

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 690 371**

51 Int. Cl.:

H04N 5/57 (2006.01)

G06T 5/00 (2006.01)

H04N 5/235 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.12.2014 PCT/EP2014/076183**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2015 WO15096955**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2014 E 14806604 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.08.2018 EP 3087730**

54 Título: **Método para el mapeado tonal inverso de una imagen**

30 Prioridad:

27.12.2013 EP 13306876

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

20.11.2018

73 Titular/es:

**THOMSON LICENSING (100.0%)
1-5, rue Jeanne d'Arc
92130 Issy-les-Moulineaux, FR**

72 Inventor/es:

**POULI, TANIA;
REINHARD, ERIK y
CHAMARET, CHRISTEL**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 690 371 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

Método para el mapeado tonal inverso de una imagen

Campo de la técnica

5 La invención pertenece al campo de la formación de imágenes con un rango dinámico alto y resuelve notablemente el problema de expandir el rango dinámico de un contenido con un bajo rango dinámico para preparar dicho contenido antes de mostrarlo a través de dispositivos de pantalla que tienen una luminancia de pico notablemente alta.

Técnica anterior

10 Avances recientes en la tecnología de las pantallas empiezan a permitir mostrar un rango extendido de color, luminancia y contraste.

Las tecnologías que permiten extensiones en el rango de luminancia o brillo del contenido de la imagen se conocen como formación de imágenes con rango dinámico alto, que frecuentemente se contrae como HDR (High Dynamic Range imaging). Las tecnologías HDR se centran en capturar, procesar y mostrar contenido de un rango dinámico más ancho.

15 Aunque han aparecido varios dispositivos de pantalla HDR, y se están desarrollando cámaras capaces de capturar imágenes con un rango dinámico mayor, todavía hay muy poco contenido HDR disponible. Aunque desarrollos recientes prometen la captura nativa de contenido HDR en el futuro cercano, no sirven para el contenido existente.

20 Para preparar el contenido convencional (referido en este documento como LDR (Low Dynamic Range)) de modo que se pueda mostrar en dispositivos HDR, se pueden utilizar operadores de mapeado tonal inverso o reverso (iTMO, inverse Tone Mapping Operator). Tales algoritmos procesan la información de luminancia de los colores en el contenido de la imagen con el propósito de recuperar o recrear la apariencia de la escena original. Típicamente, iTMOs adopta una imagen convencional (es decir, LDR) como entrada, expande el rango de luminancia de los colores de esta imagen de una manera global, y posteriormente procesa los puntos de brillo máximo o regiones más brillantes localmente para mejorar la apariencia HDR de los colores de la imagen.

25 Aunque existen muchas soluciones iTMO, se centran en reproducir la percepción de la apariencia de la escena original y se basan en suposiciones estrictas sobre el contenido. Adicionalmente, la mayor parte de los métodos de expansión propuestos en la literatura están optimizados para aumentos extremos en el rango dinámico.

30 Típicamente, la formación de imágenes HDR se define por una extensión en rango dinámico entre valores oscuros y brillantes de luminancia de los colores combinada con un aumento en el número de pasos de cuantificación. Para conseguir aumentos de rango dinámico más extremos, muchos métodos combinan una expansión global con pasos de procesamiento locales que mejoran la apariencia de los puntos de brillo máximo y otras regiones brillantes de las imágenes. Los pasos de expansión global conocidos propuestos en la literatura varían desde una expresión sigmoïdal inversa a lineal o lineal a trozos.

35 Para mejorar los elementos locales brillantes de una imagen, es conocida la creación de un mapa de expansión de luminancia, donde cada píxel de la imagen está asociado a un valor de expansión para su aplicación a la luminancia de ese píxel. En el caso más simple, pueden detectarse regiones seleccionadas de la imagen y luego expandirse usando una curva de expansión más inclinada, aunque dicha solución no ofrece un control suficiente sobre la apariencia de la imagen.

40 El documento US 2012/201456 A1 describe un método y sistema para transformar una imagen digital desde una imagen de rango dinámico bajo (LDR) a una imagen de rango dinámico alto (HDR).

Existe una necesidad de un iTMO nuevo que permita mejorar la apariencia visual de las imágenes mediante un re-mapeado selectivo y dinámico de la luminancia de sus colores y su rango de contraste.

Resumen de la invención

45 Un objeto de la presente es mejorar la apariencia visual de las imágenes mediante un re-mapeado dinámico y selectivo de la luminancia de sus colores y su rango de contraste. Básicamente, se considera que es necesario un procesamiento de luminancia diferente para diferentes partes de la imagen. Cuando no hay disponibles datos referidos a la escena en el contexto de la expansión de rango dinámico en el lado de la pantalla, cualquier solución de expansión de la luminancia debe ser un compromiso entre reproducir la apariencia de la escena original lo mejor posible, al mismo tiempo que se asegura que no se amplifican artefactos de compresión o ruido. Por tanto, en el método de mapeado tonal inverso de una imagen que se propone a continuación, la expansión de rango varía espacialmente y por tanto se adapta completamente al contenido de la imagen.

50 Un objeto de la invención es por tanto un método para el mapeado tonal inverso de una imagen, cuyos colores se representan en un espacio de color que separa luminancia de crominancia, que comprende:

- obtener un valor $E'(p)$ de exponente de expansión de píxel para cada píxel (p) de dicha imagen, mediante la aplicación de un filtro paso bajo de los valores de luminancia de los colores de los píxeles la vecindad espacial de dicho píxel,

5 - obtener un valor $Y_{\text{enhance}}(p)$ de mejora de luminancia de píxel para cada píxel (p) de dicha imagen, mediante la extracción de altas frecuencias de valores de luminancia de colores de píxeles en la vecindad espacial de dicho píxel,

10 - realizar un mapeado tonal inverso de la luminancia $Y(p)$ de cada píxel (p) de dicha imagen para conseguir una luminancia $Y_{\text{exp}}(p)$ expandida obtenida a través del producto de la luminancia $Y(p)$ de dicho píxel a la potencia del valor $E'(p)$ del exponente de expansión del píxel obtenida para este píxel y el valor de mejora de luminancia de píxel obtenido para dicho píxel a la potencia de un parámetro c de exponente, que es igual o mayor que 1.

Esto significa que $Y_{\text{exp}}(p) = Y(p)^{E'(p)} \times [Y_{\text{enhance}}(p)]^c$

El parámetro de exponente c controla la magnitud de la mejora de detalle aportada por el valor de mejora de luminancia de píxel. Por tanto, valores mayores de c aumentan gradualmente el contraste de los bordes de la imagen. Preferiblemente, se utiliza un valor $c = 1,5$.

15 Cuando se realiza el filtrado paso bajo de los valores de luminancia en la vecindad espacial de un píxel para obtener su valor de exponente de expansión de píxel, significa que cada píxel obtendrá su propio exponente de expansión. Por tanto, la expansión del rango de luminancia obtenido por este método varía espacialmente y se adapta al contenido de la imagen.

20 Como la extracción de frecuencias altas de valores de luminancia se realiza en la vecindad espacial de un píxel para obtener su valor de mejora de luminancia de píxel, significa que cada píxel obtendrá su propia mejora de luminancia y dicha mejora de luminancia estará ventajosamente adaptada para compensar al menos parcialmente el suavizado de los detalles de la imagen provocado por la componente espacial del filtrado paso bajo de los valores de luminancia realizado para expandir la luminancia.

