

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 581 554**

51 Int. Cl.:

H04B 10/116 (2013.01)

G06K 9/78 (2006.01)

H05B 37/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.09.2013 E 13773862 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.04.2016 EP 2893651**

54 Título: **Sistema y método de detección de luz**

30 Prioridad:

10.09.2012 US 201261698761 P

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

06.09.2016

73 Titular/es:

**PHILIPS LIGHTING HOLDING B.V. (100.0%)
High Tech Campus 45
5656 AE Eindhoven, NL**

72 Inventor/es:

**MUIJS, REMCO THEODORUS JOHANNES;
DE BRUIJN, FREDERIK JAN;
GRITTI, TOMMASO;
NIJSSSEN, STEPHANUS JOSEPH JOHANNES y
FERI, LORENZO**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 581 554 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

Sistema y método de detección de luz

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere generalmente al campo de la iluminación, sistemas de iluminación de Luz Codificada, y más en particular a un sistema y método de detección de luz modulada en la salida de luz de dichos sistemas de iluminación.

10

Antecedentes de la invención

La Luz Codificada (LC) es luz visible que transporta información incorporada que se codifica de tal manera que la presencia de la información adicional es imperceptible por el aparato visual humano. Generalmente, esto significa que la codificación está basada en el uso de modulaciones de alta frecuencia de la intensidad luminosa. La información codificada puede ser cualquier cosa, desde un identificador específico de lámparas a una señal de televisión de alta definición. La invención desvelada se orienta principalmente, pero sin limitación, al uso de LC para la identificación de distintas fuentes de luz, así como a la identificación y cuantificación de sus distintas aportaciones lumínicas, o huellas, en la escena iluminada. La detección de identificadores específicos de lámparas facilita la localización durante el encargo de grandes sistemas de iluminación, pero también permite un control de iluminación localizado de las lámparas detectadas. Además, los identificadores específicos de lámparas pueden servir de base para servicios de localización tales como navegación en interiores, o para la transmisión localizada de información de mantenimiento.

15

20

25

Dado que la LC conlleva modulaciones lumínicas de alta frecuencia, suele detectarse utilizando fotodiodos. Sin embargo, estos solamente proporcionan mediciones en un punto, lo cual es incómodo en presencia de múltiples fuentes de Luz Codificada y no proporciona información sobre la huella espacial, es decir, la distribución de intensidad geométrica y la localización espacial de la aportación lumínica de cada fuente de luz individual en una escena.

30

35

El documento US 8.248.467 desvela un sistema de posicionamiento de luz, que conlleva un método de detección de información transmitida por una fuente de luz en un sensor de imagen complementario metal-óxido-semiconductor (CMOS) mediante la detección de una frecuencia de impulsos luminosos producidos por la fuente de luz. El método también permite capturar en el sensor de imagen CMOS con una cortinilla de obturación una imagen en la que distintas partes del sensor de imagen CMOS están expuestas en diferentes momentos. Utilizando una cortinilla de obturación es posible detectar distorsiones visibles que incluyen franjas alternas en la imagen; medir un ancho de las franjas alternas presentes en la imagen; y seleccionar un símbolo basado en el ancho de las franjas alternas presentes en la imagen para recuperar información codificada en la frecuencia de impulsos luminosos producidos por la fuente de luz capturada en la imagen.

40

45

Anteriormente se ha demostrado que la Luz Codificada también puede detectarse utilizando cámaras con obturador global convencionales empleando tiempos de exposición que son suficientemente cortos como para detectar un único bit de código en cada marco. Ajustando con precisión las características de velocidad y codificación de fotogramas, después se lee todo el código secuencialmente a lo largo de múltiples fotogramas. Sin embargo, este enfoque da lugar a una lenta capacidad de reproducción y se ve afectado por una baja sensibilidad luminosa.

Sumario de la invención

50

Es un objeto de la presente invención superar los problemas mencionados anteriormente, y proporcionar un sistema de detección de luz mejorado y un método capaz de detectar LC incorporada en una salida de luz de fuentes de luz de una forma que permita la detección de los datos incorporados (por ejemplo, identificadores únicos) enviados por las distintas fuentes de luz que están presentes en una escena en 2D.

55

Este objeto se consigue mediante un método de detección de luz modulada basado en un conjunto de imágenes adquiridas mediante una cámara con cortinilla de obturación según se define en la reivindicación independiente adjunta 1. Las realizaciones preferidas se exponen en las reivindicaciones dependientes y en la descripción y los dibujos a continuación.

60

65

En consecuencia, de acuerdo con el presente concepto inventivo, se proporciona un método de detección de luz modulada. El método comprende la recepción de un conjunto de imágenes adquiridas mediante una cámara con cortinilla de obturación que tiene ajustes de adquisición de imágenes que comprenden una velocidad de fotogramas, $f_{\text{fotograma}}$, y una velocidad de línea, $f_{\text{línea}}$, la identificación en fotogramas consecutivos de las imágenes un patrón regulado por la relación entre una frecuencia de modulación, f_c , de una fuente de luz modulada y la velocidad de línea, $f_{\text{línea}}$, y entre fotogramas consecutivos un desplazamiento espacial del patrón regulado por la relación entre la frecuencia de modulación lumínica f_c y la velocidad de fotogramas, $f_{\text{fotograma}}$, y el suministro, basándose en el patrón y el desplazamiento espacial del mismo, de una estimación de la amplitud de luz modulada procedente de la fuente

de luz. La adquisición de imágenes con cortinilla de obturación, que es una tecnología utilizada habitualmente en sensores de imagen económicos, tales como los integrados en la mayoría de los smartphones, se utiliza ventajosamente para detectar Luz Codificada. Dado que la adquisición con cortinilla de obturación convierte las modulaciones temporales de Luz Codificada en modulaciones verticales (espaciales) sobre las imágenes registradas, proporciona un muestreo eficiente de la luz que utiliza el intervalo de tiempo relativamente corto entre reproducciones de líneas consecutivas del sensor de imagen con cortinilla de obturación. Entonces, una detección de códigos rápida y eficiente en cuanto a la luz es posible analizando la firma vertical de los patrones observados.

Hay que tener en cuenta que las fuentes de luz utilizan la generación y/o variación de distintas frecuencias de modulación como medio para incorporar datos en la luz. Cuando las distintas frecuencias de modulación se eligen de un conjunto específico de valores de frecuencia, dicho procedimiento de modulación puede considerarse una forma de multiplexación por división de frecuencia (FDM). En el caso más elemental, el procedimiento de FDM puede ser tal que a cada luminaria se le asigne una frecuencia única de un conjunto predeterminado; en este caso, pueden utilizarse los datos como un identificador específico de lámparas. En otro caso, cada luminaria cambia su frecuencia de modulación secuencialmente en la que un orden de frecuencias de modulación diferente codifica distintos símbolos de datos, lo que se conoce como modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK). En el uso más general de FDM, cada luminaria modula la luz utilizando múltiples frecuencias de forma simultánea, y cambiando secuencialmente una o varias frecuencias para codificar una secuencia de símbolos de datos.

Ventajosamente, el método propuesto proporciona una mayor consistencia de detección frente a la presencia de una estructura de fondo, una mejor detección de datos (por ejemplo, detección del único identificador) en caso de una huella pequeña de la fuente de luz, y una mejor detección de la huella espacial de la propia fuente de luz. La modulación lumínica temporal de la luz de cada fuente de Luz Codificada y la distribución espacial vertical de los casos de líneas desplazadas temporalmente ocasionan un correspondiente patrón vertical espacial en las imágenes de la huella adquirida de dicha fuente de luz, que tienen determinadas características que caracterizan dicho patrón particular. Estas características se utilizan ventajosamente de acuerdo con la presente invención en un análisis espacio-temporal para separar el patrón de modulación lumínica de una fuente de luz de cualquier cosa en la imagen que no esté relacionada con la fuente de Luz Codificada, y también pueden utilizarse para permitir la fácil detección de datos incorporados en la luz por las múltiples fuentes de Luz Codificada en el campo vista del sensor de imagen. Por ejemplo, puede utilizarse para detectar el único identificador enviado por cada lámpara.

De acuerdo con una realización del método, los ajustes de adquisición de imágenes y la frecuencia de modulación f_c de la fuente de luz modulada se seleccionan para proporcionar un desplazamiento espacial detectable del patrón. El desplazamiento espacial se ve como un movimiento del patrón evidente en imágenes separadas temporalmente. La relación entre la frecuencia de modulación de la fuente de luz y la velocidad de fotogramas determina la velocidad y dirección del movimiento del patrón evidente. Proporcionar ajustes de adquisición de imágenes específicos puede incluir seleccionar o determinar, por ejemplo, la velocidad de fotogramas y/o la velocidad de línea de la cámara. Generalmente, la velocidad de línea y la velocidad de fotogramas se utilizan del modo en que se entregan en una cámara específica y las frecuencias de modulación de las fuentes de luz se seleccionan para una máxima detectabilidad.

En cámaras industriales, puede ajustarse la velocidad de línea de una cámara, aunque en la mayoría de las demás aplicaciones es fija. Sin embargo, se siguen necesitando distintos valores para formatos de vídeo diferentes, por ejemplo, tamaños de fotograma distintos y diferencias en la unión sensor-píxel (denominada pixel binning). Además, la velocidad de fotogramas en cámaras disponibles en el mercado se ajusta para ser constante, pero muy a menudo se permite su variación (por ejemplo, disminuir en condiciones de baja luminosidad para permitir tiempos de exposición más prolongados). Aunque el concepto de proporcionar un desplazamiento espacial detectable predeterminado se entiende más fácilmente en una velocidad de fotogramas constante, en la práctica los intervalos de fotogramas pueden seleccionarse de forma arbitraria siempre que el algoritmo de detección utilizado en el análisis espaciotemporal los conozca.

Para una determinada velocidad de fotogramas $f_{\text{fotograma}}$, la elección de las frecuencias de modulación de la fuente de luz se limita preferentemente a zonas particulares en el dominio de frecuencias espaciales y temporales evidentes, que se seleccionan evitando una zona de baja frecuencia de frecuencias humanamente perceptibles, en este caso elegida como $f_c < 200$ Hz, evitando zonas cercanas a múltiplos de $f_{\text{fotograma}}$, donde el movimiento del patrón es reducido o escaso, y evitando zonas cercanas a repeticiones de frecuencia Nyquist debido al muestreo con $f_{\text{fotograma}}$, donde hay ausencia de movimiento del patrón pero solamente un cambio de fase de 180° cada fotograma alterno. Las zonas evitadas se ilustran en la Figura 12. Cuando no se tiene en cuenta la atenuación debido al tiempo de exposición de la cámara con cortinilla de obturación, puede considerarse que cualquier frecuencia de modulación que no esté en las áreas evitadas es detectable. Mediante la asignación de frecuencias de modulación de la fuente de luz de forma que sus frecuencias espaciales y temporales evidentes entren dentro de estas zonas detectables, es posible la separación de señales de fuentes de luz de su fondo. Cuando va detectarse una pluralidad de fuentes de luz, cada una de las distintas frecuencias de modulación de fuentes de luz se dispone preferentemente para estar suficientemente separadas entre sí dentro de la zona detectable.

De acuerdo con una realización de la invención, la selección de ajustes de adquisición de imágenes y frecuencias de modulación se realiza mediante la definición de canales de frecuencia espaciotemporal en el dominio de frecuencias espaciales y temporales evidentes para una selección de frecuencias de modulación de forma que estén centradas alrededor de cada una de las frecuencias espaciales y temporales evidentes asociadas. En la práctica, los límites de frecuencia de un canal se asocian a un nivel de atenuación de señal deseado, por ejemplo, a un valor de -3 dB de la transmisión de banda de paso. Una posible topología de los canales de frecuencia se ilustra en la Figura 14.

De acuerdo con una realización del método, la etapa de identificar también comprende: la identificación de una pluralidad de los patrones, cada uno correspondiente a una respectiva fuente de luz modulada, y la comparación de patrones identificados y/o desplazamientos identificados de patrones para distinguir entre patrones correspondientes a fuentes de luz moduladas distintas, lo que es ventajoso.

De acuerdo con una realización del método, la frecuencia de modulación, f_c , de una respectiva fuente de luz es una única frecuencia fija, se selecciona de un conjunto de frecuencias candidatas, comprende un conjunto de frecuencias candidatas aplicadas de forma simultánea, o se selecciona de un conjunto de frecuencias candidatas de acuerdo con una determinada secuencia. Seleccionar una única frecuencia fija de modulación proporciona una forma simple de distinguir una fuente de luz de otras fuentes de luz. La selección puede hacerse entre un conjunto de candidatas que se adaptan para adecuar los ajustes de adquisición de imágenes habituales de cámaras con cortinilla de obturación disponibles en el mercado o seleccionarse en una secuencia. La transmisión simultánea de múltiples frecuencias en lugar de una sola frecuencia es ventajosa, por ejemplo, puesto que una posible tercera etapa de asignación de frecuencia está relacionada con el valor momentáneo del tiempo de exposición, T_{exp} . En determinadas aplicaciones, no puede seleccionarse el tiempo de exposición de la cámara con cortinilla de obturación. Sin embargo, se conoce su valor. Con el fin de evitar la cancelación de señales debido a ceros en las características de la frecuencia asociadas al tiempo de exposición, las frecuencias de modulación de una fuente de luz pueden elegir sistemáticamente un subconjunto más pequeño de frecuencias de modulación de la fuente de luz de un conjunto total de frecuencias asignadas. Por ejemplo, pueden elegirse las 'mejores' 18 frecuencias de un total de 24. Para distintos valores del tiempo de exposición, este subconjunto de 18 frecuencias tiende a ser diferente.

De acuerdo con una realización de la invención, se utiliza un conjunto fijo de frecuencias para todas las fuentes de luz y, por lo tanto, en todos los patrones espaciales adquiridos, pero la única característica de cada patrón espacial es el único orden al que se repiten las frecuencias. Este método de modulación es una forma de modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK).

De acuerdo con una realización del método, la frecuencia de modulación, f_c , se selecciona para proporcionar una separación espaciotemporal óptima de las intensidades de píxeles de la imagen registrada desde un fondo estático, y/o para proporcionar una separación espaciotemporal óptima de las intensidades de píxeles de la imagen registrada o derivados de procesamiento de imagen de las mismas, para múltiples fuentes de luz unas respecto de las otras.

De acuerdo con una realización del método, la etapa de proporcionar una estimación de la luz modulada también comprende al menos dos fotogramas consecutivos: la subdivisión de cada imagen de una forma predeterminada en una o varias regiones espaciales, para cada una de las regiones espaciales, la integración de valores de intensidad de píxeles predeterminados en la región espacial en una dirección horizontal para crear una matriz de valores para una región específica y para un fotograma específico, y la creación de una memoria de matrices de valores para una región específica acumulando matrices de valores para una región específica y para un fotograma específico de la región espacial, de forma que la memoria de matrices de valores para una región específica proporcione una representación espaciotemporal de la auténtica modulación temporal de la luz modulada procedente de una fuente de luz que se refleja dentro de la región. El análisis espaciotemporal se basa en las características espaciales y temporales de un patrón de intensidad en la región o regiones, lo que es ventajoso.

