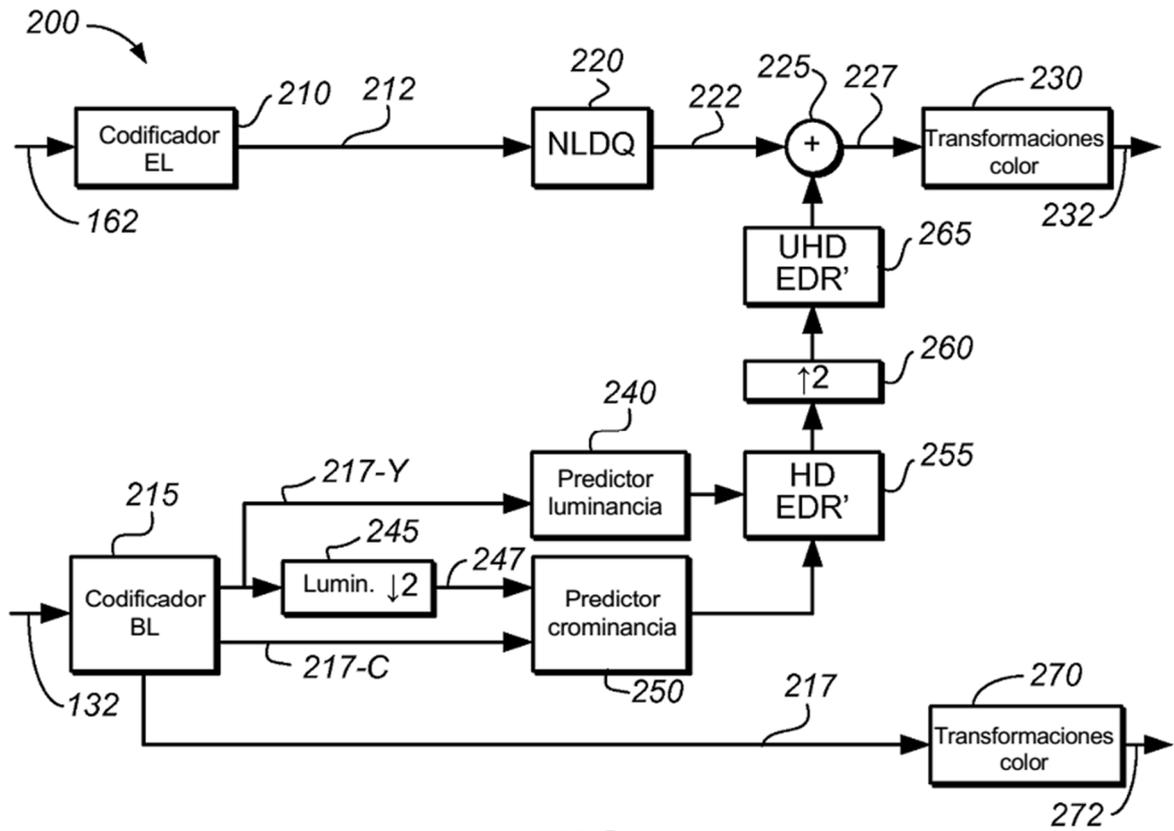


FIG. 2

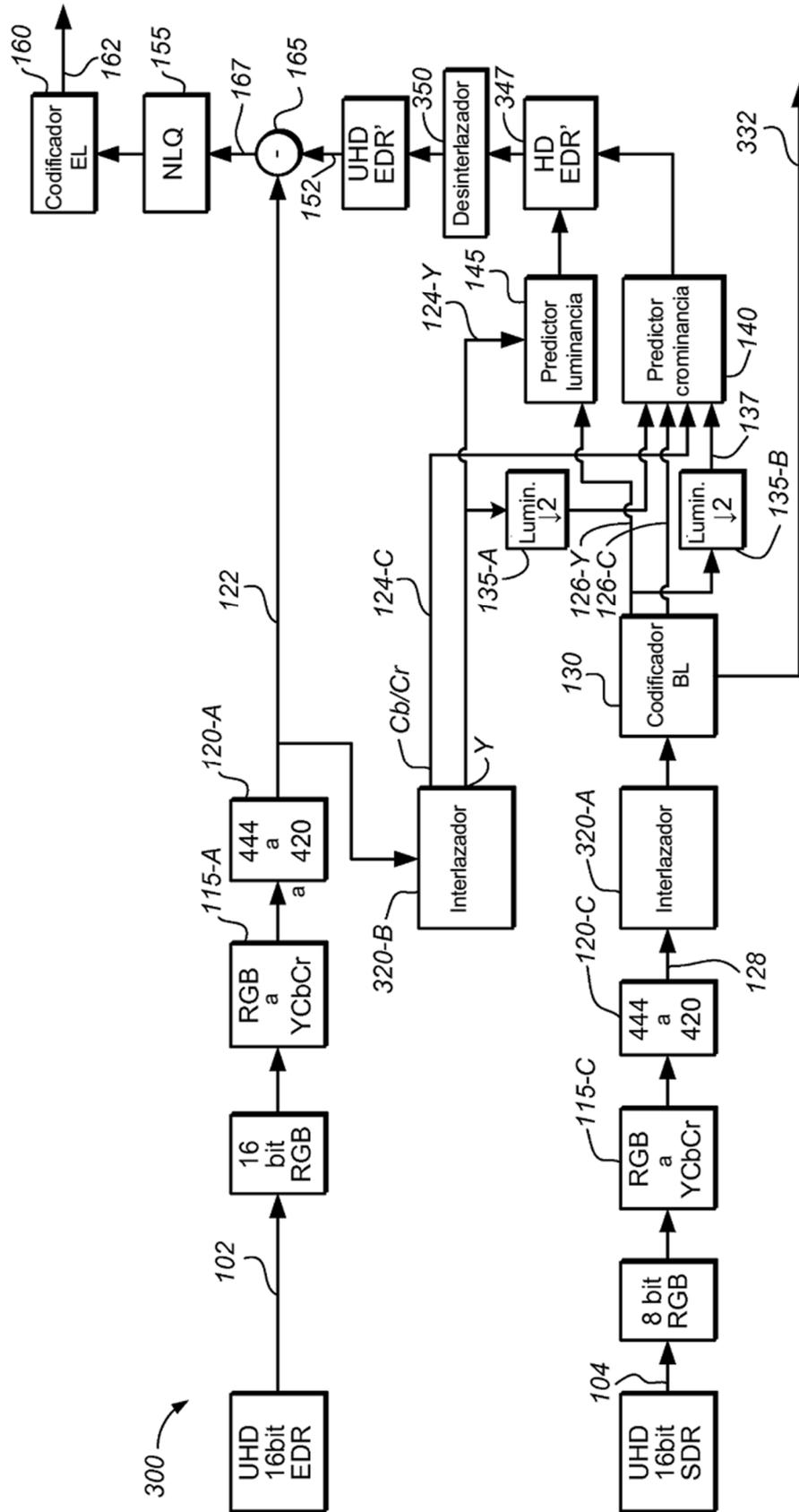