25 Preferiblemente, se realiza el filtrado paso bajo de modo que los colores de los píxeles dentro de las áreas brillantes de la imagen se mejoran más que los colores de los píxeles en áreas más oscuras de la imagen.

Preferiblemente, dichos valores $E'(p)$ de exponente de expansión de píxel también se obtienen mediante un re-conformado de dichos valores de luminancia sometidos al filtrado paso bajo de modo que estos valores son redistribuidos para que la luminancia expandida media de la imagen obtenida sea aproximadamente igual que la luminancia media de la imagen original.

30 En una primera variante, si se quiere reproducir la imagen mapeada de tono inverso en un dispositivo de pantalla que tiene una luminancia D_{max} pico dada, dichos valores $E'(p)$ de exponente de expansión de píxel se obtienen también preferiblemente mediante un re-escalado de dichos valores de luminancia sometidos al filtrado paso de modo que la máxima luminancia $\max(Y)$ sobre píxeles de dicha imagen a la potencia del valor de exponente de expansión obtenido para el píxel que tiene su máxima luminancia $\max(Y)$ sea igual que dicha luminancia D_{max} de pico.

Significa, por ejemplo, que
$$E'(p) = \left(\alpha \frac{E(p)}{\max(E)} + 1 - \alpha \right) \frac{\log(D_{\text{max}})}{\log(\max(Y))}$$

40 $E(p)$ es el valor obtenido directamente mediante la aplicación del filtrado paso bajo de los valores de luminancia de los colores del píxel (p) en la vecindad espacial de este píxel, donde α es un parámetro de re-escalado que puede utilizarse para controlar la expansión global de luminancia. Por tanto, con el término D_{max} , el procesamiento de luminancia de la imagen depende de las capacidades del dispositivo de pantalla HDR utilizado para mostrar esta imagen, notablemente su luminancia de pico.

45 El método se adapta por tanto ventajosamente tanto al propio contenido como al rango de luminancia del dispositivo de pantalla, y permite la mejora de la apariencia HDR del contenido, incluso cuando se usan dispositivos de pantalla con modestos aumentos en el rango dinámico.

En una segunda variante, dichos valores $E'(p)$ de exponente de expansión de píxel son preferiblemente obtenidos mediante un re-conformado de dichos valores de luminancia sometidos al filtrado paso a través de una función cuadrática aplicada a estos valores.

50 Preferiblemente, para calcular el valor del exponente de expansión de píxel de cada píxel, dicho filtrado paso bajo se realiza en una primera variante calculando el producto de una primera función gaussiana aplicada en dicha vecindad espacial de dicho píxel y una segunda función gaussiana aplicada en la vecindad del valor de luminancia del color de dicho píxel.

Significa que el filtrado se realiza utilizando una primera función gaussiana aplicada en el dominio espacial de la imagen y una segunda función gaussiana aplicada en el dominio de la región de luminancia.

Preferiblemente, el valor de la desviación estándar σ_s de la primera función gaussiana es superior o igual a 3.

5 El valor de la desviación estándar σ_r de la segunda función gaussiana preferiblemente debería ser suficientemente alto como para suavizar textura y ruido, aunque suficientemente bajo como para evitar cruzar bordes entre objetos de la imagen. El valor de la desviación estándar σ_r se elige preferiblemente entre $0,1 \max(Y)$ y $0,5 \max(Y)$, donde $\max(Y)$ es la luminancia máxima de entre todos los píxeles de la imagen original.

10 Preferiblemente, para calcular los valores de mejora de luminancia de píxel, dicha extracción de altas frecuencias de valores de luminancia se lleva a cabo mediante el cálculo de una relación de un segundo filtrado paso bajo dividido por un tercer filtrado paso bajo, donde el tercer filtrado paso bajo está configurado para eliminar más detalles en la imagen que el segundo filtrado paso bajo.

15 Preferiblemente, para calcular el valor de mejora de luminancia de píxel de un píxel, dicho segundo filtrado paso bajo se lleva a cabo calculando el producto de una tercera función gaussiana aplicada en la vecindad de dicho píxel con una primera desviación estándar y una cuarta función gaussiana aplicada en la vecindad de la luminancia del color de dicho píxel, y dicho tercer filtrado paso bajo se obtiene aplicando una segunda vez dicho segundo filtrado paso bajo con una segunda desviación estándar mayor que dicha primera desviación estándar para la tercera función gaussiana.

20 Utilizando un valor mayor de la desviación estándar de la tercera función gaussiana cuando se aplica una segunda vez dicho filtrado paso bajo, el tercer filtrado paso bajo elimina más detalles en la imagen que el segundo filtrado paso bajo. Por tanto, la relación obtenida corresponde a un filtrado paso alto.

25 Preferiblemente, al estar la luminancia de dichos colores codificada en niveles crecientes de descomposición de wavelet, teniendo cada nivel al menos un coeficiente de alta frecuencia (LH) y un coeficiente de baja frecuencia (LL), el valor del exponente de expansión de píxel de cada píxel se calcula en una segunda variante de modo que es igual que el coeficiente de baja frecuencia $A(p) = LL$ del nivel más alto que codifica la luminancia del color de dicho píxel (p), y luego llevando a cabo dicho filtrado de paso bajo en dicha vecindad espacial de dicho píxel.

Preferiblemente, para dicho cálculo del valor de mejora de luminancia de píxel de un píxel, dicha extracción de altas frecuencias de valores de luminancia de píxeles situados en la cercanía de dicho píxel se realiza calculando una diferencia entre la luminancia $Y(p)$ de dicho píxel y dicho coeficiente de baja frecuencia $A(p)$ de dicho píxel.

30 Por tanto, las únicas frecuencias eliminadas de la sub-banda de frecuencia más baja del nivel (más alto) de la descomposición de wavelet de la luminancia se mantienen para la mejora de los detalles de la imagen.

Preferiblemente, dicho cálculo comprende la aplicación de un coeficiente de exponente a esta diferencia. Este coeficiente de exponente es preferiblemente igual a 2.

35 Un objeto de la invención es también un dispositivo de procesamiento de imagen para el mapeado tonal inverso de una imagen, cuyos colores están representados en un espacio de color que separa luminancia de crominancia, comprende:

- un módulo de filtrado paso bajo configurado para obtener un valor de exponente de expansión de píxel para cada píxel de esta imagen, mediante un filtrado de paso bajo de los valores de luminancia de los colores de los píxeles en la vecindad espacial de este píxel,

40 - un módulo de re-conformado/re-escalado configurado para re-conformar/re-escalar los valores de luminancia sometidos al filtrado paso proporcionados por el módulo de filtrado paso bajo,

- un módulo de extracción de altas frecuencias configurado para obtener un valor de mejora de luminancia de píxel para cada píxel de la imagen, mediante la extracción de altas frecuencias de valores de luminancia de colores de píxeles en la vecindad de luminancia de este píxel,

45 - un módulo de mapeado tonal inverso configurado para un mapeado tonal inverso de la luminancia de cada píxel de la imagen para obtener una luminancia expandida obtenida a través del producto de la luminancia de dicho píxel a la potencia del valor de exponente de expansión de píxel proporcionado para este píxel por el módulo de re-conformado/re-escalado y del valor de mejora de luminancia de píxel proporcionado para dicho píxel por el módulo de extracción de altas frecuencias a la potencia de un parámetro c de exponente que es igual o mayor que 1.