La integración de los valores de píxel en la dirección horizontal proporciona una resolución espacial reducida en la dirección horizontal, lo que es ventajoso. Debido a que cada imagen adquirida está compuesta por un conjunto de ejemplos de líneas desplazadas temporalmente distribuidas de forma espacialmente vertical, todos los píxeles a lo largo de la misma línea en una imagen adquirida pertenecen al mismo instante. La integración sobre múltiples píxeles adyacentes puede utilizarse ventajosamente para mejorar la relación señal a ruido del matriz de valores (la señal unidimensional que representa el valor de píxel medio). Una segunda ventaja es que el procesamiento de un conjunto más pequeño de memorias de matrices de valores para una región específica es más eficiente computacionalmente que el procesamiento de cada columna de imagen completa por separado.

De acuerdo con una realización del método, cuando se conoce un tiempo de exposición T_{exp} actual del dispositivo de adquisición de imágenes, la etapa de proporcionar una estimación de la luz modulada también comprende: la realización de una corrección para la atenuación dependiente de la frecuencia debido a la integración temporal durante la exposición en las imágenes adquiridas, lo que es ventajoso.

De acuerdo con una realización del método, cuando se utilizan en un sistema de detección de luz que comprende una cámara con cortinilla de obturación para adquirir las imágenes de al menos una fuente de luz modulada, los ajustes de adquisición de imágenes se proporcionan realizando una calibración de la cámara con cortinilla de

obtención, o se recuperan de una base de datos interna o externa de la cámara con cortinilla de obturación.

De acuerdo con una realización del método, la etapa de seleccionar frecuencias de modulación y ajustes de adquisición de imágenes también comprende: el intercambio de información relativa al menos a un ajuste de adquisición de imágenes actual y/o al menos a una frecuencia de modulación actual entre la cámara con cortinilla de obturación y la al menos una fuente de luz, o un sistema de control de la fuente de luz. La selección se realiza en función de al menos un ajuste de adquisición de imágenes actual o una frecuencia de modulación actual.

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo de detección de luz que comprende una cámara con cortinilla de obturación que se dispone para adquirir un conjunto de imágenes de una escena que está iluminándose mediante un sistema de iluminación, comprendiendo el sistema de iluminación al menos una primera fuente de luz modulada, y medios de procesamiento dispuestos para realizar un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior.

Como se utiliza en el presente documento, el término "píxel" se refiere a una unidad de los datos de la imagen correspondientes a un punto particular dentro de una escena. Los datos de la imagen comprenden intensidades (o derivados de las mismas) de la salida de luz total de un sistema de iluminación, que puede contener una pluralidad de fuentes de luz, en distintos puntos dentro de la escena. Disponer los datos de la imagen en filas y columnas de píxeles es una forma de representar una escena tridimensional (3D) en una imagen en 2D. Como se utiliza en el presente documento, la expresión "cámara con cortinilla de obturación" se refiere a cualquier dispositivo de formación de imágenes o sensor que utilice adquisición de imágenes con cortinilla de obturación.

Estos y otros aspectos, características, y ventajas de la invención serán evidentes a partir de las realizaciones descritas anteriormente y se aclararán haciendo referencia a las mismas. Cabe señalar que la invención se refiere a todas las posibles combinaciones de características mencionadas en las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

Este y otros aspectos de la presente invención se describirán ahora con más detalle, haciendo referencia a los dibujos adjuntos que muestran una realización (o varias realizaciones) de la invención.

La Figura 1a) y b) son ilustraciones esquemáticas que muestran fotogramas consecutivos de imágenes adquiridas con una cámara con cortinilla de obturación de una fuente de Luz Codificada.

Las Figuras 2 a) y b) son ilustraciones esquemáticas que muestran fotogramas consecutivos de imágenes adquiridas con una cámara con cortinilla de obturación de dos fuentes de Luz Codificada.

La Figura 3 es un diagrama de tiempos esquemático para una cámara con cortinilla de obturación típica durante el modo de transmisión de vídeo en streaming.

La Figura 4 muestra señales de ejemplo para ilustrar una realización de un método del presente concepto inventivo.

Las Figuras 5 a) a c) ilustran esquemáticamente etapas de procesamiento de señales de acuerdo con una realización del método del presente concepto inventivo;

Las Figuras 6 a) a d) ilustran esquemáticamente etapas de procesamiento de señales de acuerdo con una realización del método del presente concepto inventivo;

La Figura 7 es un esquema de bloques que ilustra una realización de un método de la presente invención;

La Figura 8 ilustra esquemáticamente una etapa de procesamiento de señales de acuerdo con una realización del método del presente concepto inventivo;

La Figura 9 ilustra esquemáticamente etapas de procesamiento de señales de acuerdo con una realización del método del presente concepto inventivo;

La Figura 10 es una ilustración esquemática de una realización de un sistema de detección de luz de acuerdo con el presente concepto inventivo;

La Figura 11 es un esquema de bloques esquemático que ilustra una realización de un sistema de detección de luz de acuerdo con el presente concepto inventivo;

La Figura 12 representa el dominio de frecuencias espaciales y temporales evidentes, el lugar de una frecuencia de modulación física, así como zonas de frecuencia evitadas;

La Figura 13 representa el dominio de frecuencias espaciales y temporales evidentes en 3D, el lugar de una frecuencia de modulación física, así como la respuesta de frecuencia asociada a la integración de luz temporal durante la exposición al sensor de la cámara;

La Figura 14 ilustra esquemáticamente la definición de canales de frecuencia en el dominio de frecuencias espaciotemporales evidentes; y

La Figura 15 ilustra esquemáticamente canales de frecuencia con número índice en el dominio de frecuencias espaciales y temporales evidentes.

Descripción detallada

La presente invención se describirá ahora de forma más completa en adelante haciendo referencia a los dibujos adjuntos. Las siguientes realizaciones se proporcionan a modo de ejemplo para que esta divulgación sea exhaustiva y completa, y transmitirán íntegramente el alcance de la invención a los expertos en la materia. Los mismos números similares se refieren a los mismos elementos en todo el documento.

A continuación, consideramos un escenario en el que se utilice Luz Codificada para transmitir identificadores de fuente de luz modulando cada fuente de luz con una frecuencia característica seleccionada a partir de un conjunto predeterminado de frecuencias candidatas. El alcance de la invención, sin embargo, no se limita de ninguna manera a este escenario. Hay que tener en cuenta que la detección de una secuencia de diferentes frecuencias de modulación por lámpara, pero también la detección simultánea de múltiples frecuencias de modulación por lámpara puede considerarse respectivamente como combinaciones separadas temporalmente o como una combinación lineal de resultados de detección de modulaciones de frecuencia única. Por lo tanto, limitamos la descripción detallada de la detección al escenario por lámpara de frecuencia única sin ninguna pérdida de susceptibilidad de aplicación general a los escenarios por lámpara de frecuencia múltiple descritos anteriormente. Por lo tanto, por motivos de comodidad elegimos utilizar el mismo índice c para denotar tanto una frecuencia de modulación particular f_c como el canal de frecuencia asociado, así como la lámpara asociada que lleva esta frecuencia de modulación.

Además, asumimos que las secuencias de la imagen adquirida se han convertido al dominio de luz lineal, es decir, se asume que la influencia de la respuesta de intensidad no lineal de la cámara (transformación gamma) se ha corregido. Por último, asumimos que el índice de modulación es el mismo para cada fuente de Luz Codificada, de forma que la amplitud de modulación es linealmente proporcional a la media temporal de la intensidad luminosa.

Las Figuras 1a) y 1b) ilustran dos fotogramas consecutivos de un conjunto de imágenes adquiridas por medio de una cámara con cortinilla de obturación de una estructura 100. La estructura 100, que en este caso es una sala, está iluminada por una fuente 110 de luz, que se modula con una frecuencia de modulación f_c . La iluminación procedente de la fuente 110 de luz en la pared 101 aparece aquí como una huella 111. Cuando se adquieren imágenes de fuentes de Luz Codificada, los parámetros de la cámara, o los ajustes de adquisición de imágenes, como la velocidad de línea $f_{línea}$, y la velocidad de fotogramas $f_{fotograma}$ desempeñan un papel fundamental en la conversión de una frecuencia de modulación física, en este caso, la frecuencia de modulación f_c , a una frecuencia espacial y temporal evidente que se explicará más adelante. Aunque el valor de la velocidad de línea $f_{línea}$ y la velocidad de fotogramas $f_{fotograma}$ generalmente pueden ajustarse para la mayoría de los sensores de imagen, suelen ser fijos cuando el sensor de imagen está incorporado en un producto, tal como una cámara con cortinilla de obturación en una webcam o un smartphone. La adquisición con cortinilla de obturación convierte la modulación temporal de la Luz Codificada en una modulación de intensidad espacial a lo largo del eje vertical en la imagen adquirida, que aparece como un patrón de intensidad a franjas en áreas de la imagen donde hay presente Luz Codificada. En Las Figuras 1a) y 1b), estas áreas a franjas se ilustran con la huella 111. La modulación de intensidad espacial, que se distribuye verticalmente en cada fotograma, tiene un gradiente de patrón P [píxeles], correspondiente a una frecuencia espacial evidente $f_c^{(y)}$ en el patrón de intensidad, que se determina mediante la relación entre la frecuencia de modulación f_c y la velocidad de línea, $f_{línea}$, de la cámara/sensor con cortinilla de obturación. Una determinada velocidad de línea y velocidad de fotogramas fijan la relación entre una frecuencia de modulación de la fuente de luz particular f_c y, respectivamente, una frecuencia espacial evidente:

$$f_c^{(y)} = \frac{f_c}{f_{línea}} \text{ [ciclo/línea]}, \quad (1)$$

así como una frecuencia temporal evidente:

$$f_c^{(t)} = \left[\left(\frac{f_c}{f_{fotograma}} + \frac{1}{2} \right) \bmod 1 \right] - \frac{1}{2} \text{ [ciclo/fotograma]}, \quad (2)$$

donde el mód operador es el módulo operador. El módulo operador $x \bmod y$ es el resto de la división x/y . Puede calcularse utilizando el operador 'suelo', utilizando la expresión: $x \bmod y = x - y \left\lfloor \frac{x}{y} \right\rfloor$.

En consecuencia, la velocidad de fotogramas, $f_{fotograma}$, de la cámara con cortinilla de obturación, a su vez, afecta a la fase del patrón de intensidad espacial de la huella 111, de forma que en la característica de registro en el fotograma consecutivo en la Figura 1b) de la fuente 110 de luz, el mismo patrón de intensidad de la huella 111, capturado a $t = t_1$, se desplaza una distancia Δy a lo largo del eje vertical en el segundo caso de tiempo $t = t_2$. Véase la Figura 1b). Téngase en cuenta que el patrón espacial vertical se desplaza en imágenes adquiridas consecutivas, mientras que la propia huella permanece en la misma ubicación espacial.

En las Figuras 2a) y 2b), se muestran dos fotogramas consecutivos de un conjunto de imágenes tomadas en dos casos de tiempo $t = t_1$ y $t = t_2$, de una pared 101, que está iluminada por un sistema de iluminación que comprende dos fuentes, 110 y 120, de Luz Codificada. Las imágenes se adquirieron con una cámara con cortinilla de obturación con una velocidad de fotogramas conocida, $f_{fotograma}$, y una velocidad de línea conocida, $f_{línea}$. Las huellas 111, 211 en la pared 101 muestran la distribución espacial de la respectiva aportación a la iluminación total de la pared 101 por la respectiva fuente 110, 120 de luz. Generalmente, la iluminación total también incluye iluminación ambiental, es decir, iluminación de fondo. Cada fuente 110, 120 de luz se codifica de forma que su salida de luz comprende un código

identificador individual ID#1, e ID#2, que suele ser un código incorporado emitido como una secuencia temporal de modulaciones en las características de la luz emitida de la fuente de luz individual que tiene una respectiva frecuencia de modulación f_c . En este caso, las frecuencias de modulación f_1 y f_2 de la respectiva fuente 110, 120 de luz se seleccionan para que el movimiento evidente del patrón de intensidad de cada huella 111, 211 avance en direcciones opuestas en los fotogramas consecutivos. Los patrones de intensidad, y sus respectivos desplazamientos de fase entre fotogramas consecutivos, es decir, su movimiento evidente del patrón de intensidad, son característicos de las fuentes de luz individuales que, por lo tanto, son separables y detectables en la imagen debido a que se conoce la relación entre la velocidad de fotogramas, la frecuencia de modulación de la Luz Codificada y el desplazamiento de fases.

De acuerdo con una realización del método, la secuencia de imágenes se adquiere a intervalos temporales irregulares. Siempre y cuando se conozca la diferencia de tiempo con el fotograma anterior, la diferencia de fases temporales evidente se calcula de forma que cualquiera de los métodos de corrección de fases recursivas siga proporcionando un cálculo correcto de la corrección de fases temporales para una frecuencia específica.

Una imagen adquirida de una escena se capta a medida que la captura con cortinilla de obturación avanza en una dirección vertical. Por lo tanto, la modulación lumínica también se distribuye en la dirección vertical del fotograma de vídeo. Como consecuencia, la dimensión vertical del fenómeno de luz en el fotograma de vídeo limita la ventana temporal con la que puede observarse la modulación. A medida que la Luz Codificada ilumina la escena, la modulación lumínica aparece tanto en imágenes de la propia fuente de luz como en imágenes de la escena iluminada, en huellas de luz capturadas.

La captura con cortinilla de obturación del sensor proporciona un mecanismo para distinguir las variaciones de luz temporales más allá de la velocidad de fotogramas de la cámara. Cuando la velocidad de fotogramas del vídeo varía generalmente en un intervalo de 25 a 60 Hz, la frecuencia de reproducción de la línea, $f_{línea}$, suele ser superior a aproximadamente 10.000 Hz. La adquisición de la cortinilla de obturación representa una forma de muestreo espaciotemporal en el que la dimensión temporal se prueba (al menos parcialmente) a lo largo de la dimensión vertical. Propiamente dicho, existe una relación entre el tiempo t y la posición (línea) vertical y ,

$$t(y, k) = \frac{y}{f_{línea}} + \frac{k}{f_{fotograma}}, \quad (3)$$

donde $f_{fotograma}$ denota la velocidad de fotogramas, $y = 0, 1, 2, \dots$ es una línea de índice, y $k = 0, 1, 2, \dots$ es un índice de fotograma.