FIG. 3

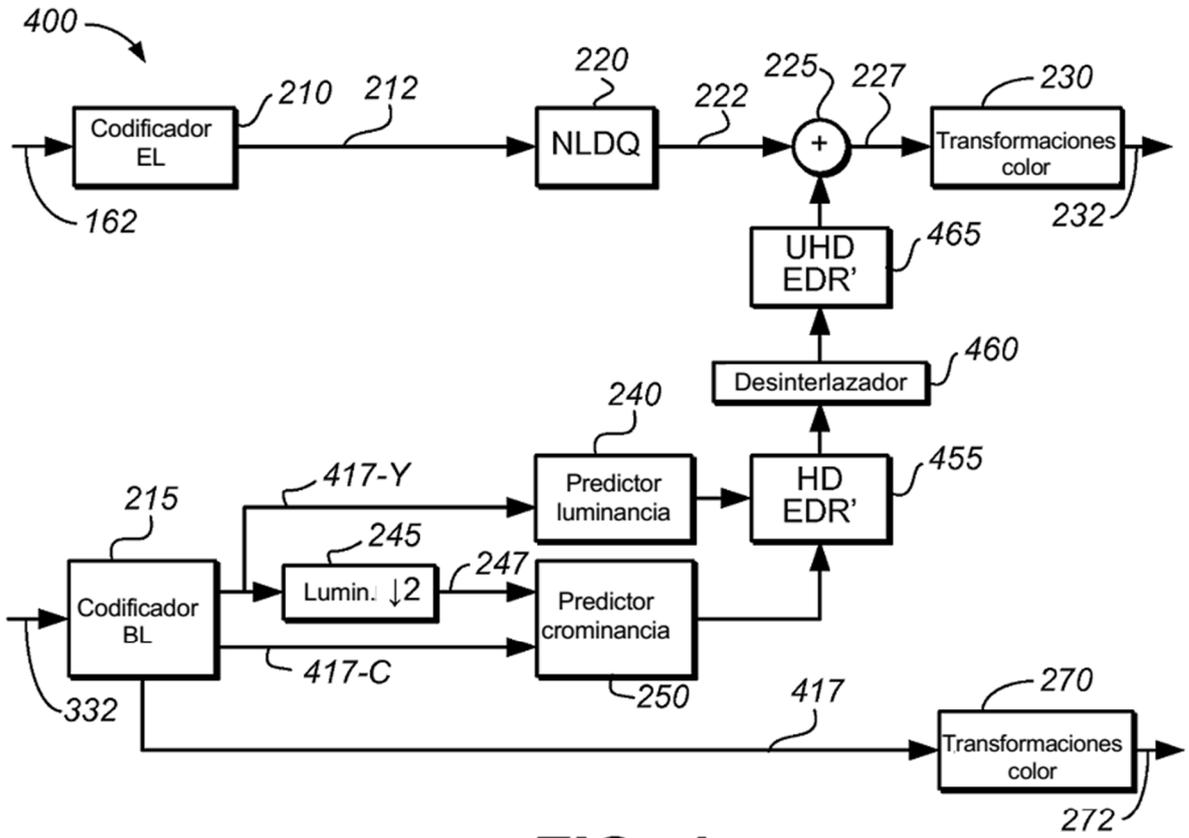


FIG. 4