Breve descripción de los dibujos

50 La invención se comprenderá más claramente a partir de la lectura de la siguiente descripción, que se proporciona a modo de ejemplo no limitante y haciendo referencia a las figuras adjuntas, en las que:

La Fig. 1 ilustra los diferentes pasos de acuerdo con una primera y segunda realización de la invención.

La Fig. 2 ilustra una descomposición de wavelet de las coordenadas YUV de colores de una imagen que va a ser mapeada tonalmente inversamente.

La Fig. 3 ilustra una descomposición de wavelet de esta imagen.

Descripción detallada de realizaciones preferidas

5 Las funciones de los varios elementos mostrados en las figuras pueden proporcionarse a través del uso de hardware dedicado así como hardware capaz de ejecutar software en asociación con software apropiado.

Se debe entender que la invención puede ser implementada en varias formas de hardware, software, firmware, procesadores de propósito especial, o combinaciones de los mismos. El término "procesador" no debería interpretarse como referido exclusivamente a hardware capaz de ejecutar software, y puede implícitamente incluir, sin limitación, hardware de procesador digital de señal (DSP), memoria de solo lectura (ROM) para almacenar software, memoria de acceso aleatorio (RAM), y almacenamiento no volátil. La invención puede implementarse notablemente como una combinación de hardware y software. Además, el software puede implementarse como un programa de aplicación incorporado de manera tangible en una unidad de almacenamiento de programa. Dicho software puede adoptar la forma de un plugin para ser integrado en otro software. El programa de aplicación puede ser cargado a, y ejecutado por, un dispositivo de procesamiento de imagen que comprende cualquier arquitectura adecuada. Preferiblemente, el dispositivo de procesamiento de imagen está implementado en una plataforma de computación que tiene hardware tal como una o más unidades de procesamiento (CPU), una memoria de acceso aleatorio (RAM), e interfaces de entrada/salida (E/S). La plataforma de computación puede también incluir un sistema operativo y código de microinstrucciones. Los varios procesos y funciones descritos en este documento pueden ser bien parte del código de micro-instrucción o parte del programa de aplicación, o cualquier combinación de ambos, que puede ser ejecutado por una CPU. Además, varias otras unidades periféricas pueden estar conectadas a la plataforma de computación tales como una unidad de almacenamiento de datos adicional, un dispositivo de pantalla, una unidad de impresión,... El dispositivo de procesamiento de imagen que implementa la realización del método de acuerdo con la invención puede ser parte de un dispositivo electrónico capaz de recibir imágenes, por ejemplo un conjunto de TV, una decodificador, un portal, un teléfono móvil, una tableta.

Este dispositivo de procesamiento de imagen para el mapeado tonal inverso de una imagen, cuyos colores se representan en un espacio de color que separa luminancia de crominancia, comprende:

- un módulo de filtrado paso bajo configurado para obtener un valor de exponente de expansión de píxel para cada píxel de esta imagen, mediante un filtrado de paso bajo de los valores de luminancia de los colores de los píxeles en la vecindad espacial de este píxel,

- un módulo de re-conformado/re-escalado configurado para re-conformar/re-escalar los valores de luminancia sometidos al filtrado paso proporcionados por el módulo de filtrado paso bajo,

- un módulo de extracción de altas frecuencias configurado para obtener un valor de mejora de luminancia de píxel para cada píxel de la imagen, mediante la extracción de altas frecuencias de valores de luminancia de colores de píxeles en la vecindad de luminancia de este píxel,

- un módulo de mapeado tonal inverso configurado para un mapeado tonal inverso de la luminancia de cada píxel de la imagen para obtener una luminancia expandida obtenida a través del producto de la luminancia de dicho píxel a la potencia del valor de exponente de expansión de píxel proporcionado para este píxel por el módulo de re-conformado/re-escalado y del valor de mejora de luminancia de píxel proporcionado para dicho píxel por el módulo de extracción de altas frecuencias a la potencia de un parámetro c de exponente que es igual o mayor que 1.

Se describirá ahora una primera realización del método para el mapeado tonal inverso de una imagen haciendo referencia a la Fig. 1, usando el dispositivo de procesamiento de imagen tal como se ha descrito anteriormente.

Usando, por ejemplo, un receptor de imagen, una imagen es recibida con todos los datos relativos a los colores de cada píxel, donde el color asociado a cada píxel de esta imagen está codificado en tres coordenadas de color, es decir, una coordenada de color para cada canal de color, R, G y B.

En un primer paso de preparación de esta realización (no mostrado en la Fig. 1), las coordenadas de color RGB recibidas de estos colores, si es necesario, se normalizan y opcionalmente se linealizan de una manera conocida per se, de modo que los colores de la imagen recibida son representados en el espacio de color RGB de un dispositivo de pantalla. Este espacio de color RGB puede ser estandarizado, y el dispositivo de pantalla correspondiente es virtual. Entonces, estos colores se convierten a un espacio de color que separa luminancia de crominancia, por ejemplo el espacio de color YUV. Esta conversión de colores desde el espacio de color RGB al espacio de color YUV es conocida per se y por tanto no se describe con detalle. En lugar de ello puede utilizarse cualquier otro espacio de color que separe luminancia de crominancia, como XYZ, Yxy, CIE Lab. Por tanto, un valor de luminancia $Y(p)$ y dos valores de crominancia $U(p)$, $V(p)$ se asocian al color de cualquier píxel p de la imagen recibida. Un objetivo de la realización del método de mapeado tonal inverso que se describirá es expandir estos valores de luminancia a valores de luminancia expandidos mediante la aplicación de un valor $E'(p)$ de exponente a cada uno de

estos valores de luminancia $Y(p)$.

Utilizando el módulo de filtrado paso bajo, en un segundo paso de esta realización, para cada píxel p de la imagen que tiene su valor de luminancia $Y(p)$, se obtiene un valor $E(p)$ de exponente de expansión de píxel intermedio, mediante un filtrado paso bajo de los valores de luminancia de los píxeles en una vecindad espacial del píxel p , y opcionalmente también en una vecindad del valor de luminancia $Y(p)$. Este paso de filtrado paso bajo preferiblemente utiliza funciones gaussianas. $E(p)$ por ejemplo se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$E(p) = \sum_{i \in \Omega} Y(p_i) f_s(\|p_i - p\|) f_r(\|Y(p_i) - Y(p)\|)$$

donde f_s es una primera función gaussiana aplicada en el dominio espacial de la imagen, y f_r una segunda función gaussiana aplicada en el dominio del rango de la luminancia,

donde Ω es el tamaño de una ventana de la imagen centrada en el píxel p ,

donde p_i es un píxel en esta ventana. El tamaño de ventana puede ser por ejemplo 5 o 7. Son preferidos valores más pequeños de tamaño de ventana por motivos de eficiencia computacional.

En esta primera realización del método de acuerdo con la invención, el filtrado paso bajo es entonces bilateral. La palabra "bilateral" se refiere al hecho de que el filtrado se lleva a cabo aquí tanto en dominios espacial como de rango de luminancia.

Preferiblemente, el valor de la desviación estándar σ_s de la primera función gaussiana f_s es superior o igual a 2.

El valor de la desviación estándar σ_r de la segunda función gaussiana f_r debería preferiblemente ser lo suficientemente alto como para suavizar la textura y ruido en la imagen original, pero suficientemente bajo como para evitar cruzar bordes entre objetos de esta imagen. El valor de la desviación estándar σ_r se elige preferiblemente entre $0,1 \max(Y)$ y $0,5 \max(Y)$, donde $\max(Y)$ es el valor de luminancia máximo en todos los píxeles de la imagen original.