La Figura 3 proporciona una representación gráfica de este procedimiento de muestreo espaciotemporal. Se muestra un diagrama de tiempos para un sistema de obturación global típico durante el modo de transmisión de vídeo en streaming. En un sistema de cortinilla de obturación, durante un fotograma cada fila de píxeles R se reajusta primero (s_1), y después se expone (s_2) durante un tiempo de exposición T_{exp} , seguido de una transferencia de carga (donde la fila se mueve a un área oscura del sensor) (s_3), y finalmente se lee (s_4) durante un tiempo de reproducción $T_{reproducción}$. Las filas se reajustan y se exponen, y se reproducen una fila tras otra. Los sensores con cortinilla de obturación ofrecen una mayor densidad de píxeles en comparación con un sensor CMOS con obturador global. La exposición secuencial de líneas posteriores ocasiona un retraso de tiempo entre exposiciones de filas próximas. Esto provoca que las imágenes capturadas de objetos en movimiento se distorsionen.

Para continuar, tengamos en cuenta ahora una única señal de intensidad de Luz Codificada temporalmente $I_c(t)$ [W/sr] procedente de una fuente de luz con índice número c , que consiste en un componente de CC de amplitud $I_{DC,c}$ y un componente de CA de amplitud $I_{AC,c}$ modulada a la frecuencia de modulación f_c , seleccionada de un conjunto predefinido de frecuencias conocidas; en notación compleja,

$$I_c(t) = I_{DC,c} + I_{AC,c} e^{-i2\pi f_c t} \text{ [W/sr]}. \quad (4)$$

Esta fuente de luz genera una iluminación de objetos que, una vez capturada con una cámara, da lugar a una secuencia de imágenes que pueden representarse mediante una señal espaciotemporal $s(x, y, k)$. Cuando se capta con una cámara con cortinilla de obturación, una escena estática iluminada mediante fuentes de Luz Codificada N_c , cada una modulada a una única frecuencia, puede describirse como

$$\begin{aligned}
 s(x, y, k) &= b_{\text{amb}}(x, y) + n(x, y, k) + \sum_{c=1}^{N_c} \left[b_c(x, y) + a_c(x, y) e^{-i2\pi \left(\frac{f_c}{f_{\text{línea}}} y + \frac{f_c}{f_{\text{fotograma}}} k \right)} \right] \\
 &= b(x, y) + n(x, y, k) + \sum_{c=1}^{N_c} \left[a_c(x, y) e^{-i2\pi (f_c^{(y)} y + f_c^{(t)} k)} \right].
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

En la fórmula anterior, $b_{\text{amb}}(x, y)$ y $n(x, y, k)$ representan la señal generada por reflejos de iluminación ambiental estática (no codificada) fuera de la escena y de ruido, respectivamente. Las aportaciones $b_c(x, y)$ de CC para una fuente específica de luz codificada, esencialmente las proyecciones de cada huella de luz en el plano de la imagen, no son relevantes en el algoritmo de detección desvelado. (La forma e intensidad de las huellas de luz y la distribución de luz ambiental total podrían afectar al recorte de alguna región de la imagen dependiendo de los ajustes de exposición y el intervalo dinámico del sensor seleccionado.) La *señal de fondo compuesta* $b(x, y)$ recién introducida contiene por tanto la suma de todos los componentes de CC 'independientes' y específicos para una fuente de luz,

$$b(x, y) = b_{\text{amb}}(x, y) + \sum_{c=1}^{N_c} b_c(x, y).
 \tag{6}$$

Por favor, téngase en cuenta que las amplitudes de modulación $a_c(x, y)$ de la fuente de luz así como el componente de fondo compuesto $b(x, y)$ generalmente varían en el espacio, ya que estos dependen de la geometría y las propiedades y reflectantes de la escena.

La ecuación (5) muestra que la adquisición con cortinilla de obturación aplica frecuencias de modulación físicas f_c [Hz] a frecuencias espaciales evidentes $f_c^{(y)}$ [ciclo/línea] mediante la división por la frecuencia de línea $f_{\text{línea}}$, como se ha descrito anteriormente en la ecuación (1). De forma similar, la misma frecuencia física f_c equivale a una frecuencia temporal evidente $f_c^{(t)}$ [ciclo/fotograma], véase la ecuación (2), cuando los fotogramas se captan a un intervalo fijo. En la práctica, la velocidad de fotogramas $f_{\text{fotograma}}$ es mucho menor que las frecuencias f_c que modulan la luz. Como consecuencia, la frecuencia temporal evidente $f_c^{(t)}$ siempre es inferior a la mitad de la velocidad de fotogramas. En consecuencia, la frecuencia temporal evidente 'se envuelve alrededor' entre los límites $-\frac{1}{2} < f_c^{(t)} < \frac{1}{2}$ para aumentar la frecuencia física de modulación f_c . La relación entre las frecuencias espaciotemporales evidentes y la frecuencia física de modulación se indica mediante la línea inclinada en la Figura 12, que representa una sección del dominio de frecuencias espaciales y temporales evidentes (solamente el dominio de frecuencias espaciales evidentes positivas, $f^{(y)} > 0$).

La Figura 4 ilustra un ejemplo sintético que representa la señal de intensidad en una única columna de una imagen adquirida que contiene la aportación de una única fuente de Luz Codificada con índice entero c (mitad). A propósito, la variación espacial de la amplitud de modulación $a_c(x, y)$ se ha elegido para que sea significativamente distinta a la señal de fondo $b(x, y)$. La Figura 4 muestra así la señal de la columna de ejemplo $s(y)$, con una señal de fondo asumida $b(y)$ que es, por ejemplo, alguna iluminación ambiental en la sala de la que se adquieren las imágenes, el perfil espacial de la amplitud de modulación $a_c(y)$ (abajo). No se añade ningún ruido a la señal de la columna en la Figura 4. La Figura 5a) muestra una señal $s(y)$, que es la misma señal que en la Figura 4. En la Figura 5b) la señal $s(y)$ es la misma señal que en la Figura 5a) con ruido gaussiano blanco adicional, que así representa mejor una señal registrada real. La Figura 5c) muestra una memoria de tiempo temporal $s(y, k)$ compuesta por la misma columna que en la Figura 5b) para 500 fotogramas. En el número de fotograma del diagrama, k , está dispuesto sobre el eje horizontal, y el número de fila, y , sobre el eje vertical. En este ejemplo, la frecuencia temporal evidente es $f_c^{(t)} = 0,2$ [ciclos/fotograma]. La combinación de las frecuencias espaciales y temporales evidentes provoca un patrón de movimiento deslizante que en este ejemplo parece moverse hacia arriba con el tiempo.

La Figura 6a) ilustra el mismo sistema de iluminación que el descrito anteriormente con referencia a la Figura 2a). Las fuentes de luz 110, y 120, en este caso son dos fuentes de luz LivingColors de Philips, cada una de las cuales ilumina la pared 101 del fondo con un color diferente, y cada una de las cuales se modula a frecuencias temporales características diferentes. La entrada para el análisis para proporcionar una estimación de la luz modulada desde las fuentes de luz en este caso es una vídeo secuencia de 500 fotogramas de la escena, la sala 100. Además se selecciona una respectiva región-de-interés (RDI), RDI_1 y RDI_2 en la Figura 6a) y la Figura 6b), respectivamente, en el conjunto de imágenes. La Figura 6c) muestra el resultado de una memoria de tiempo temporal, como se explica más adelante, obtenida para la RDI_1 , que está dominada por la huella 111 de la fuente de luz 111 izquierda, mientras que la Figura 6d) demuestra el resultado de una correspondiente memoria de tiempo temporal obtenida para la RDI_2 , que está dominada por la huella 211 de la fuente de luz 120 derecha.

Dentro de cada fotograma de vídeo, la señal dentro de la RDI designada se aísla y se integra a lo largo de la dirección horizontal. Dado que la adquisición con cortinilla de obturación convierte las modulaciones temporales en patrones espaciales verticales, la dimensión espacial horizontal contiene poca información se utiliza simplemente para mejorar la potencia de la señal. La Figura 6c) y la Figura 6d) muestran el resultado de este procedimiento aplicado a todos los 500 fotogramas de la secuencia. En estas Figuras, cada fila muestra los resultados de la integración horizontal de la RDI de un único fotograma, revelando nuevamente las variaciones espaciales y temporales evidentes que forman juntas patrones de movimiento evidentes anotados mediante flechas blancas en los fotogramas inferiores de la Figura 6c) y la Figura 6d). Puesto que las distintas fuentes de luz en esta escena se modulan a frecuencias temporales f_c únicas, muestran diferencias en las características espaciales y de movimiento de los patrones registrados. Las diferencias en las frecuencias físicas de modulación entre las fuentes de luz dan lugar a patrones espaciotemporales característicos que constituyen la base para la identificación de fuentes de luz y algoritmos de estimación de huellas de acuerdo con el método. Téngase en cuenta que estas no solamente pueden observarse en la velocidad del movimiento, sino también en su dirección. En este ejemplo, el patrón de la fuente de luz izquierda se propaga de arriba a abajo, mientras que el patrón generado por la fuente de luz derecha avanza de abajo a arriba.

Téngase en cuenta que en cualquier lugar en las realizaciones del presente documento, cuando se hace referencia a una 'imagen' o 'secuencia de imágenes', la entrada también reducirse a una región de interés espacial (RDI) en lugar del fotograma de la imagen completa.

La presente invención se basa en una idea de que el análisis espaciotemporal combinado de la señal s (utilizando ambos factores del término exponencial en la ecuación (6)) da lugar a una detección de códigos más precisa y sólida que el simple tiempo de integración. Las señales de fondo de la escena y de Luz Codificada pueden discriminarse fácilmente basándose en las características del movimiento, ya que puede asumirse que el fondo es estático (para una posición de cámara estática), mientras se sabe que el objetivo de Luz Codificada se mueve a través de la escena a velocidades conocidas predefinidas, como se demuestra mediante la ecuación (6), la Figura 5 y la Figura 6.

El reto de identificar fuentes de Luz Codificada individuales se reduce efectivamente a identificar qué frecuencias f_c pueden encontrarse en una secuencia de imágenes $s(x,y,k)$. Para algunas aplicaciones, tales como la puesta en escena y la creación de ambientes, también puede ser ventajoso estimar la huella espacial para cada fuente de luz c individualmente.

Las frecuencias de modulación se seleccionan preferentemente de acuerdo con distintos criterios:

- Evitar frecuencias que sean un múltiplo de la velocidad de fotogramas, que ocasionen un patrón estático.
- Evitar frecuencias que sean un múltiplo y medio de la velocidad de fotogramas; aparecen como un patrón oscilante que alterna la fase en π (es decir, 180°) cada fotograma alterno.
- Cualquier otra frecuencia de fuente de luz que los dos ejemplos anteriores (sin tener en cuenta los efectos del tiempo de exposición de la cámara explicados más adelante), provoca que un patrón se deslice hacia arriba o hacia abajo con una velocidad evidente constante: esto es conveniente porque permite la separación del fondo.
- Las sub-bandas de canales de frecuencias espaciotemporales son selectivas para una parte particular en el dominio de frecuencias espaciotemporales. Los parámetros de ambos pueden ajustarse. Los canales deberían tener un solapamiento mínimo para una óptima selectividad. En la Figura 14 se representa un ejemplo de dicha topología de canal. La Figura 14 representa el dominio de frecuencias espaciales y temporales evidentes que muestran una posible asignación de 24 canales de frecuencias espaciotemporales de las cuales el centro (indicado mediante los círculos azules) siempre se sitúa en el rastro de frecuencias espaciales evidentes y temporales evidentes $f^{(y)}$ y $f^{(t)}$ respectivamente como función de la frecuencia física de modulación de la lámpara. El ancho de banda espacial y temporal evidente de cada canal se define respectivamente mediante $\Delta f_c^{(y)}$ y $\Delta f_c^{(t)}$ como se indica mediante las flechas de dos puntas verticales y horizontales, respectivamente.

Además, en la práctica hace falta tener en cuenta el tiempo de exposición de la cámara. Hasta ahora, hemos basado nuestro análisis en una modulación lumínica sinusoidal. En general, el análisis considera todas las señales moduladoras. Esto significa que también pueden incorporarse componentes armónicos más elevados de una única señal de la lámpara en la recuperación de la distribución de la fuente de luz específica a lo largo de una columna.

Por motivos prácticos, pueden modularse fuentes de luz mediante una onda rectangular, de forma que la variación del coeficiente de utilización permita un fácil control de la intensidad luminosa media manteniendo al mismo tiempo una amplitud de modulación fija. La amplitud de esta denominada luz modulada mediante ancho de impulso puede ampliar todo el intervalo dinámico, de forma que la lámpara se apague temporalmente durante un porcentaje de cada ciclo.

Desgraciadamente, en muchos casos, la amplitud inicial de la modulación no se mantiene durante la captura de la imagen. En la práctica, el tiempo de exposición tiene que ser suficientemente largo para evitar el ruido de adquisición. Dichos tiempos de exposición prolongados introducen un efecto de limitación de banda que provoca una supresión de la amplitud de modulación original e, incluso, una cancelación de la modulación en la secuencia de imágenes capturada.

El efecto del tiempo de exposición es una convolución con un núcleo de bloque que provoca que las modulaciones se supriman mediante una función "sinc" como una función de la frecuencia, que genera ángulos muertos en el dominio de la frecuencia espaciotemporal. (La función sinc tiene varias definiciones; utilizamos $\text{sinc}(x) = \sin(x)/x$.) Estos ángulos muertos pueden resolverse de diferentes formas, por ejemplo, mediante frecuencias de fuentes de luz actualizadas con valores detectables, o el uso de múltiples frecuencias por cada fuente de luz.

La Figura 12 representa el dominio de frecuencias espaciales evidentes y temporales evidentes $f^{(y)}$ y $f^{(t)}$ respectivamente. El rastro de las frecuencias de modulación de la lámpara física se traza como una línea inclinada y abombada (en función de $f_{\text{fotograma}} = 29,97$ [Hz] y $f_{\text{línea}} = 14386$ [Hz]). En la Figura 12, el área a franjas finas superior representa una zona de frecuencias humanamente perceptibles de baja frecuencia evitada, que en este caso se ha elegido como $f_c < 200$ Hz. El área de patrón de diamante central representa una zona evitada cerca de múltiplos de $f_{\text{fotograma}}$, donde hay un movimiento del patrón reducido o escaso. Finalmente, las áreas a franjas en las frecuencias temporales cercanas a $\pm 0,5$ representan zonas evitadas cercanas a repeticiones de frecuencia Nyquist debido al muestreo con $f_{\text{fotograma}}$, donde hay ausencia de movimiento del patrón pero solamente un cambio de fase de 180° cada fotografía alterno. Se considera que cualquier frecuencia de modulación que no esté en las áreas evitadas es detectable.