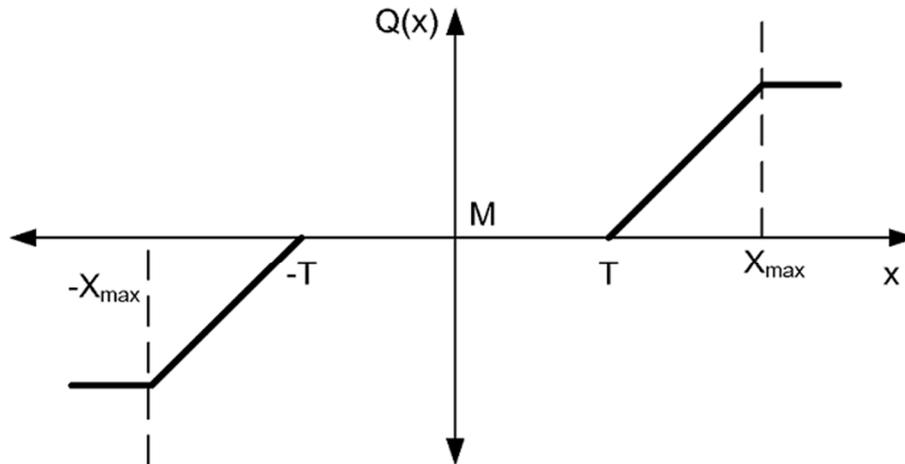


FIG. 5

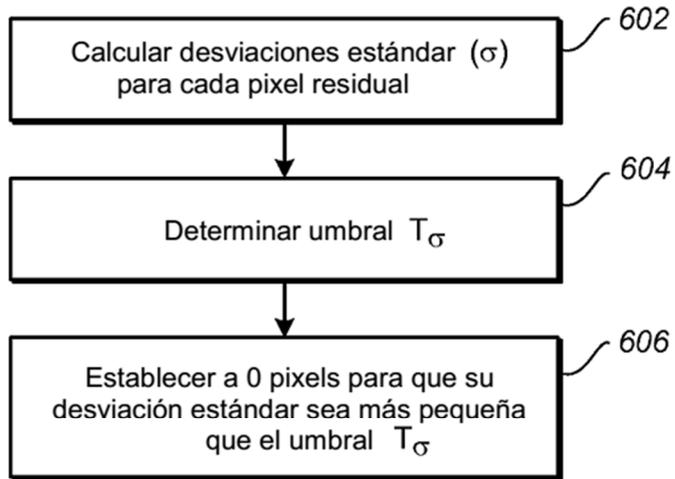