En una implementación específica de esta primera realización, la desviación estándar para la función gaussiana f_s espacial se estableció en $\sigma_s = 3$, y la desviación estándar para la función gaussiana f_r de rango de luminancia se estableció en $\sigma_r = 0,3 \times \max(Y)$.

Todos los valores de exponente de expansión de píxel intermedio que se obtuvieron a través de este filtrado paso bajo forman entonces un mapa $E(p)$ de exponente de expansión intermedio.

Utilizando el módulo de re-conformado/re-escalado, en un tercer paso de esta realización, el mapa de exponente de expansión intermedio es re-conformado para obtener un mapa de exponente de expansión mediante el uso de una función sigmoideal que depende de la distribución de los valores de exponente de expansión de píxel en la imagen y/o re-escalado basándose en la luminancia de pico del dispositivo de pantalla que se utilizará para reproducir la imagen expandida.

Aunque los valores de exponente de expansión de píxel calculados anteriormente indican las expansiones por-píxel a una escala relativa, estos valores de expansión deben ser re-escalados de modo que se adapten a un conjunto de restricciones. A pesar de las mayores capacidades de los dispositivos de pantalla HDR que podrían utilizarse para reproducir las imágenes HDR proporcionadas por el método de mapeado tonal inverso, la luminancia media en la imagen HDR expandida que se obtiene por este método debería preferiblemente mantener niveles comparables a los de la imagen LDR original. Al mismo tiempo, la expansión de luminancia debería tener en cuenta la luminancia de pico D_{max} del dispositivo de pantalla que se utilizará para reproducir la imagen HDR expandida, de modo que los puntos de brillo máximo se expandan adecuadamente. Por tanto, a través de este tercer paso, se obtiene un valor $E'(p)$ de exponente de expansión de píxel re-conformado/re-escalado a través de la siguiente ecuación:

$$E'(p) = \left(\alpha \frac{E(p)}{\max(E)} + 1 - \alpha \right) \frac{\log(D_{max})}{\log(\max(Y))}$$

donde el parámetro α puede utilizarse para controlar el comportamiento global de la expansión de luminancia,

donde $E(p)$ es el valor de exponente de expansión de píxel intermedio calculado en el segundo paso anterior,

donde $\max(E)$ es el valor máximo de $E(p)$ en todos los píxeles de la imagen,

donde el término $\frac{\log(D_{max})}{\log(\max(Y))}$ permite tener $Y(p)^{E'(p)} = D_{max}$ cuando $Y(p) = \max(Y)$

El propósito del parámetro α es para controlar como de “plana” es la expansión de luminancia. Es un compromiso de equilibrio entre la expansión de variación espacial y un exponente constante. Valores más altos para α significan que la expansión de luminancia es más local, conduciendo por tanto a un resultado más extremo, mientras que valores menores de α conducen a una expansión casi global. El valor de $\alpha = 0,1$ ha ofrecido actualmente un buen compromiso entre expansión de punto de brillo máximo y gestión efectiva de tonos medios.

En una implementación específica de esta primera realización, el parámetro α se ajustó en un valor de $\alpha = 0,1$, debido a que este valor ofrece un buen compromiso entre expansión de punto de brillo máximo y gestión efectiva de tonos medios.

Todos los valores de exponente de expansión de píxel re-conformados/re-escalados forman entonces un mapa $E'(p)$ de exponente de expansión final.

Utilizando el módulo de extracción de altas frecuencias, en un cuarto paso de esta realización, se extraen las altas frecuencias espaciales de los valores de luminancia en la imagen original para obtener un valor de mejora de luminancia de píxel $Y_{\text{enhance}}(p)$ para cada píxel p de la imagen que tiene su valor de luminancia $Y(p)$. El paso es llevado a cabo, por ejemplo, a través de tres sub-pasos, como sigue.

En un primer sub-paso de filtrado, la capa de base Y_{base} se calcula como sigue, que contiene grandes variaciones en luminancia de la imagen pero excluye el ruido y otras pequeñas características:

$$Y_{\text{base}}(p) = \sum_{i \in \Omega'} Y(p_i) f'_s(\|p_i - p\|) f'_r(\|Y(p_i) - Y(p)\|)$$

Usando las mismas funciones gaussianas f'_s , f'_r que anteriormente, primero en una vecindad espacial del píxel p , y segundo en una vecindad del valor de luminancia $Y(p)$,

Donde Ω' es el tamaño de una ventana de la imagen centrada en el píxel p , que tiene preferiblemente el mismo tamaño que antes,

Y donde p_i es un píxel en esta ventana.

En esta implementación específica de esta primera realización, la desviación estándar para la función gaussiana espacial f'_s se establece ahora en $\sigma'_s = 10$, y la desviación estándar para la función gaussiana de rango de luminancia f'_r se establece en $\sigma'_r = 0,1 \times \max(Y)$.

En un segundo sub-paso de filtrado, la capa de base Y_{base} obtenida por el primer sub-paso es filtrada una segunda vez usando también funciones gaussianas, pero con una mayor desviación estándar en el rango de luminancia para eliminar más detalles de luminancia en la imagen, obteniéndose Y'_{base} como sigue:

$$Y'_{\text{base}}(p) = \sum_{i \in \Omega''} Y(p_i) f''_s(\|p_i - p\|) f''_r(\|Y(p_i) - Y(p)\|)$$

donde f''_s , f''_r son las mismas funciones gaussianas que antes, primero en una vecindad espacial del píxel p y luego en una segunda vecindad del valor de luminancia $Y(p)$,

donde Ω'' es el tamaño de una ventana de la imagen centrada en el píxel p que tiene preferiblemente el mismo tamaño que antes,

donde p_i es un píxel en esta ventana.

Opcionalmente, $Y'_{\text{base}}(p)$ puede establecerse de modo que sea igual a $E(p)$ tal como se ha definido anteriormente para minimizar el ruido en la imagen HDR final.

En una implementación específica de esta primera realización, la desviación estándar para la función gaussiana f''_s se establece ahora de modo que $\sigma''_s = \sigma'_s$ y la desviación estándar para la función gaussiana de rango de luminancia f''_r se establece de modo que se eliminan más detalles de luminancia en la imagen, es decir, de modo que $\sigma''_r > \sigma'_r$. Por ejemplo, $\sigma''_r = 0,3 \times \max(Y)$.

En un último tercer sub-paso de extracción de altas frecuencias de valores de luminancia en la imagen, para cada píxel de la imagen, se calcula un valor de mejora de luminancia de píxel $Y_{\text{enhance}}(p)$ como la relación del resultado $Y_{\text{base}}(p)$ del primer sub-paso dividido por el resultado $Y'_{\text{base}}(p)$ del segundo sub-paso de modo que $Y_{\text{enhance}}(p) = Y_{\text{base}}(p)/Y'_{\text{base}}(p)$. Como $\sigma''_r > \sigma'_r$, esta relación corresponde a una extracción de altas frecuencias espaciales de valores de luminancia en la imagen. Pueden utilizarse sin apartarse de la invención otros modos de extracción de altas frecuencias espaciales de valores de luminancia en la imagen.

Todos los valores de mejora de luminancia de píxel forman entonces un mapa de mejora de luminancia que, cuando se aplica a los valores de luminancia de la imagen, mejorarán sus detalles, debido a la extracción de las altas

frecuencias de los valores de luminancia.