La Figura 13 representa la magnitud de la función de respuesta de frecuencia con forma sinc relacionada con la exposición como una función de las frecuencias espaciales evidentes y temporales evidentes $f^{(y)}$ y $f^{(t)}$ respectivamente. La respuesta sinc forma un plano curvado diferente que se representa como un "paisaje" semitransparente de picos (es decir, máximos locales) y valles (es decir, ceros), cuya ubicación varía como una función del tiempo de exposición. A efectos de claridad, una curva central en $f^{(t)}$ indica la forma de la respuesta sinc. El lugar de frecuencias evidentes se superpone como una curva que se abomba entre $f^{(t)} = -0,5$ y $f^{(t)} = 0,5$ a medida que sigue su línea de abombamiento a lo largo del paisaje sinc. Los ceros y los máximos locales de la función sinc ocupan líneas equidistantes paralelas al eje para el que $f^{(y)} = 0$. Los ceros de la función sinc indican frecuencias para las cuales no es posible la detección.

Las realizaciones presentadas en el presente documento se basan en el conocimiento anterior de la velocidad de línea y fotograma de la cámara con cortinilla de obturación así como las frecuencias de modulación que están asociadas al índice de cada fuente de luz. Dicho conocimiento anterior puede venir de una base de datos interna o en línea que contenga estos parámetros de una variedad de dispositivos móviles populares, tales como smartphones y tabletas. A falta de dicha base de datos, el conocimiento anterior también puede obtenerse basándose en una única calibración inicial.

El conjunto de frecuencias físicas predefinidas puede elegirse de forma que las señales registradas puedan separarse de forma óptima de un fondo estático y entre sí basándose en el análisis de señales del dominio de frecuencias espaciotemporales. Las siguientes realizaciones tienen por objeto explotar dicha separación de canales de frecuencias espaciotemporales.

De acuerdo con una realización del presente método como se ilustra en la Figura 7, la detección de Luz Codificada espaciotemporal proporciona una estimación $\hat{a}_c(x,y)$ de la distribución espacial de la amplitud de modulación para un índice c de canal de frecuencia determinado, tomando una secuencia de imágenes $s(x,y,k)$ como entrada. En la Figura 7, los rectángulos redondeados representan los datos de la señal o el resultado en etapas diferentes. Los rectángulos cuadrados representan un proceso. Esta realización se basa en utilizar explícitamente una transformación discreta de Fourier (DFT) en 2D en forma de una FFT en 2D por memoria de la columna $s(y,k)$.

Dado que $s(y,k)$ es una señal en 2D, el resultado de la DFT es también una matriz de valor complejo en 2D $S(f^{(y)}, f^{(t)})$, que tiene las mismas dimensiones que los datos de entrada. Empezando en la etapa 700 se proporciona una secuencia de imágenes de entrada $s(x,y,k)$. En la columna 710 se seleccionan índices entre 1 y N_x para formar una memoria de la columna de entrada $s(y,k)$, etapa 711. Una etapa opcional de creación de ventanas se realiza en la etapa 715. La memoria de la columna $s(y,k)$ se somete entonces a una transformación discreta de Fourier bidimensional en la etapa 720, que se ilustra en un ejemplo ilustrativo en la Figura 8. En la Figura 8 se representa la magnitud $|S(f^{(y)}, f^{(t)})|$ (a efectos de visibilidad, se muestra el logaritmo de la magnitud), es decir, la DFT de la memoria de la columna ($s(x,y)$) que da lugar a una matriz de valor complejo en 2D. El patrón de 'onda' espaciotemporal se vuelve a encontrar como distribuciones aisladas (indicadas como a , a' en la Figura 8), separadas de la distribución central a lo largo de la línea $f^{(t)}$ (indicada como e en la Figura 8), que corresponde a la señal de fondo (estática) mientras que los dos picos conjugados corresponden a las aportaciones de señal oscilante. La DFT muestra claramente distribuciones de energía distintas, en las que la contribución central e corresponde a la señal de fondo y los dos picos conjugados a , a' corresponden a la contribución de señal oscilante de nuestra fuente de luz. Téngase en cuenta que, de acuerdo con la dirección del eje y positivo, el eje $f^{(y)}$ positivo también está apuntando hacia abajo en este caso.

Para continuar, haciendo referencia a la Figura 7, después de realizar la etapa 720, para cada fuente de luz c se selecciona una banda de frecuencia espaciotemporal asociada a una fuente de luz c específica y después se desmodula para realizar un desplazamiento de banda de frecuencia a $(f^{(y)}, f^{(t)}) = (0,0)$, véase la Figura 9. La Figura 9 ilustra en varias etapas cómo se deduce una estimación de amplitud de una subbanda espaciotemporal

seleccionada. La Figura 9a) muestra $S(f^{(y)}, f^{(t)})$, la transformación de Fourier del corte de la columna $s(y, k)$, después de la supresión de todos los componentes excepto en la frecuencia temporal evidente $f_c^{(t)}$ y $-f_c^{(t)}$. Su transformación inversa de Fourier, realizada en la etapa 750, se muestra en la Figura 9b y muestra claramente la recuperación del componente de señal oscilante de la luz modulada a falta de cualquier contribución de fondo. La transformación inversa de Fourier da lugar a una estimación de la duración de modulación a falta de cualquier señal de fondo. La Figura 9c) muestra un corte de Fourier en 1D tomado a $f^{(t)} = 0,2$ [ciclos/fotograma] y su transformación inversa. Finalmente, en la etapa 760, en la Figura 7, se proporciona la columna resultante con estimación de amplitud de modulación por cada fuente de luz, véase la Figura 9d) que muestra el mismo corte de Fourier, como en la Figura 9c) pero después de un desplazamiento cíclico a $f^{(y)} = 0$, y su transformación inversa, proporcionando un aproximación del perfil de amplitud, $\hat{a}_c(y)$.

En la etapa 770, en la Figura 7, se combinan columnas de diferentes índices de columna dando lugar a una imagen con una estimación de amplitud de modulación por cada fuente de luz $\hat{a}_c(x,y)$.

Dado que es la *amplitud* de la luz modulada lo que queremos recuperar, al seleccionar una a subbanda anterior, podemos explotar el hecho de que S es simétrico conjugado,

$$S(f^{(y)}, f^{(t)}) = S^*(-f^{(y)}, -f^{(t)}), \quad (7)$$

porque nuestra señal de entrada tiene un valor real. Por lo tanto, podemos ignorar la mitad del plano de Fourier al reconstruir la transformación inversa. Esto se representa en la Figura 9c), donde el corte en 1D se toma y vuelve a transformarse al dominio espacial. Téngase en cuenta que, para una adecuada normalización, la transformación inversa se ha multiplicado por un factor 2, que se explica para ignorar al otro componente Fourier conjugado. Para obtener la amplitud podemos realizar una desmodulación mediante el desplazamiento de una distribución espectral asociada hacia DC, $(f_c^{(y)}, f_c^{(t)}) = (0,0)$. Además, realizando un desplazamiento *cíclico*, la estimación de la amplitud $\hat{a}_c(y)$ se obtiene manteniendo todo su ancho de banda espacial. Puede que en la práctica esto no sea siempre posible, o incluso conveniente, de forma que en el esquema de bloques en la Figura 7, el canal también puede limitarse en el ancho de banda de frecuencia espacial.

La creación de ventanas opcional, en la etapa 715, antes de la FFT en 2D anterior en la etapa 720, puede ser necesaria para evitar efectos de barrera, bien de las barreras espaciales (parte superior e inferior de una columna) o de barreras temporales (principio y final de una memoria de columna).

En general, una frecuencia física de modulación no se aplicará a una frecuencia espacial o temporal evidente entera. Como consecuencia, una frecuencia física de modulación específica no aparece centrada alrededor de un coeficiente de DFT entero. En este caso, hay que realizar un desplazamiento desmodulante del canal de frecuencia particular en valores de coeficientes (complejos) que se deduzcan de una interpolación de valores de coeficientes de DFT existentes. Puede demostrarse que la acción del filtro de interpolación también puede reemplazar la función de creación de ventanas opcional.

De acuerdo con una realización del método, la estimación resultante del análisis anterior se utiliza para identificar la presencia y/o la ubicación de una o varias fuentes de luz en el fotograma de la cámara capturado. Esto puede hacerse, por ejemplo, determinando la lámpara c que produce localmente la respuesta de magnitud más sólida $\hat{a}_c(x,y)$.

Otra realización proporciona una implementación más eficiente combinando primero múltiples columnas x por fotograma, la más sencilla de las cuales es reemplazar un grupo de columnas adyacentes por una nueva columna que contiene la suma por filas de los consecutivos píxeles a lo largo de la dirección horizontal. El conjunto resultante de estimaciones de amplitud $\hat{a}_c(x,y)$ está provisto de una resolución espacial reducida en la dirección horizontal. Dicha acumulación de datos horizontal mantiene en gran parte los componentes de la señal de luz modulada ya que la fase de la señal es constante a lo largo de las filas de la imagen. Dicha decimación de columnas también puede realizarse basándose en una denominada descomposición de ondículas, que ofrece una forma eficiente de mejorar (localmente) la escala espacial horizontal de la acumulación de forma recursiva. Este uso de la transformación de ondículas (y de otros métodos para la descomposición multiescala jerárquica) es conocido.

Haciendo referencia a la Figura 10, se ilustra un sistema de detección de luz ilustrativo de acuerdo con el presente concepto inventivo. Un sistema 10 de iluminación se instala en una estructura 50, que en este caso es una sala. El sistema 10 de iluminación comprende tres fuentes de luz 11, 12, y 13, y una o varias unidades de control (que no se muestran) para controlar las fuentes de luz 11, 12, 13. En la Figura 10 un usuario maneja un dispositivo de detección de luz 17 móvil que comprende una cámara con cortinilla de obturación. Durante el manejo la salida de luz I_{11} , I_{12} , I_{13} que se proporciona individualmente, de cada fuente de luz 11, 12, 13, respectivamente, contribuye a la luz total que sale del sistema de iluminación para la iluminación de la estructura 10. Las aportaciones de iluminación desde las diversas fuentes de luz 11, 12, 13 sobre la estructura se ilustran en este caso como huellas 14, 15. Las huellas procedentes de las fuentes de luz pueden solaparse. Además, como se ilustra en la Figura 10, la luz directa para la fuente de luz 13 se refleja en un área denotada como 16 en una imagen adquirida 18. Cada fuente de luz se codifica

de forma que su salida de luz / comprende un código identificador ID#1-3 individual, que habitualmente es un código incorporado emitido como una secuencia temporal de modulaciones en las características de la luz emitida desde la fuente de luz individual. La Luz Codificada también puede comprender otra información relativa a la fuente de luz como ajustes de luz actuales y/u otra información pero, a efectos de simplificar, en el presente documento solamente se comentan más adelante códigos identificadores en forma de frecuencias de modulación individuales para ilustrar la idea básica del concepto inventivo.

Hay varias técnicas para incorporar un código en la salida de luz de una fuente de luz que conocen los expertos en la materia y, por lo tanto, no se describen con detalle en este caso.

Para continuar, el dispositivo de detección de luz 17 es parte de un sistema de detección de luz de acuerdo con el presente concepto inventivo, que se ilustra esquemáticamente en la Figura 11. El sistema de detección de luz 200 comprende una cámara con cortinilla de obturación 210 para adquirir un conjunto de imágenes de una escena, es decir, en esta realización ilustrativa, un conjunto de imágenes de un área de la estructura 100, hacia las cuales el usuario apunta el dispositivo de detección de luz 17. Además, el sistema de detección de luz comprende una unidad de control 220 para seleccionar ajustes de adquisición de imágenes como, por ejemplo, al menos uno de una velocidad de fotogramas, velocidad de línea, temporización, tiempo de exposición, y área de exposición de la cámara con cortinilla de obturación. El sistema de detección de luz 200 comprende además un procesador 230 y, opcionalmente, una memoria 240. El sistema de detección de luz también puede comprender, opcionalmente, una unidad de comunicación 250 dispuesta para proporcionar instrucciones al sistema de iluminación, y/o para recibir o transmitir información como ajustes de adquisición de imágenes o frecuencias de modulación al sistema de iluminación u otras unidades externas. El procesador 230 se configura para implementar un método de acuerdo con el presente concepto inventivo para procesar los datos contenidos en la imagen adquirida (filas de la imagen) para determinar códigos identificadores de la fuente de luz presentes en una posición particular dentro de la escena. Opcionalmente, pueden procesarse imágenes de la escena adquiridas por una cámara con cortinilla de obturación de acuerdo con el presente método inventivo en un procesador dispuesto a distancia.

El procesador 230 puede tener acceso a las frecuencias de modulación de las fuentes de luz, bien mediante comunicación con el sistema de control de luz, o una base de datos interna o externa del dispositivo de detección de luz (que no se muestra). El sistema de detección de luz puede disponerse para dar instrucciones al sistema de control de luz, para seleccionar frecuencias de modulación adaptadas a los ajustes de adquisición de imágenes del dispositivo de detección de luz. De acuerdo con una realización del sistema de detección de luz, utiliza conocimientos previos del tiempo de exposición de la cámara para la selección de frecuencias dada la atenuación dependiente de la frecuencia debido a la integración de tiempo durante la exposición, y comunica esta información a las fuentes de luz para una asignación de frecuencia óptima.

Aunque el sistema de detección de luz en esta realización ilustrativa se dispone en un dispositivo de detección de luz portátil, puede disponerse integrado en la estructura, por ejemplo, colgado en la pared, o de cualquier otra manera conveniente. Las distintas partes del sistema de detección de luz pueden disponerse de lejos entre sí o integrarse en el mismo dispositivo de detección de luz.

En el presente documento, las fuentes de luz pueden comprender cualquier fuente de luz adecuada como una fuente de descarga de gas a alta/baja presión, un diodo láser, un diodo emisor de luz inorgánico/orgánico, una fuente incandescente, o una fuente halógena.

La modulación lumínica de fuentes de luz se realiza de forma repetitiva. Hay diversos métodos de modulación para la Luz Codificada, continuos y binarios, y pueden incluir uno de un flujo de datos repetitivo continuo, un flujo de datos por paquetización, con paquetes a intervalos regulares, y un flujo de datos por paquetización, con paquetes a intervalos irregulares.

El método de acuerdo con el presente concepto inventivo es aplicable para distintas técnicas de modulación de las fuentes de luz, por ejemplo, modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK), multiplexación por división de frecuencia (FDM), multiplexación ortogonal por división de frecuencia (OFDM).

En la descripción anterior, el concepto inventivo se describe haciendo referencia, pero no debe limitarse, a la aplicación de cámaras económicas para la detección de fuentes de Luz Codificada. Dentro de las limitaciones de las cámaras económicas como parte de los productos existentes (como smartphones) se han presentado varias medidas para mejorar la detección (breve tiempo de exposición, desenfoque intencional). Dado que los sensores con cortinilla de obturación siguen siendo más económicos que los sensores con obturador global, las cámaras personalizadas pueden formar parte del propio sistema de iluminación, bien como elemento detector en un dispositivo portátil o como parte de un sistema de detección de luz permanente.