FIG. 6A

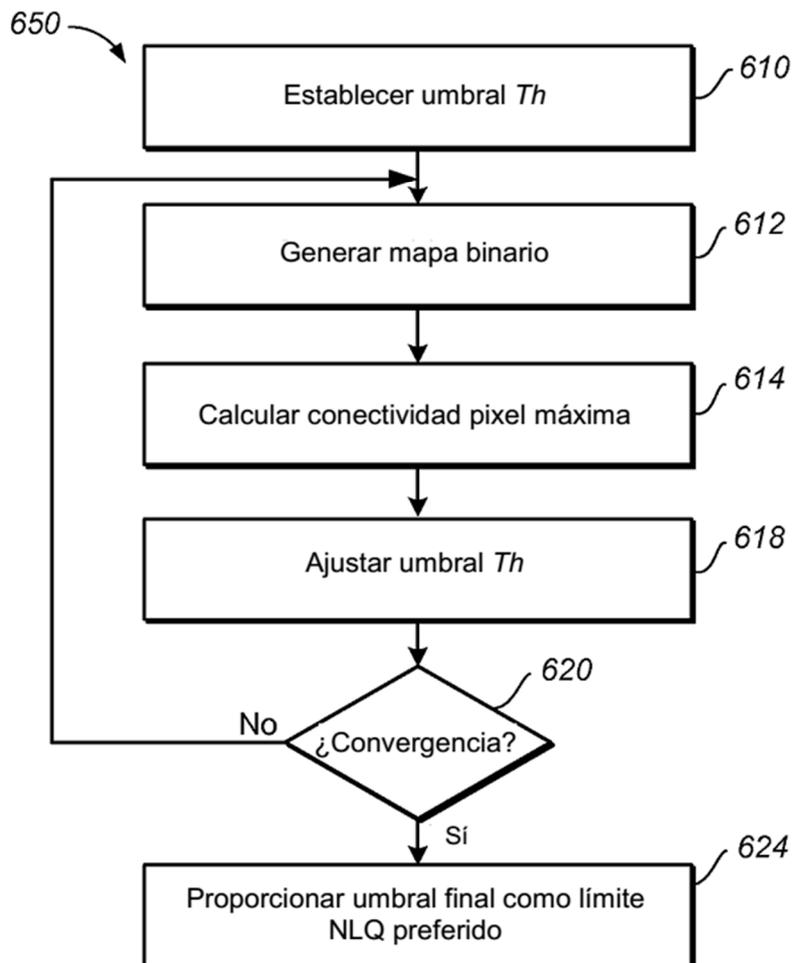


FIG. 6B