5 Utilizando el módulo de mapeado tonal inverso, en un quinto paso de esta realización, la luminancia $Y(p)$ de cada píxel p de la imagen es sometida a mapeado tonal inverso para obtener una luminancia expandida $Y_{exp}(p)$ obtenida a través del producto de la luminancia de este píxel a la potencia del valor del exponente de expansión de píxel $E'(p)$ obtenido para este píxel en el tercer paso anterior y del valor de mejora de luminancia de píxel obtenido para este píxel en el cuarto paso anterior a la potencia de un parámetro c de exponente, donde c es mayor o igual a 1. Ello significa que $Y_{exp}(p) = Y(p)^{E'(p)} \times [Y_{enhance}(p)]^c$

10 El parámetro c de exponente controla la cantidad de mejora de detalle obtenida por el valor de mejora de luminancia de píxel. Por tanto, valores mayores de c aumentan gradualmente el contraste de los bordes de la imagen. Preferiblemente se utiliza un valor $c = 1,5$.

15 Cuando se expande la luminancia de una imagen según se ha descrito anteriormente, los cambios en luminancia y contraste pueden afectar a la apariencia del color y la saturación de la imagen. Al mismo tiempo que se expande su rango de luminancia, puede gestionarse la información de color de la imagen en un sexto paso opcional para preservar el aspecto artístico de la imagen. Preferiblemente, se mejoran las saturaciones de los colores utilizando los valores de exponente de expansión como una guía. Más específicamente, se mejora la saturación del color de cada píxel mediante un factor igual al exponente de expansión de este píxel. La saturación del color de un píxel p por ejemplo se mejora mediante el ajuste de un valor $C(p)$ de croma de este píxel, calculado como sigue en una versión cilíndrica del espacio YUV:

20
$$C(p) = \sqrt{U(p)^2 + V(p)^2}$$

y el valor $C'(p)$ de croma ajustado se calcula como el producto del exponente de expansión $E'(p)$ de este píxel p por el valor $C(p)$ de croma de este píxel, de modo que:

$$C'(p) = E'(p) \times C(p)$$

25 En la implementación específica de esta primera realización, el escalado croma que transforma $C(p)$ en $C'(p)$ preferiblemente está limitado a un factor de 1,5 para evitar sobre saturar los puntos de brillo máximo, por ejemplo para evitar explosiones de luz y luces brillantes.

Con estos nuevos valores de $C'(p)$, se calculan nuevos valores de crominancia $U'(p)$, $V'(p)$, utilizando una manera normal de conversión desde un espacio de color cilíndrico tal como LCH aquí en un espacio YUV:

30
$$U'(p) = \cos[H(p)] \times C'(p)$$

$$V'(p) = \sin[H(p)] \times C'(p)$$

donde $H(p)$ es el matiz original calculado a partir de los $U(p)$ y $V(p)$ originales como sigue:

$$H(p) = \arctan[V(p), U(p)]$$

35 Al final del quinto o sexto paso, las coordenadas YUV de cada color de la imagen son mapeadas para obtener nuevas coordenadas $Y'U'V'$ que representan los colores expandidos en el espacio de color YUV.

40 En un séptimo paso final de esta realización (no mostrado en la Fig. 1), las nuevas coordenadas $Y'U'V'$ de colores expandidos se vuelven a convertir de una manera conocida por se en las correspondientes nuevas coordenadas $R'G'B'$ que representan los mismos colores expandidos en el espacio de color RGB. Si es necesario, estas coordenadas $R'G'B'$ se des-linealizan de modo que representan colores expandidos en el espacio de color donde los colores se recibieron en el primer paso anterior.

Como se muestra en la Fig. 1, la imagen expandida basada en estos colores expandidos está ahora lista para ser enviada al dispositivo de pantalla que tiene su luminancia de pico D_{max} , para su reproducción dentro de un rango dinámico alto.

Ventajas

45 Las imágenes expandidas que se obtienen mediante el método de acuerdo con la invención son lo más cercano posible a la apariencia que tendría una imagen HDR de la misma escena. El contenido expandido obtenido tiene una calidad visual mayor en comparación con las imágenes LDR introducidas, incluso en los casos en los que sólo se puede aplicar una pequeña expansión. El método de expansión de luminancia mejora las características brillantes de la imagen, transmite la apariencia de las fuentes de luz y puntos de brillo máximo al observador, al mismo tiempo

que preserva los valores de la parte media del rango. Dependiendo del rango de luminancia del dispositivo de pantalla utilizado para reproducir estas imágenes expandidas, pueden preservarse los valores oscuros o comprimirse aún más para mejorar el contraste global en la imagen.

5 El método de acuerdo con la invención utiliza un proceso de filtrado paso bajo en el dominio espacial para definir los valores de exponente de expansión que se utilizan para expandir la luminancia de los colores. El proceso de filtrado paso bajo suaviza algunos detalles de la imagen. Ventajosamente, la eliminación de detalles se compensa mediante la extracción, en el dominio espacial de frecuencias espaciales altas utilizadas para obtener el factor de mejora de luminancia aplicado a la luminancia expandida. En otras palabras, la componente espacial del filtrado de paso alto de los valores de luminancia se lleva a cabo para compensar al menos parcialmente el suavizado de los detalles de la imagen provocado por la componente espacial del filtrado paso bajo de los valores de luminancia.

Usando el filtro paso bajo bilateral en la luminancia, tal como se ha descrito anteriormente, se obtiene un mapa de expansión que favorece regiones brillantes de la imagen al mismo tiempo que suaviza pequeños detalles locales tales como ruido o artefactos de banda. Esto permite expandir las regiones brillantes sin amplificar el ruido o la información de textura.

15 De hecho, una de las limitaciones de la mayoría de dispositivos de pantalla LCD HDR es que la retroiluminación espacialmente variable de estos dispositivos tiene una resolución relativamente baja en comparación con el panel LCD frontal de estos dispositivos. En consecuencia, aunque los dispositivos de pantalla HDR de este tipo pueden conseguir contrastes globales muy altos, localmente el contraste sufre. Esto es particularmente visible en áreas de las imágenes pequeñas y de gran contraste, tales como puntos de brillo máximo, o en transiciones agudas entre regiones oscuras y brillantes. Aunque existen muchas soluciones disponibles para mejorar el contraste en las imágenes, en el contexto del mapeado tonal inverso se necesita tener mucho cuidado para asegurar que no se aumentan también el ruido u otros artefactos. El proceso de filtrado bilateral de doble pasada descrito anteriormente para extraer la frecuencia espacial alta de la imagen está particularmente bien adaptado para mejorar el contraste sin aumentar el ruido y los artefactos.

25 Cuando el valor de exponente de expansión de píxel $E(p)$ se re-conforma según se ha descrito anteriormente para obtener un valor $E'(p)$ re-conformado, la imagen expandida que se obtiene aprovecha de la mejor manera posible el rango dinámico disponible del dispositivo de pantalla utilizado para reproducir la imagen.