Anteriormente se han descrito las realizaciones del sistema de detección de luz de acuerdo con la presente invención definida en las reivindicaciones adjuntas. Deben considerarse simplemente como ejemplos no limitativos. Como entiende un experto, son posibles numerosas modificaciones y realizaciones alternativas dentro del alcance de la invención.

Cabe señalar que, a efectos de esta aplicación y, en particular, en relación con las reivindicaciones adjuntas, la expresión “que comprende” no excluye otros elementos o etapas, y que la palabra “un” o “una”, no excluye una pluralidad, que serán evidentes de por sí para un experto en la materia.

REIVINDICACIONES

1. Un método de detección de luz modulada que comprende:

- 5 - la recepción de un conjunto de imágenes adquiridas mediante una cámara con cortinilla de obturación (210) que tiene ajustes de adquisición de imágenes que comprenden una velocidad de fotogramas, $f_{\text{fotograma}}$, y una velocidad de línea, $f_{\text{línea}}$;
- la identificación en fotogramas consecutivos de dichas imágenes, de
- 10 - un patrón regulado por la relación entre una frecuencia de modulación, f_c , de una fuente de luz modulada (11, 12, 13, 110) y la velocidad de línea, $f_{\text{línea}}$, y
- entre fotogramas consecutivos, un desplazamiento espacial de dicho patrón regulado por la relación entre dicha frecuencia de modulación f_c y dicha velocidad de fotogramas, $f_{\text{fotograma}}$, y
- el suministro, basándose en dicho patrón y desplazamiento espacial del mismo, de una estimación de la amplitud de luz modulada procedente de dicha fuente de luz (11, 12, 13, 110).

15 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además seleccionar dichos ajustes de adquisición de imágenes y dicha frecuencia de modulación f_c de dicha fuente de luz modulada (11, 12, 13, 110) para proporcionar un desplazamiento espacial detectable de dicho patrón.

20 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que dicha etapa de selección se basa en zonas detectables o canales de frecuencia seleccionados predeterminados en un dominio de frecuencias espaciales y temporales evidentes.

4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que dicha etapa de identificar comprende además:

- 25 - la identificación de una pluralidad de dichos patrones, cada uno correspondiente a una fuente de luz modulada (11, 12, 13, 110) respectiva; y
- la comparación de patrones identificados y/o desplazamientos de patrones identificados para distinguir entre patrones correspondientes a distintas fuentes de luz moduladas.

30 5. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que dicha frecuencia de modulación, f_c , de una fuente de luz (11, 12, 13, 110) respectiva es una única frecuencia fija, se selecciona de un conjunto de frecuencias candidatas, comprende un conjunto de frecuencias candidatas aplicadas de forma simultánea, o se selecciona de un conjunto de frecuencias candidatas de acuerdo con una determinada secuencia.

35 6. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que dicha frecuencia de modulación, f_c , se selecciona para proporcionar una separación espaciotemporal óptima de las intensidades de píxeles de la imagen registrada desde un fondo estático y/o para proporcionar una separación espaciotemporal óptima de las intensidades de píxeles de la imagen registrada o derivados de procesamiento de imagen de las mismas, para múltiples fuentes de luz unas respecto de las otras.

40 7. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que dicha etapa de proporcionar una estimación de la luz modulada comprende además para al menos dos fotogramas consecutivos:

- 45 la subdivisión de cada imagen de una forma predeterminada en una o varias regiones espaciales;
- para cada una de dichas regiones espaciales, la integración de valores de intensidad de píxeles predeterminados en dicha región espacial en una dirección horizontal para crear un matriz de valores para una región específica y para un fotograma específico; y
- la creación de una memoria de matrices de valores para una región específica acumulando matrices de valores para una región específica y para un fotograma específico de dicha región espacial, de forma que dicha memoria de matrices de valores para una región específica proporcione una representación espaciotemporal de la auténtica modulación temporal de la luz modulada procedente de una fuente de luz que se refleja dentro de dicha región;
- 50 en el que dicho análisis espaciotemporal se basa en las características espaciales y temporales de un patrón de intensidad en dicha región o regiones.

55 8. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, cuando se conoce un tiempo de exposición T_{exp} actual de dicha cámara con cortinilla de obturación (210), comprendiendo dicha etapa de proporcionar una estimación de dicha luz modulada además:

60 la realización de una corrección para la atenuación dependiente de la frecuencia debido a la integración temporal durante la exposición en dichas imágenes adquiridas.

9. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el dicha modulación luminica se realiza de forma repetitiva, siendo uno de un flujo de datos repetitivo continuo, un flujo de datos por paquetización, con paquetes a intervalos regulares y un flujo de datos por paquetización, con paquetes a intervalos irregulares.

5 10. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, cuando se utiliza en un sistema de detección de luz (200) que comprende una cámara con cortinilla de obturación (210) para adquirir dichas imágenes de al menos una fuente de luz modulada (11, 12, 13, 110), en el que dichos ajustes de adquisición de imágenes se proporcionan realizando una calibración de dicha cámara con cortinilla de obturación (210) o se recuperan de una base de datos interna o externa de la cámara con cortinilla de obturación (210).

10 11. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 cuando dependen de la reivindicación 2, en el que dicha etapa de seleccionar frecuencias de modulación y ajustes de adquisición de imágenes comprende además:

15 el intercambio de información relativa al menos a un ajuste de adquisición de imágenes actual y/o al menos a una frecuencia de modulación actual entre dicha cámara con cortinilla de obturación (210) y dicha al menos una fuente de luz (11, 12, 13, 110), o un sistema de control de la fuente de luz, en el que dicha selección se realiza en función de al menos un ajuste de adquisición de imágenes actual o una frecuencia de modulación actual.

20 12. Un dispositivo de detección de luz (17) que comprende una cámara con cortinilla de obturación (210) que se dispone para adquirir un conjunto de imágenes de una escena que está iluminándose mediante un sistema de iluminación, comprendiendo dicho sistema de iluminación (10) al menos una primera fuente de luz modulada (11, 12, 13, 110), y medios de procesamiento (230) dispuestos para realizar un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior.

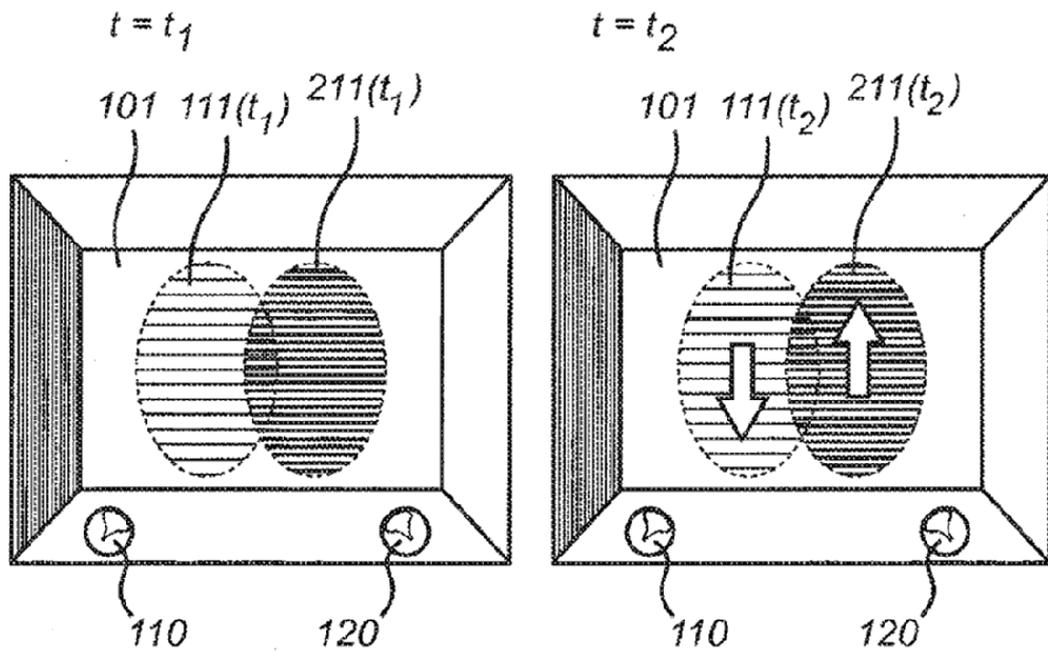
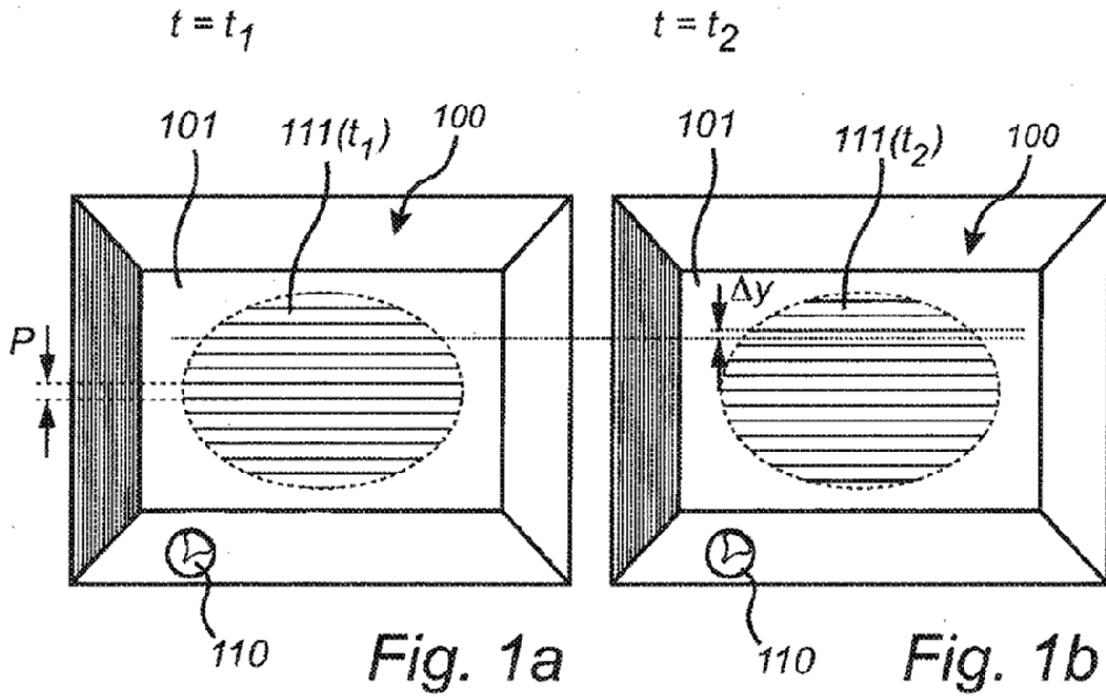