1ª variante de la primera realización

30 Para el mapeado tonal inverso de una secuencia de imágenes, es decir, un contenido de vídeo, la realización del método descrito anteriormente se aplica secuencialmente, una imagen de la secuencia tras otra. Si este método se aplica de manera independiente a cada imagen sucesiva de la secuencia, puede ser difícil garantizar la coherencia temporal entre las imágenes expandidas de la secuencia HDR obtenida. De hecho, si objetos brillantes en la escena se desplazan, pueden crearse artefactos parpadeantes. Para evitar este problema, preferiblemente se aplica un simple procesamiento temporal asegurando que la luminancia media del video expandido permanece constante. Para una imagen i de la secuencia para la que se ha obtenido un valor de luminancia expandido $Y'_{exp,i}$ según se ha descrito en la primera realización anterior, se calcula un valor de luminancia expandido ajustado $Y''_{exp,i}$ según sigue y se utiliza en lugar de $Y'_{exp,i}$ para la imagen expandida.

$$Y''_{exp,i} = \frac{\mu(Y'_{exp,i-1})Y'_{exp,i}}{\mu(Y'_{exp})}$$

40 Para asegurar que los elementos fuertes de una escena no se propagan a las siguientes escenas, la media se reinicia al inicio de cada secuencia. Esto puede conseguirse mediante el uso de algoritmos de detección de secuencias existentes.

2ª variante de la primera realización

45 La segunda variante se refiere al cálculo de los valores $E'(p)$ de exponente de expansión de píxel re-conformados/re-escalados a partir del valor $E(p)$ de exponente de expansión de píxel intermedio obtenido en el segundo paso de la realización anterior. Ahora se propone re-conformar los valores de exponente de expansión de píxel de acuerdo con una función cuadrática del valor $E(p)$ de exponente de expansión de píxel intermedio, de acuerdo con la ecuación

$$E'(p) = a [E(p)]^2 + b E(p) + c$$

Nótese que, en esta ecuación, $E(p)$ no está escalado según $\max(E(p))$ como en la ecuación anterior.

50 En un primer ejemplo, los parámetros a , b , c en la ecuación anterior pueden ajustarse como constantes y optimizarse para un dispositivo de pantalla específico.

En un segundo ejemplo, los parámetros a , b , c en la ecuación anterior pueden calcularse dependiendo de D_{max} . Por ejemplo, se usan las siguientes ecuaciones para calcular los valores de los parámetros a , b , y c :

$$a = p_{a1} \exp(p_{a2} D_{max}) + p_{a3} \exp(p_{a4} D_{max}) \quad (s-1)$$

$$b = p_{b1} D_{max}^{p_{b2}} + p_{b2} \quad (s-2)$$

$$c = 1.3 \quad (s-3)$$

5 En la Tabla 1 se muestran ejemplos de valores dados a las constantes para las Ecs. (s-1) y (s-2).

Tabla 1

f	Parámetros para Ec. s-1	Parámetros para Ec. s-2
	p_{a1} -8.192e-7	p_{b1} 0.05941
	p_{a2} 0.000312	p_{b2} 0.03135
	p_{a3} 1.657e-5	p_{b3} -0.07579
	p_{a4} -0.0006967	

10 En un tercer ejemplo, el valor de los parámetros a, b, c depende del valor del propio valor E(p) de exponente de expansión de píxel, para que sea diferente para los valores oscuros de E(p) y para que los valores brillantes de E(p) controlen mejor las sombras y puntos de brillo máximo de la imagen obtenida después de la expansión.

Todos los valores de exponente de expansión de píxel re-conformados/re-escalados de acuerdo con esta variante forman entonces un mapa de exponente de expansión final E'(p) que sustituye al anterior.

15 Se describirá ahora una segunda realización del método de mapeado tonal inverso de una imagen utilizando un dispositivo de procesamiento de imagen como el descrito anteriormente, aunque configurado específicamente para implementar esta realización.

En comparación con la primera realización, las únicas diferencias se refieren:

- el segundo paso de obtener, para cada píxel p, un valor E(p) de exponente de expansión de píxel mediante un filtrado paso bajo de los valores de luminancia de los píxeles en una vecindad espacial del píxel p,
- el cuarto paso de extraer las altas frecuencias espaciales para obtener un valor de mejora de luminancia de píxel $Y_{enhance}(p)$ para cada píxel p de la imagen.

25 En esta segunda realización, los colores son recibidos como conjuntos de tres coordenadas de color que representan estos colores en un espacio de color que separa luminancia de crominancia, por ejemplo el espacio de color YUV. De nuevo, en lugar de ello puede usarse cualquier espacio de color que separe luminancia de crominancia. Por tanto, un valor de luminancia Y(p) y dos valores de crominancia U(p), V(p) se asocian al color de cualquier píxel p de la imagen.

30 Más específicamente, estos conjuntos de tres coordenadas de color son recibidos en un formato comprimido del tipo de la compresión wavelet. Por tanto, la luminancia Y(p) de los colores se codifica en niveles crecientes de descomposición de wavelet, teniendo cada nivel al menos un coeficiente de alta frecuencia LH y un coeficiente de baja frecuencia LL, como se describe por ejemplo en la Fig. 2, donde las particiones de sub-banda LL, LH, HL, y HH indican la imagen aproximada y las imágenes con bordes horizontales, bordes verticales y bordes diagonales respectivamente, tal como se muestra en la Fig. 3.

Para crear el mapa de exponente de expansión de píxel y el mapa de mejora de luminancia de píxel, en esta realización solo se usa un nivel de descomposición de wavelet.

35 Para implementar el segundo paso del método, se utiliza la denominada implementación de elevación de wavelet de Haar, y el valor de exponente de expansión de píxel E(p) de un píxel p se obtiene a partir de la sub-banda LL. Los $h_{\psi}(n) = \{1/\sqrt{2}; 1/\sqrt{2}\}$ y $h_{\phi}(n) = \{1/\sqrt{2}; -1/\sqrt{2}\}$ son filtros de convolución.

40 Por tanto, esto significa que, en el segundo paso de esta realización, el valor de exponente de expansión de píxel de cada píxel se calcula de modo que es igual al coeficiente de baja frecuencia A(p) = LL del nivel más alto que codifica la luminancia del color de ese píxel p, y luego llevando a cabo un filtrado paso bajo en la vecindad espacial de este píxel.

Para implementar el cuarto paso del método, la extracción de las altas frecuencias de las luminancias en el dominio espacial se lleva a cabo calculando una diferencia entre la luminancia Y(p) de un píxel p y el coeficiente de baja

frecuencia $A(p)$ de ese píxel. Más precisamente, la sub-banda LL que es una versión $A(p)$ de baja frecuencia de la luminancia $Y(p)$ original a una resolución dividida entre 4, es sometida a muestreo ascendente y luego restada de su luminancia original $Y(p)$ para obtener el valor de mejora de luminancia de píxel $Y_{\text{enhance}}(p)$ como sigue: $Y_{\text{enhance}}(p) = (Y(p) - cA(p)^2 + 128) / 255 * 2$.

- 5 Por tanto, solo las altas frecuencias eliminadas de la sub-banda LL se mantienen para crear la base del mapa de mejora de luminancia Y_{enhance} .

- 10 El resto de pasos son similares a los pasos descritos en la primera realización. Por supuesto, el séptimo paso final puede eliminarse, ya que no es necesario que las nuevas coordenadas $Y'U'V'$ de colores expandidos obtenidas se conviertan en correspondientes nuevas coordenadas $R'G'B'$.

- 15 Aunque la presente invención se ha descrito con relación a ejemplos particulares y realizaciones preferidas, se entiende que la presente invención no está limitada a estos ejemplos y realizaciones. La presente invención según se reivindica por tanto incluye variaciones de los ejemplos particulares y realizaciones preferidas descritas en este documento, como será evidente para un experto medio en la materia. Aunque algunas de las realizaciones específicas pueden describirse y reivindicarse por separado, se entiende que las diferentes características de las realizaciones descritas y reivindicadas en este documento pueden usarse en combinación. Los números de referencia que aparecen en las reivindicaciones son únicamente ilustrativos y no tendrán ningún efecto limitante sobre el alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método para el mapeado tonal inverso de una imagen, cuyos colores se representan en un espacio de color que separa luminancia de crominancia, que comprende:
 - 5 - obtener un valor de exponente de expansión de píxel $E'(p)$ para cada píxel (p) de dicha imagen, mediante la aplicación de un filtrado paso bajo a los valores de luminancia de los colores de los píxeles en la vecindad espacial de dicho píxel,
 - obtener un valor de mejora de luminancia de píxel $Y_{enhance}(p)$ para cada píxel (p) de dicha imagen, mediante la extracción de altas frecuencias de valores de luminancia de colores de píxeles en la vecindad espacial de dicho píxel,
 - 10 - aplicar mapeado tonal inverso a la luminancia $Y(p)$ de cada píxel (p) de dicha imagen para obtener una luminancia expandida $Y_{exp}(p)$ obtenida mediante el producto de la luminancia $Y(p)$ de dicho píxel a la potencia del valor de exponente de expansión de píxel $E'(p)$ obtenido para este píxel y del valor de mejora de luminancia de píxel $Y_{enhance}(p)$ obtenido para dicho píxel a la potencia de un parámetro de exponente c , que es igual o mayor que 1.
2. Método para el mapeado tonal inverso de una imagen de acuerdo con la reivindicación 1, donde dichos valores de exponente de expansión $E'(p)$ también se obtienen mediante re-conformado de dichos valores de luminancia sometidos al filtrado paso de modo que dichos valores son redistribuidos de modo que la luminancia media expandida de la imagen obtenida es igual a la luminancia media de la imagen original.
3. Método para el mapeado tonal inverso de una imagen de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 adaptado para ser reproducido en un dispositivo de pantalla que tiene una luminancia pico D_{max} determinada, donde dichos valores de exponente de expansión de píxel $E'(p)$ también se obtienen mediante re-escalado de dichos valores de luminancia sometidos al filtrado paso de modo que la luminancia máxima $\max(Y)$ entre los píxeles de dicha imagen a la potencia del valor de exponente de expansión de píxel obtenido para el píxel que tiene esta máxima luminancia $\max(Y)$ es igual que dicha luminancia pico D_{max} .
4. Método para el mapeado tonal inverso de una imagen de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, donde dichos valores de exponente de expansión de píxel $E'(p)$ se obtienen mediante re-conformado de dichos valores de luminancia sometidos al filtrado paso bajo a través de una función cuadrática aplicada a esos valores.
5. Método para el mapeado tonal inverso de una imagen de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 donde, para calcular el valor de exponente de expansión de píxel de cada píxel, dicho filtrado paso bajo se lleva a cabo mediante el cálculo del producto de una primera función gaussiana aplicada en dicha vecindad espacial de dicho píxel y de una segunda función gaussiana aplicada en la vecindad del valor de luminancia del color de dicho píxel.
6. Método para el mapeado tonal inverso de una imagen de acuerdo con la reivindicación 5 donde, para dicho cálculo de los valores de mejora de luminancia de píxel, dicha extracción de altas frecuencias de valores de luminancia se lleva a cabo mediante el cálculo de una relación de un segundo filtrado paso bajo dividido por un tercer filtrado paso bajo, donde el tercer filtrado paso bajo está configurado para eliminar más detalles en la imagen que el segundo filtrado paso bajo.
7. Método para el mapeado tonal inverso de una imagen de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,
 - 40 donde la luminancia de dichos colores se codifica en niveles crecientes de descomposición de wavelet, teniendo cada nivel al menos un coeficiente de alta frecuencia (LH) y un coeficiente de baja frecuencia (LL),
 - donde el valor de exponente de expansión de píxel de cada píxel se calcula de modo que es igual que el coeficiente de baja frecuencia $A(p) = LL$ del nivel más alto que codifica la luminancia del color de dicho píxel (p) , llevando a cabo entonces dicho filtrado paso bajo en dicha vecindad espacial de dicho píxel.
8. Método para el mapeado tonal inverso de una imagen de acuerdo con la reivindicación 7 donde, para dicho cálculo del valor de mejora de luminancia de un píxel, dicha extracción de altas frecuencias de valores de luminancia de píxeles situados en la cercanía de dicho píxel se lleva a cabo calculando una diferencia entre la luminancia $Y(p)$ de dicho píxel y dicho coeficiente de baja frecuencia $A(p)$ de dicho píxel.
9. Dispositivo de procesamiento de imagen para el mapeado tonal inverso de una imagen, cuyos colores están representados en un espacio de color que separa luminancia de crominancia, que comprende:
 - 50 - un módulo de filtrado paso bajo configurado para obtener un valor de exponente de expansión de píxel $E'(p)$ para cada píxel (p) de esta imagen, mediante la aplicación de un filtrado paso bajo a los valores de luminancia de los colores de píxeles en la vecindad espacial de este píxel,
 - un módulo de re-conformado/re-escalado configurado para re-conformar/re-escalar los valores de luminancia

sometidos a filtrado paso bajo proporcionados por el módulo de filtrado paso bajo,

- un módulo de extracción de altas frecuencias configurado para obtener un valor $Y_{\text{enhance}}(p)$ de mejora de luminancia de píxel para cada píxel de la imagen, mediante la extracción de altas frecuencias de valores de luminancia de los colores de los píxeles en la vecindad de luminancia de este píxel,

5 - un módulo de mapeado tonal inverso configurado para el mapeado tonal inverso de la luminancia $Y(p)$ de cada píxel (p) de la imagen para obtener una luminancia expandida $Y_{\text{exp}}(p)$ obtenida a través del producto de la luminancia $Y(p)$ de dicho píxel a la potencia del valor de exponente de expansión de píxel $E'(p)$ proporcionado ara este píxel por el módulo de re-conformado/re-escalado y del valor de mejora de luminancia de píxel $Y_{\text{enhance}}(p)$ proporcionado para dicho píxel por el módulo de extracción de altas frecuencias a la potencia de un parámetro de exponente c que es mayor o igual que 1.

10. Dispositivo de procesamiento de imagen según la reivindicación 9 para el mapeado tonal inverso de una imagen que se va a reproducir en un dispositivo de pantalla que tiene una luminancia pico D_{max} dada, donde el módulo de re-conformado/re-escalado está configurado además de modo que los valores de luminancia sometidos a filtrado paso bajo proporcionados por el módulo de filtrado paso bajo son re-distribuidos de modo que la luminancia expandida media de la imagen obtenida es igual que la luminancia media de la imagen original.

11. Dispositivo de procesamiento de imagen de acuerdo con la reivindicación 9 para el mapeado tonal inverso de una imagen que se va a reproducir en un dispositivo de pantalla que tiene una luminancia pico D_{max} dada, donde el módulo de re-conformado/re-escalado está además configurado para re-escalar valores de luminancia sometidos a filtrado paso bajo proporcionados por el módulo de filtrado paso bajo de modo que la máxima luminancia $\max(Y)$ sobre los píxeles de dicha imagen a la potencia del valor de exponente de expansión de píxel obtenido para el píxel que tiene esta máxima luminancia $\max(Y)$ es igual que dicha luminancia pico D_{max} .