Fig. 2a

Fig. 2b

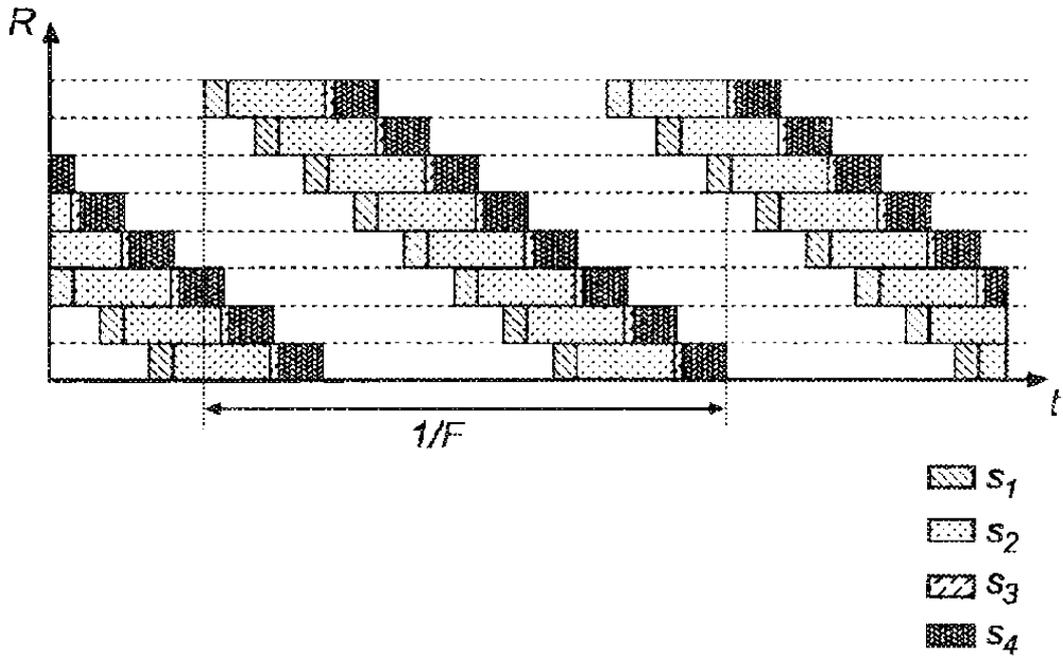


Fig. 3

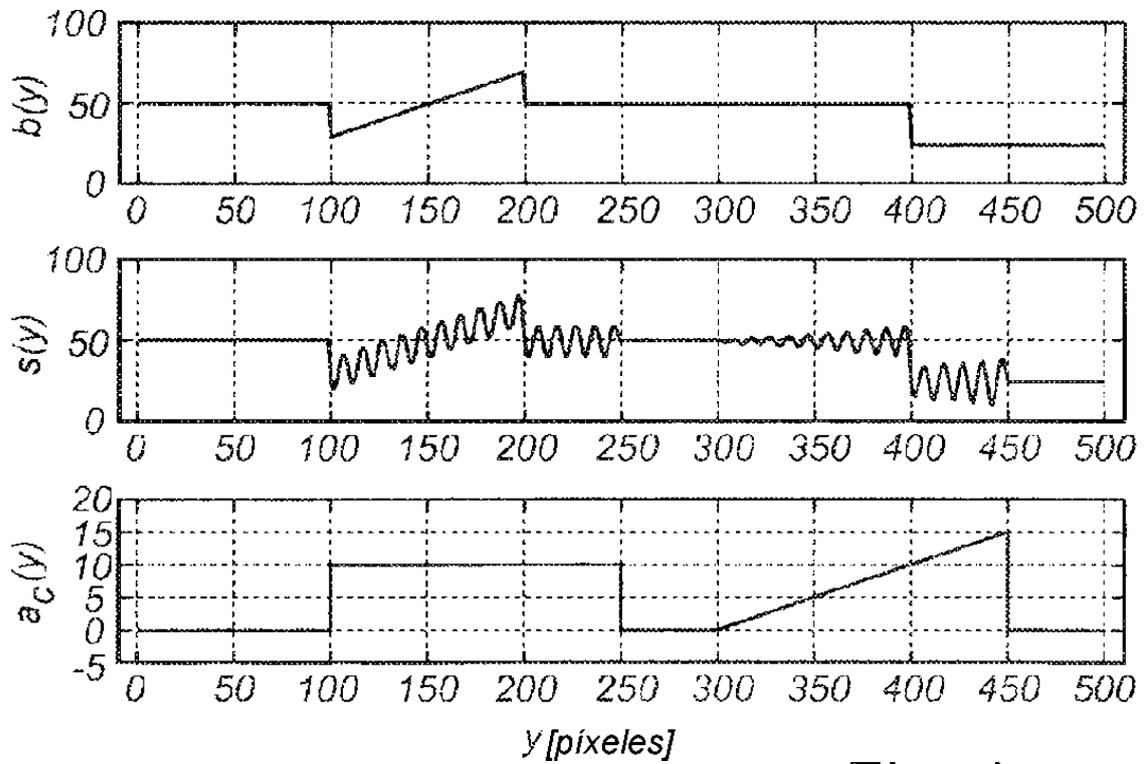


Fig. 4

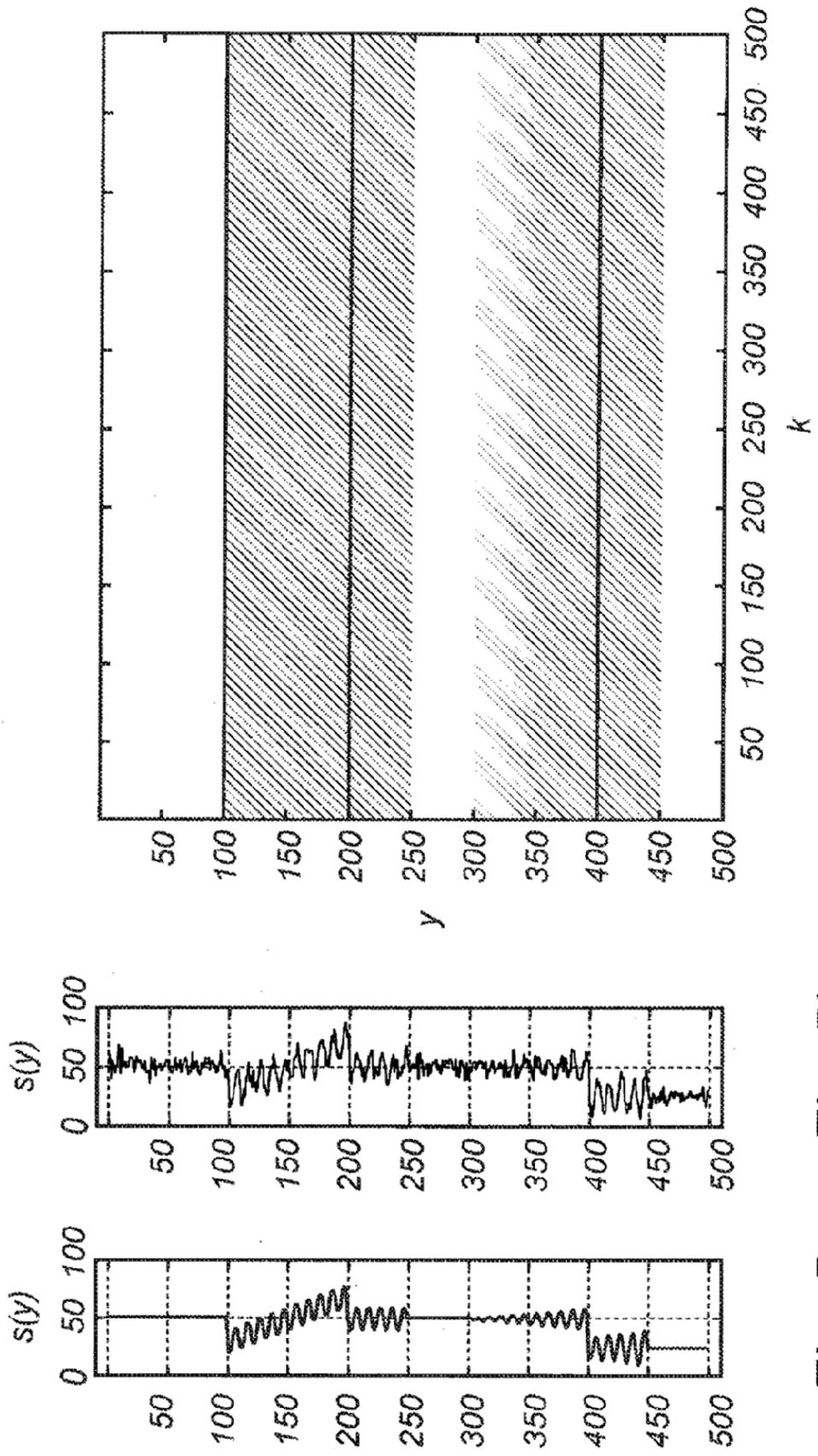
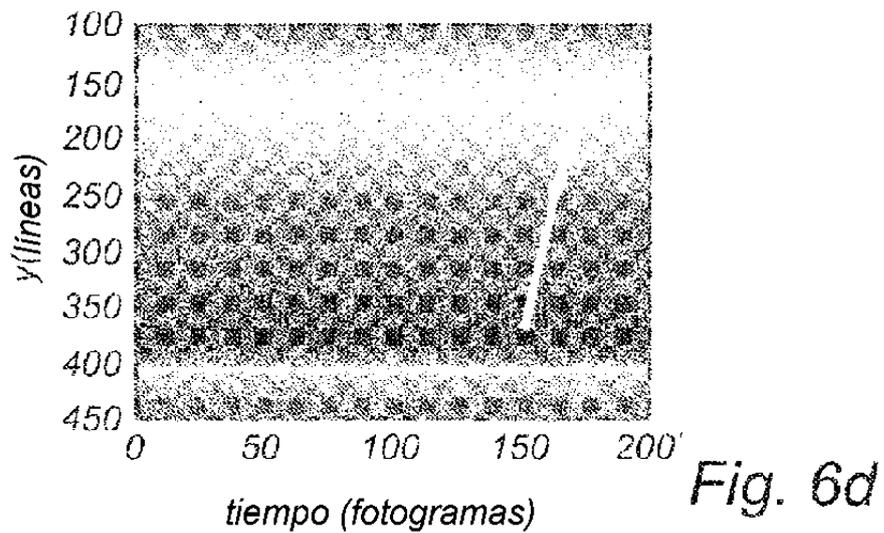
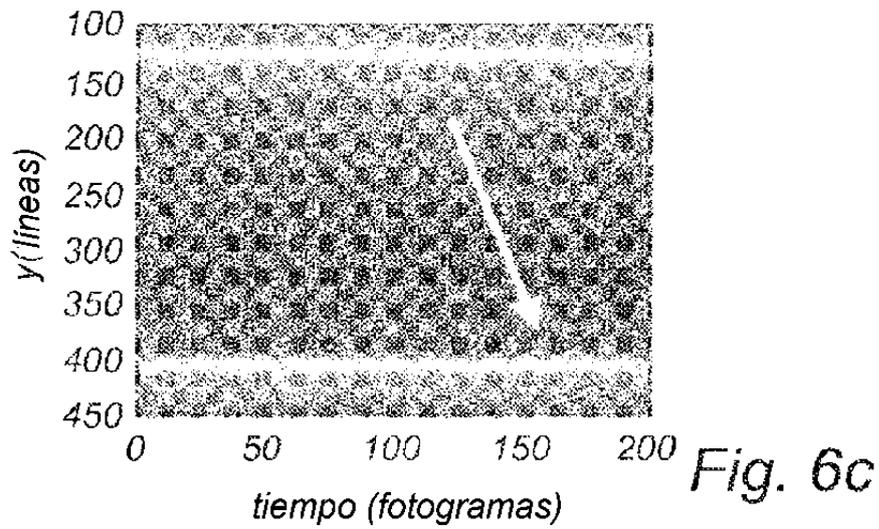
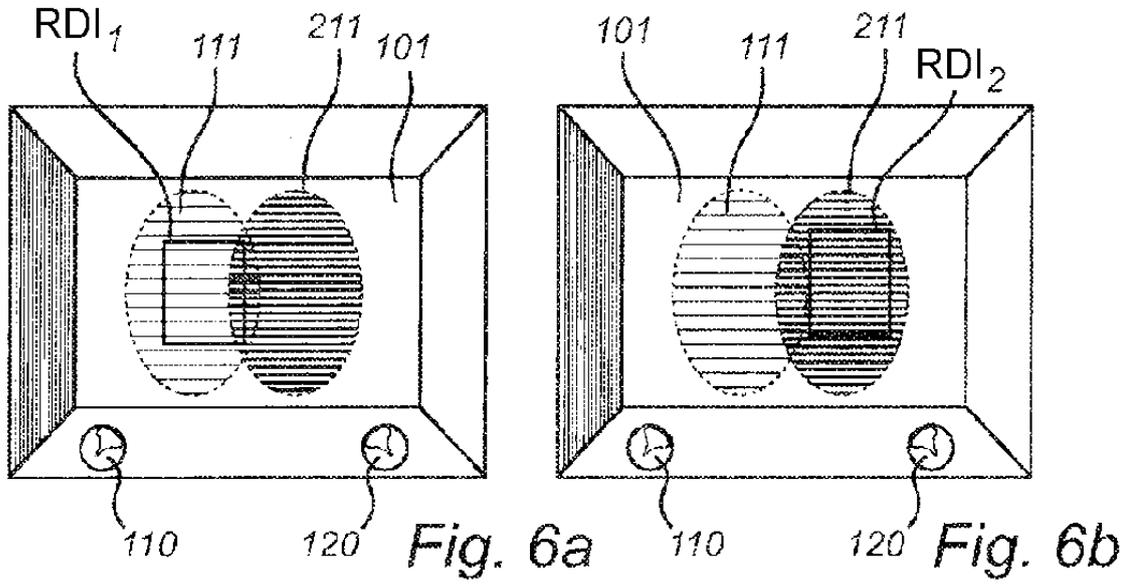