12. Dispositivo de procesamiento de imagen de acuerdo con la reivindicación 9 para el mapeado tonal inverso de una imagen que se va a reproducir a través de un dispositivo de pantalla que tiene una luminancia pico D_{max} dada, donde el módulo de re-conformado/re-escalado está además configurado para re-conformar los valores de luminancia sometidos a filtrado paso bajo proporcionados por el módulo de filtrado paso bajo a través de una función cuadrática aplicada a estos valores.

13. Dispositivo electrónico que comprende un dispositivo de procesamiento de imagen de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12.

14. Dispositivo electrónico de acuerdo con la reivindicación 13 que comprende también un dispositivo de pantalla que tiene una luminancia pico D_{max} dada y configurado para mostrar dicha imagen sometida a mapeado tonal inverso y un módulo configurado para obtener dichos valores de exponente de expansión de píxel $E'(p)$ mediante el re-escalado de dichos valores de luminancia sometidos a filtrado paso-bajo de modo que la luminancia máxima $\max(Y)$ sobre los píxeles de dicha imagen a la potencia del valor de exponente de expansión de píxel obtenido para el píxel que tiene esta luminancia máxima $\max(Y)$ es aproximadamente igual que dicha luminancia pico D_{max} .

15. Producto de programa de ordenador que comprende instrucciones de código de programa para ejecutar los pasos del método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 cuando este programa es ejecutado por un procesador.

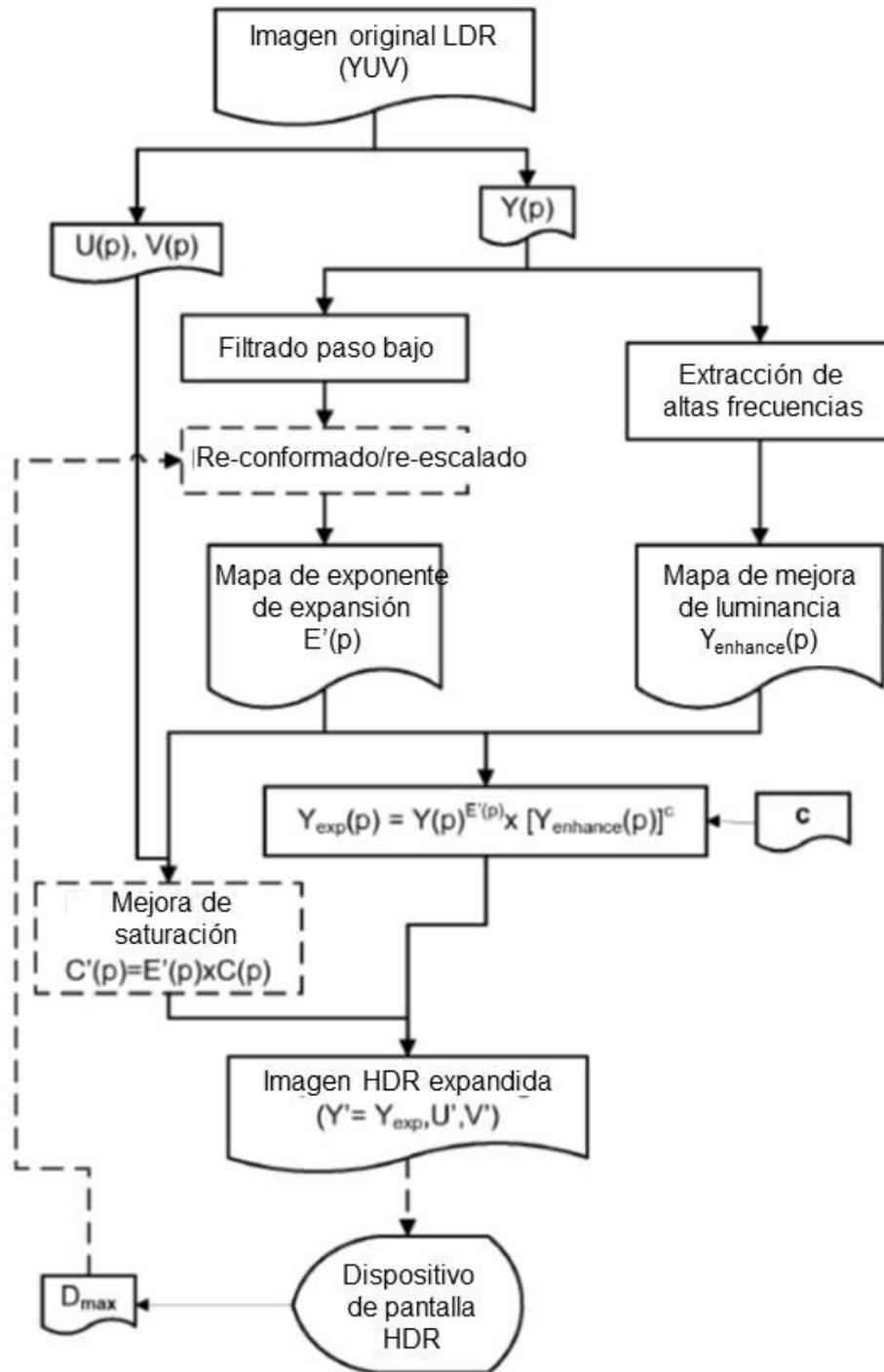


Fig. 1

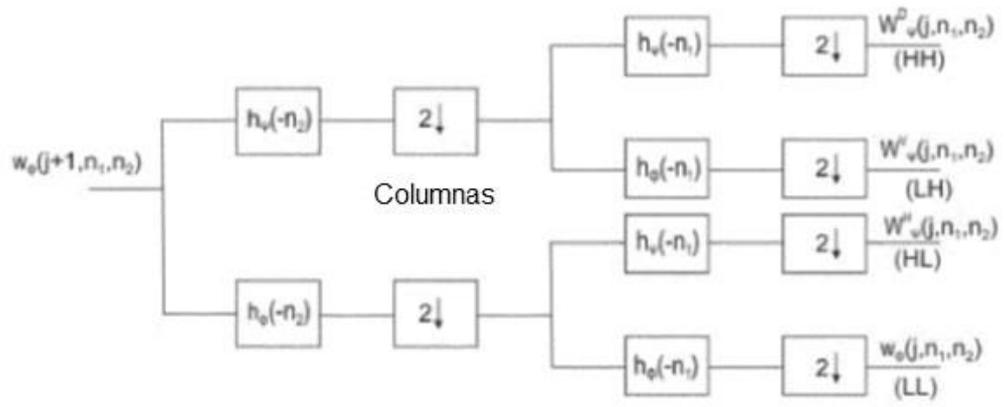


Fig. 2

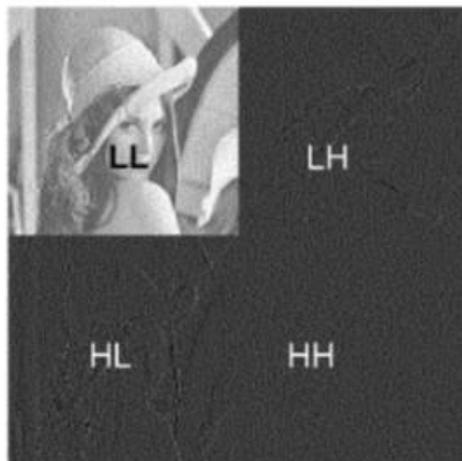


Fig. 3