Fig. 5c

Fig. 5a Fig. 5b



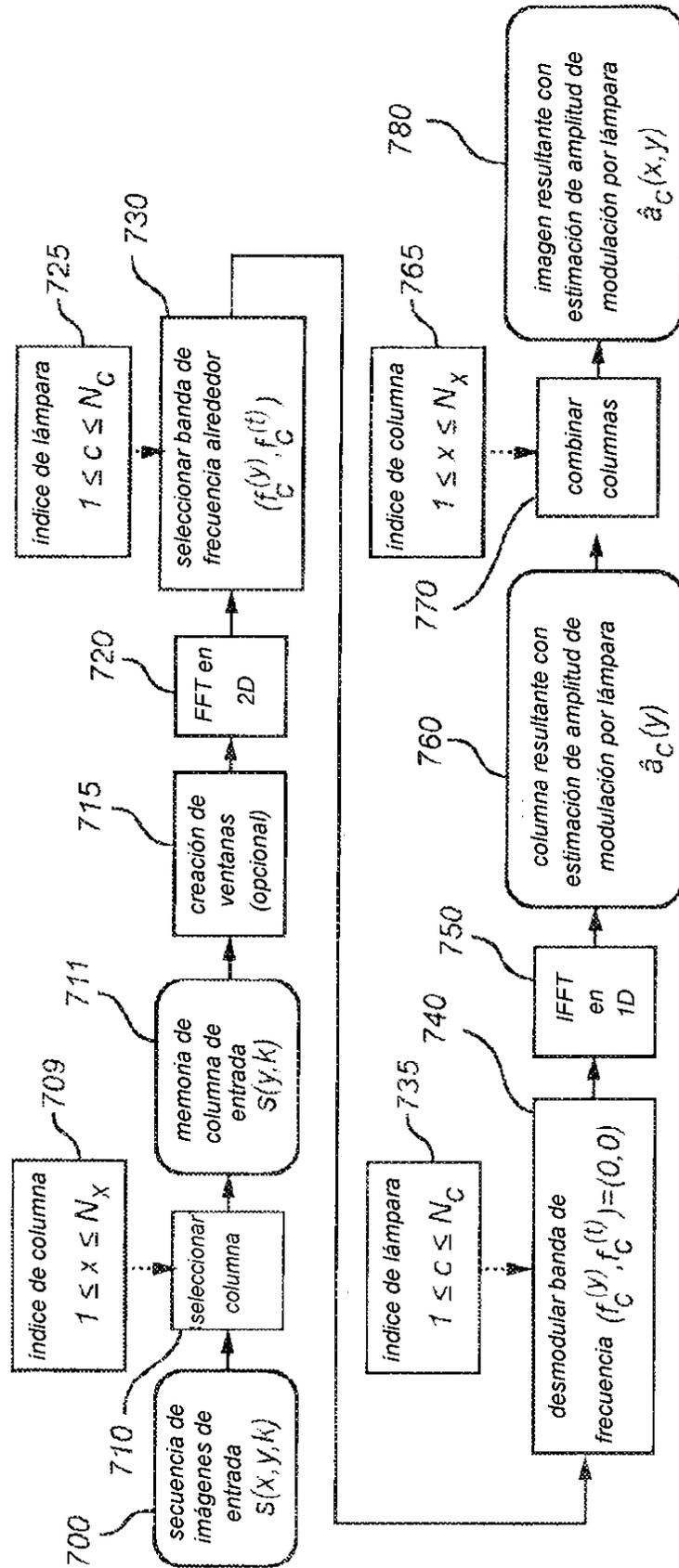


Fig. 7

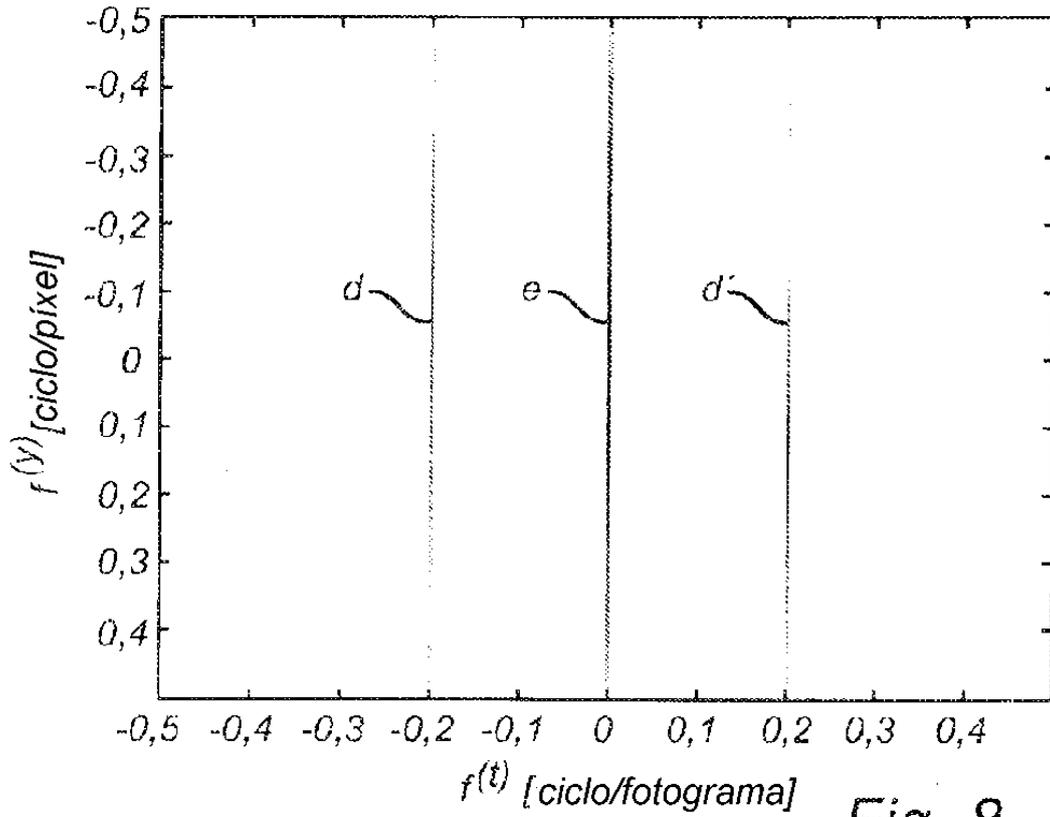


Fig. 8

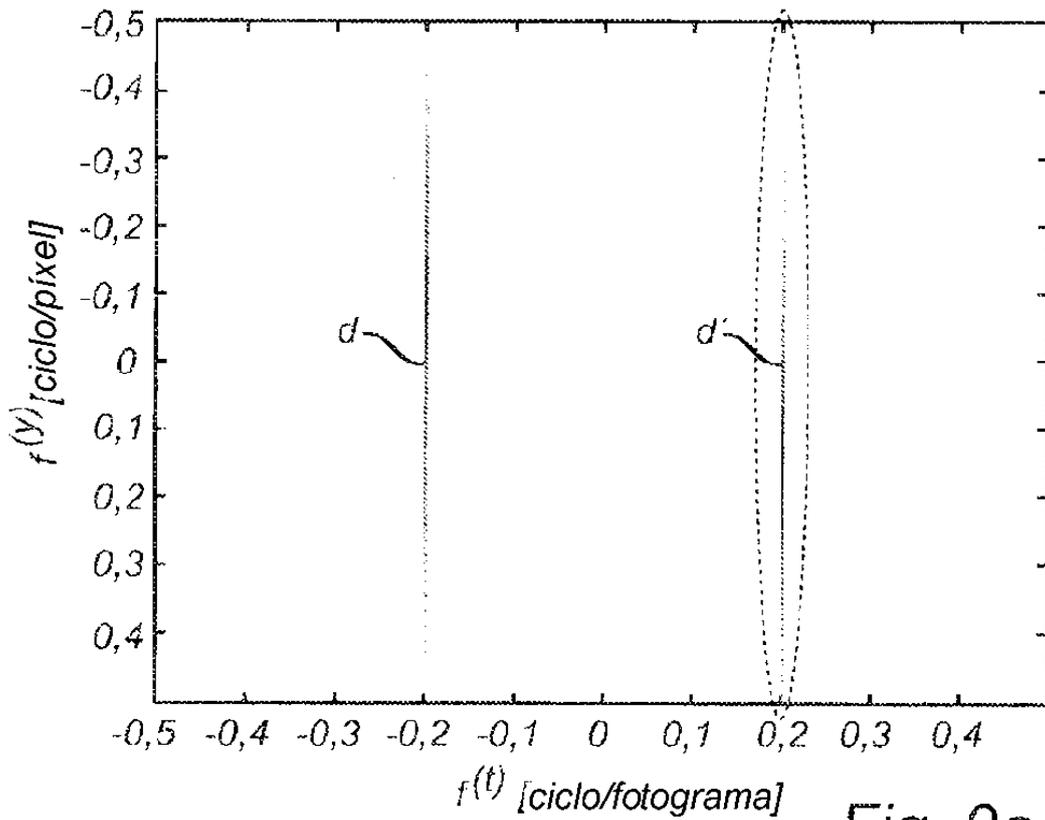


Fig. 9a

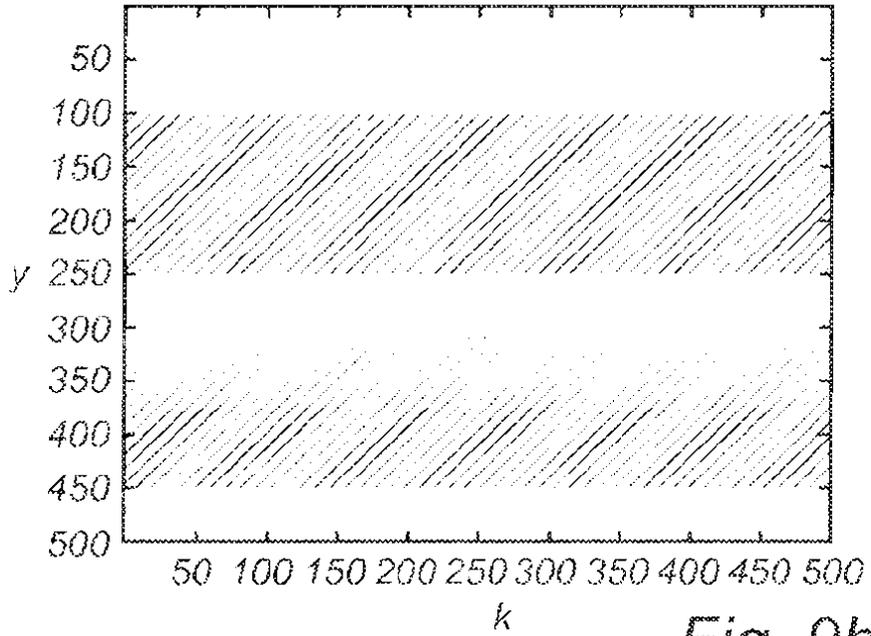


Fig. 9b

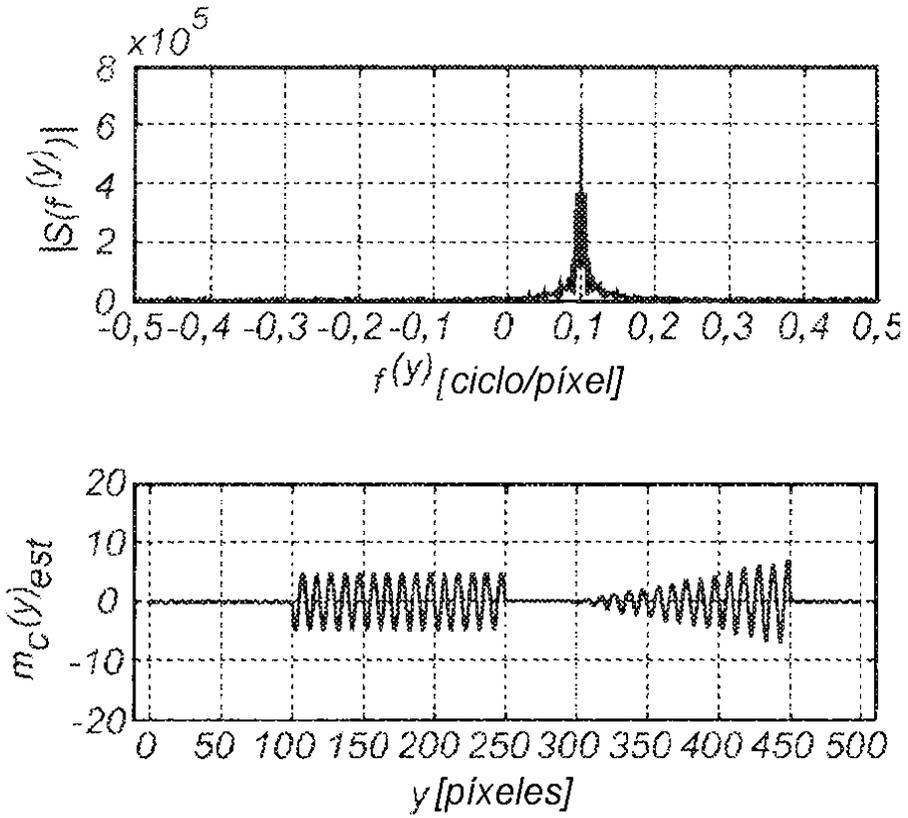


Fig. 9c

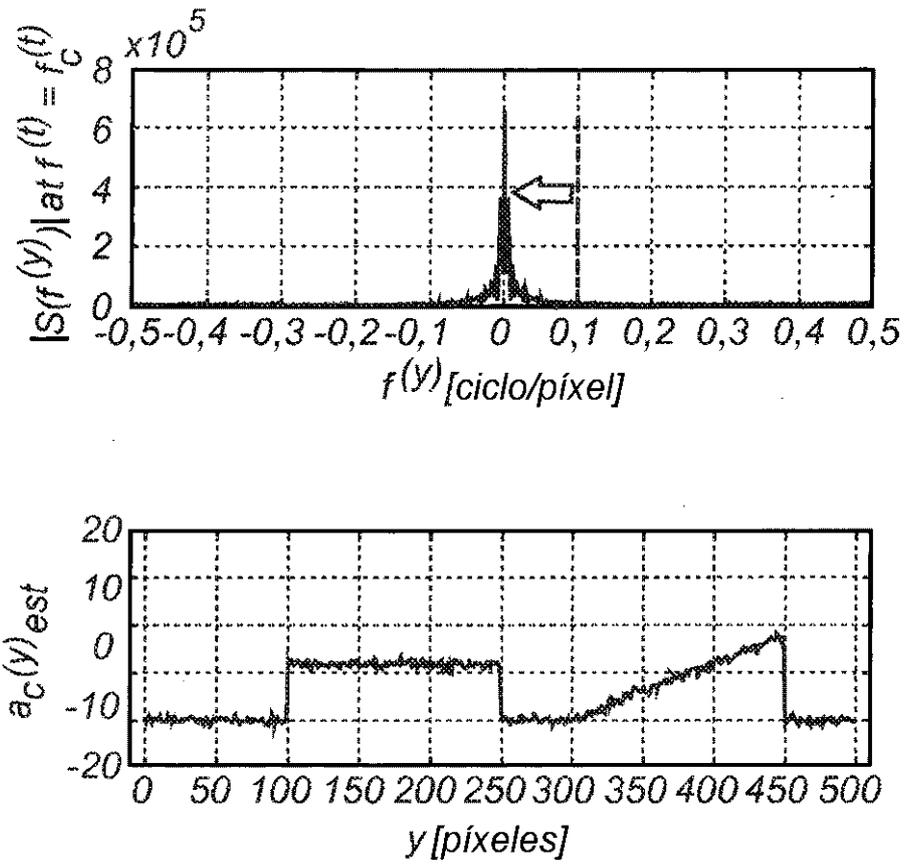


Fig. 9d

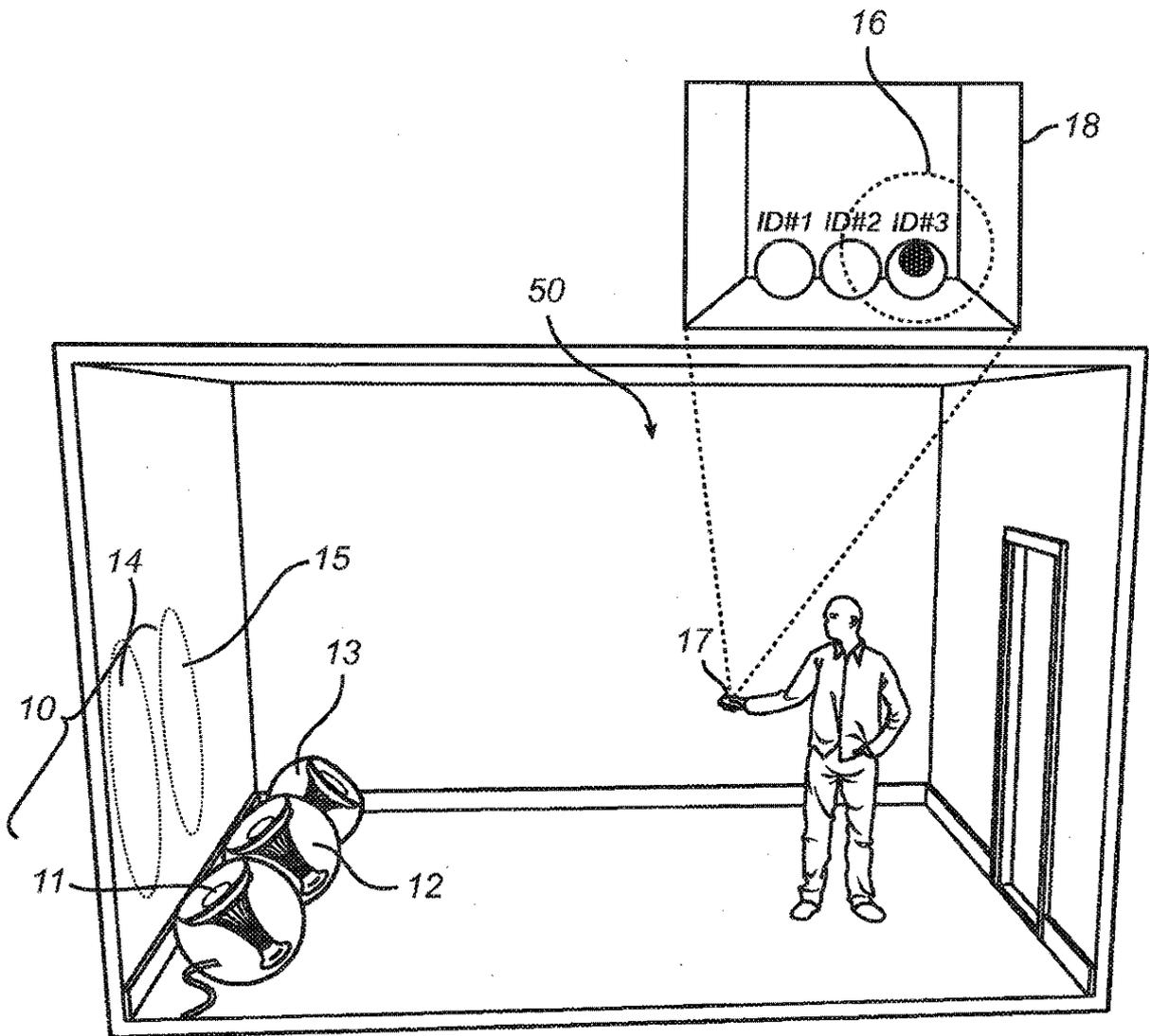


Fig. 10

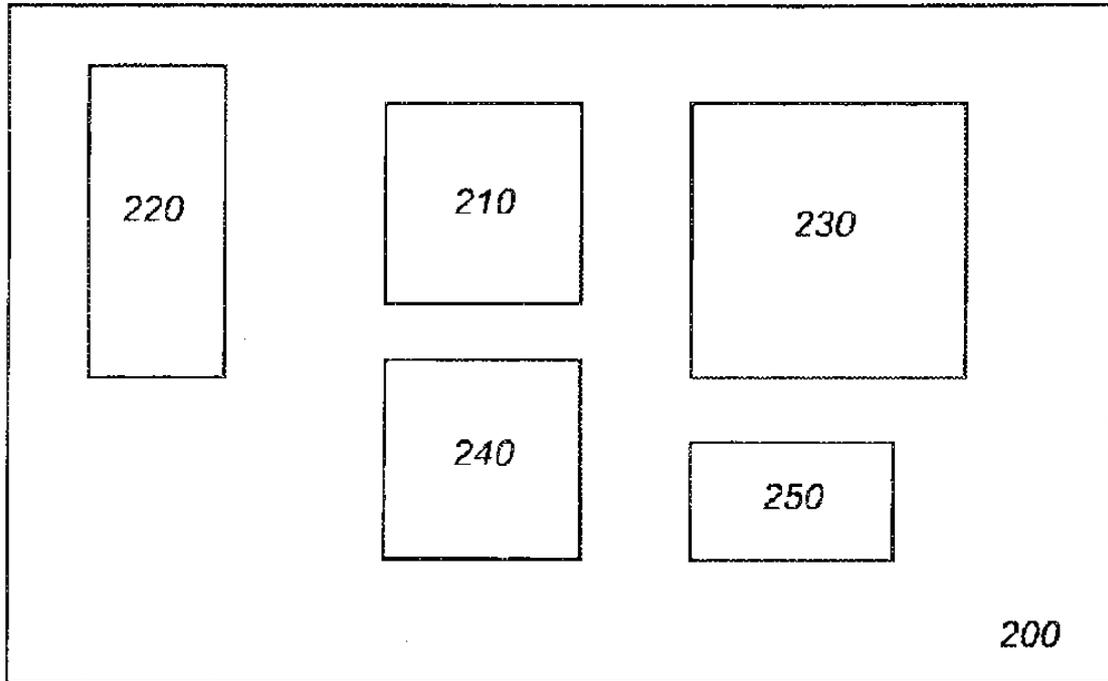


Fig. 11

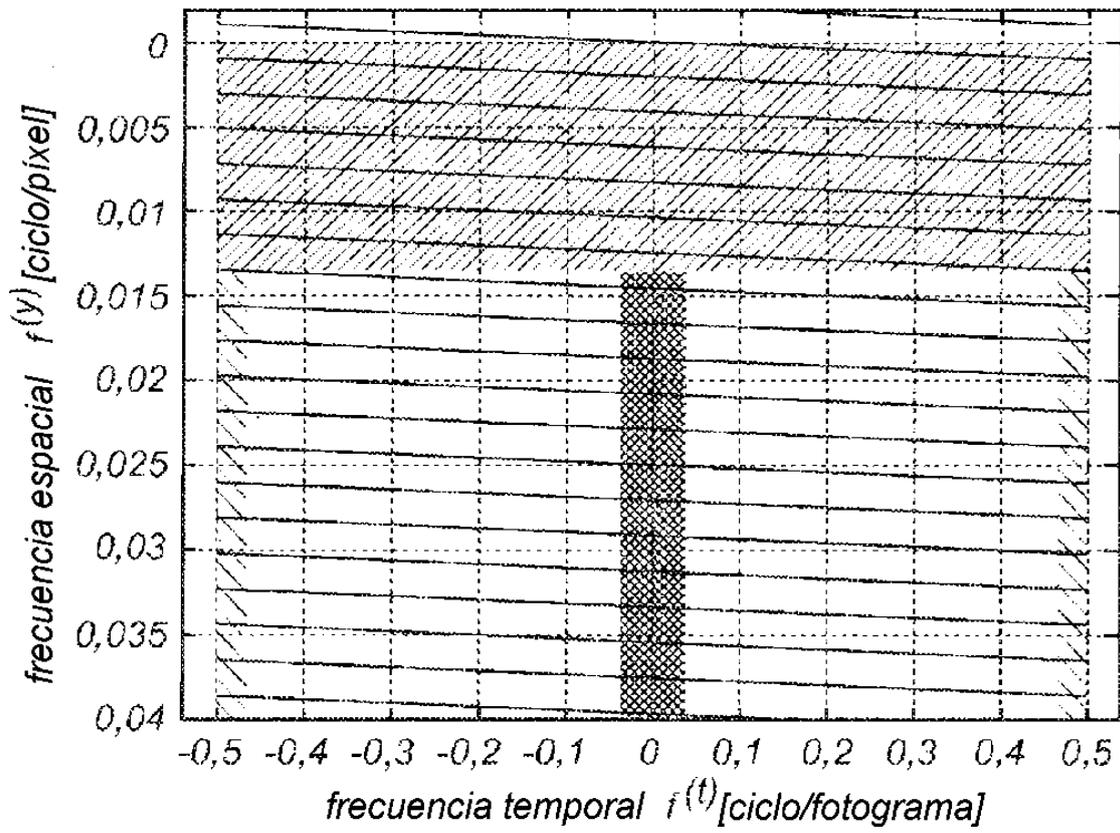


Fig. 12

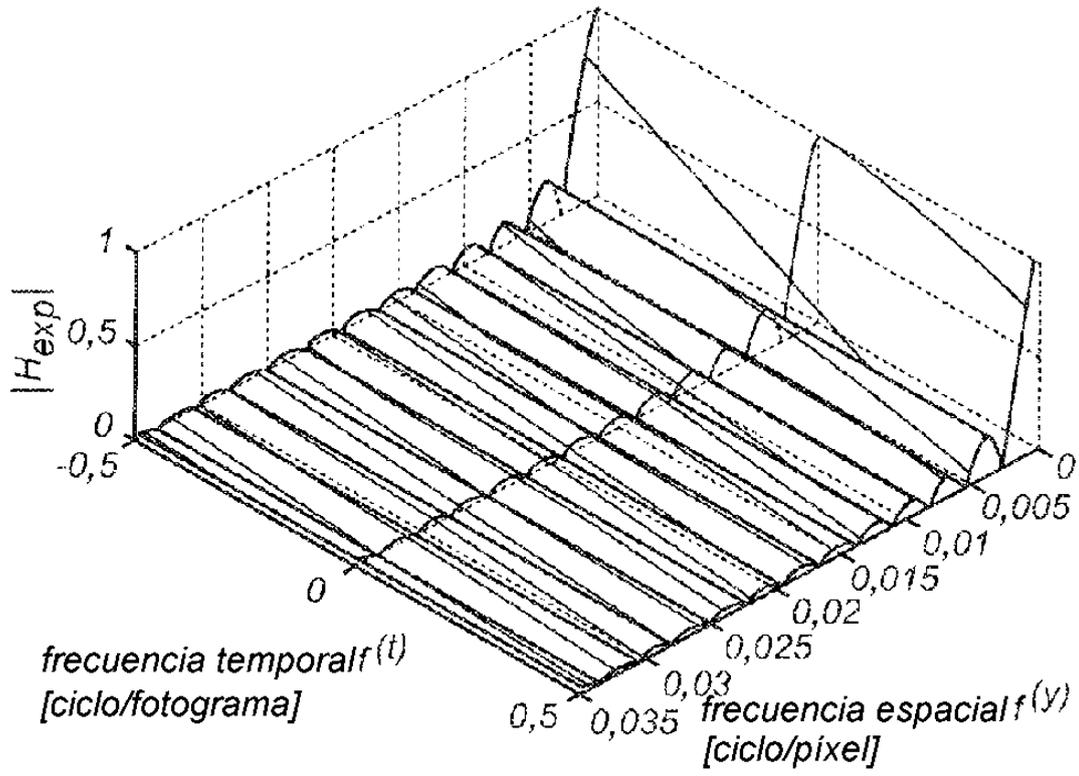


Fig. 13

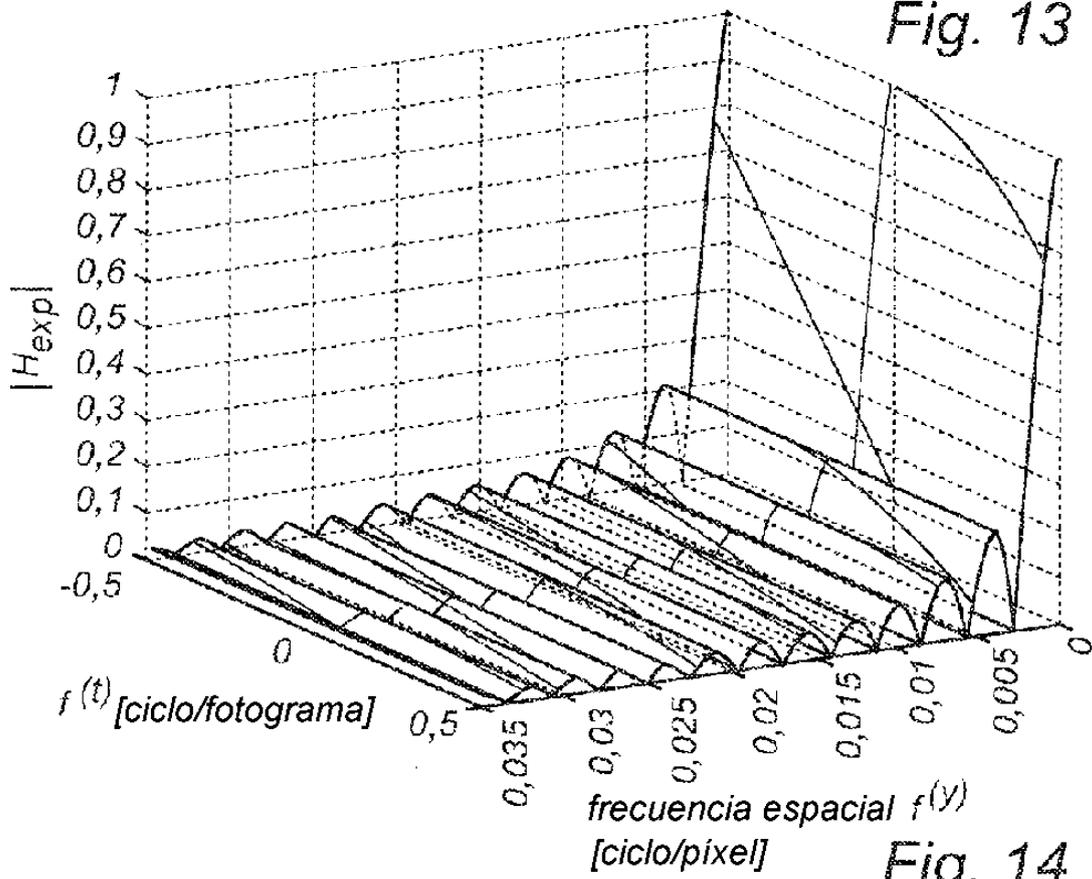


Fig. 14

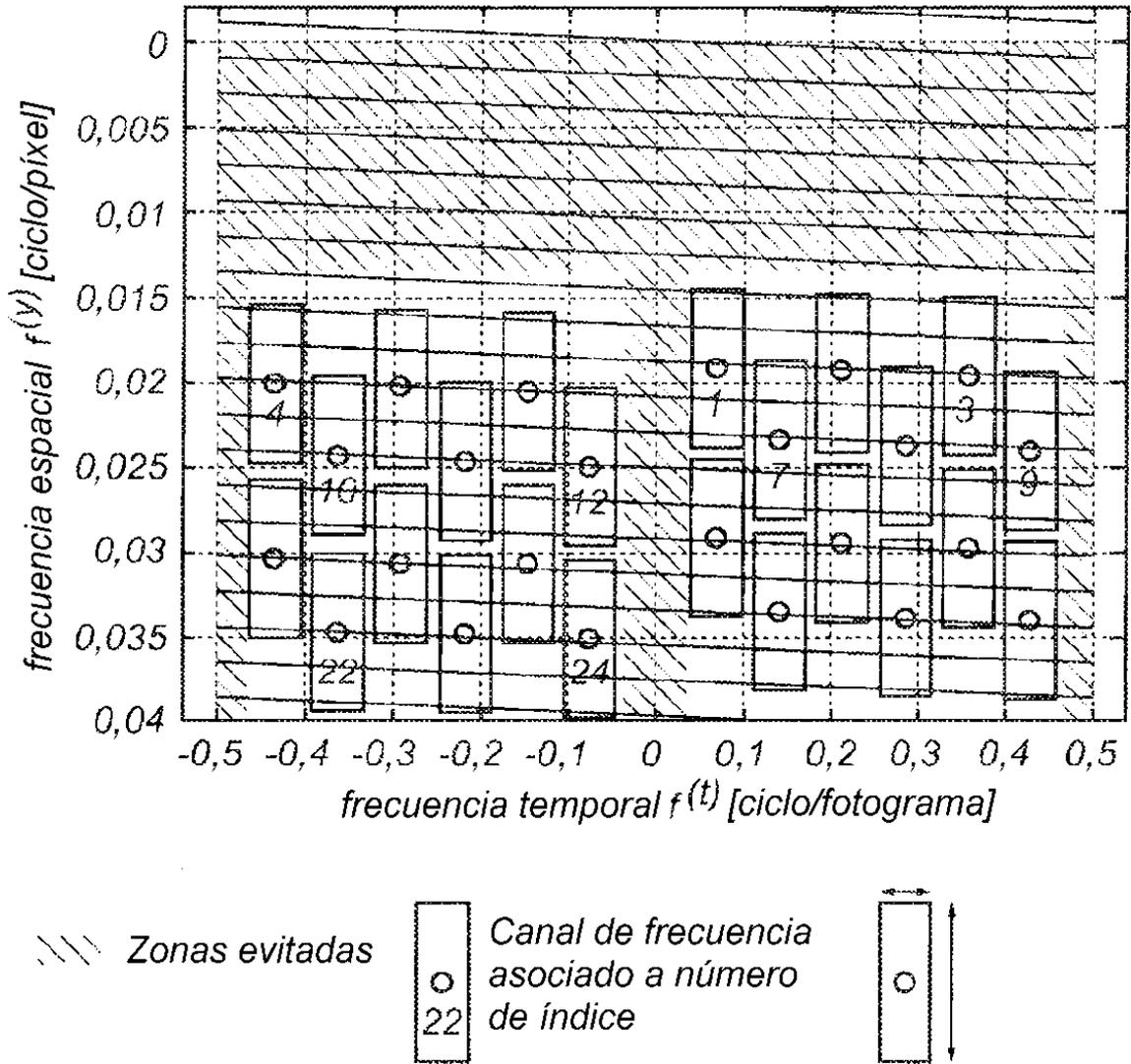


Fig. 15