

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 948 032**

51 Int. Cl.:

**G01S 7/481** (2006.01)

**G01S 7/486** (2006.01)

**G01S 17/894** (2010.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.03.2012 PCT/IB2012/000501**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.09.2012 WO12123809**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2012 E 12712732 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.03.2023 EP 2686701**

54 Título: **Sistema, procedimiento y programa de ordenador para recibir un haz de luz**

30 Prioridad:

**17.03.2011 EP 11002231**

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

**30.08.2023**

73 Titular/es:

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
(100.0%)  
C/Jordi Girona 31  
08034 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**ROYO ROYO, SANTIAGO y  
RIU GRAS, JORDI**

74 Agente/Representante:

**TORNER LASALLE, Elisabet**

ES 2 948 032 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, procedimiento y programa de ordenador para recibir un haz de luz

La presente invención versa acerca de un procedimiento de exploración de una superficie, siendo el haz de luz recibido un haz de luz reflejado en la superficie que ha de ser explorada.

### 5 Técnica antecedente

En la actualidad, existe una amplia gama de campos en los que se aplica una correlación tridimensional y una información para mejorar distintas tecnologías, que son técnicas de generación de vídeo incluyendo información de profundidad, guiado de vehículos mediante la cartografía de la superficie en la que se encuentra el vehículo, la localización de objetos, el control de calidad en un procedimiento de fabricación, etc.

- 10 Una de tales correlaciones tridimensionales utilizada en dichos campos es la exploración de superficies por medio de sistemas basados en técnicas de medición del tiempo de vuelo (conocido como TOF, por sus siglas en inglés), que han sido utilizadas de forma generalizada en el pasado para obtener imágenes con información de profundidad.

- 15 Dichos sistemas basados en técnicas de TOF normalmente implican la implementación de un sistema para transmitir y recibir un haz de luz, para medir distancias desde una superficie. Los primeros sistemas de formación de imágenes basados en TOF utilizaban técnicas de exploración mecánica y comprendían un sistema mecánico responsable de gestionar la transmisión y la recepción del haz de luz en una dirección determinada. En cualquier caso, la medición se basaba en un único punto con un único sensor y se formaba la imagen a partir de una exploración mecánica y la correlación de "medición" y "punto de activación" del haz de luz. Además, la exploración mecánica conllevaba problemas relacionados con la vibración de los componentes del sistema, su menor durabilidad y un gran tamaño.

- 20 A diferencia de los sistemas para recibir un haz de luz utilizado en los sistemas mecánicos descritos, también existen sistemas para recibir un haz de luz basado en conjuntos de sensores de luz.

- 25 Básicamente, existen sistemas de exploración que comprenden un conjunto de sensores de luz de un tamaño específico (n columnas por m filas), que pueden recibir y detectar el reflejo del haz de luz sobre la superficie de una sola vez. Estos sistemas, conocidos como Flash Ladars, utilizan técnicas de medición modulada y/o pulsante de TOF, que son conocidas de forma generalizada. Además, utilizando estos sistemas para obtener una imagen digital, no hay necesidad de llevar a cabo una exploración mecánica de una superficie en dos dimensiones, dado que el propio conjunto define una superficie bidimensional, que al final definirá el tamaño de la imagen.

- 30 Más específicamente, como puede verse en la Figura 1, un sistema para explorar una superficie utilizado normalmente en la actualidad (en este ejemplo, un sistema que utiliza técnicas pulsantes de TOF, aunque también se utilizan las moduladas) comprende un transmisor 1 de haces de rayos láser o LED que transmite un haz 2 de luz a la superficie 3 que ha de ser explorada, siendo reflejado este haz de luz sobre la superficie y siendo recibido por el conjunto de sensores 4 de luz que actúan como un sistema de recepción y que actúan como un detector para determinar el momento de recepción de cada porción del haz 2 de luz. Además, el sistema comprende un divisor 5 de haz que dirige una porción del haz de luz hacia un detector 9 para determinar el momento de inicio de la transmisión del haz de luz, los elementos ópticos requeridos 6, 7 y un dispositivo 8 para contar los valores de TOF (teniendo en cuenta el momento en el que el detector 9 detecta la porción del haz de luz dividido por el divisor 5 del haz) para cada porción del haz de luz recibido por el conjunto de sensores 4 de luz y para determinar la distancia entre el transmisor 1 y la superficie 3 teniendo en cuenta el correspondiente valor de TOF. De esta forma, el sistema permite obtener una imagen digital tridimensional de la superficie explorada.

- 40 En "Real-Time 3D Ladar Imaging" (Cho, Anderson, y otros, LINCOLN LABORATORY JOURNAL, volumen 16, nº 1, 2006) se describe un ejemplo de un sistema que utiliza un dispositivo de técnica pulsante de TOF desarrollado por el MIT. Tal dispositivo de TOF comprende un conjunto de sensores de luz, y utiliza señales pulsantes. Más específicamente, se utiliza un sensor de 32×32 píxeles, que es capaz de llevar a cabo mediciones a una frecuencia de hasta 16 kHz, utilizando una señal con una longitud de onda de 532 nm y una anchura de impulsos de 250 ps.

- 45 Algunos otros ejemplos de fabricantes o equipos de desarrollo que han trabajado con esta tecnología en el pasado y/o que siguen desarrollándola, pero en el campo de las técnicas moduladas son *Mesa Imaging* (una filial del *Centre Suisse d'Électronique et de Microtechnique* (CSEM)), que han diseñado y comercializado una cámara de formación de imágenes TOF; *PMD Technologies* (una filial del *Zentrum für Sensorsysteme* (ZESS)) de la Universidad de Siegen en Alemania, que, de forma similar a CSEM, han desarrollado una cámara de formación de imágenes TOF basada en conjuntos; *Optra* (una filial de *ETRO (Department of Electronics and Informatics)* y de *VUB (Vrije Universiteit Brussel)*), que también han desarrollado una cámara adicional de formación de imágenes TOF basada en conjuntos; y *Canesta Inc.*, una empresa que, desde 2004, ha desarrollado dispositivos de detección utilizados en cámaras de formación de imágenes TOF tales como las descritas anteriormente.

- 55 Sin embargo, estos sistemas de formación de imágenes tienen limitaciones relacionadas con su sistema de recepción, en donde el tamaño de los sensores de luz comprendidos en el conjunto de sensores de luz afecta a la resolución de la imagen de la superficie explorada. Básicamente, dado que el tamaño total de los sensores de luz (dado que es difícil

integrar un sensor y su circuitería en un *chip* de silicio utilizando esquemas microelectrónicos normales) es grande, el número de porciones del haz de luz detectables por el sistema de exploración es bajo (es decir, se pueden diferenciar menos porciones) y, por lo tanto, la resolución espacial de la imagen explorada es baja. Dado que dicha resolución espacial de la imagen digital puede ser crucial cuando se utiliza el dispositivo en campos tales como los de técnicas de generación de vídeo que implican información de profundidad en imágenes de vídeo, el guiado de vehículos o robots por medio de una visión tridimensional, el control de calidad en procedimientos de fabricación, etc..., los sistemas existentes, con menores resoluciones espaciales, pueden no ser adecuados para ser utilizados en dichas aplicaciones, si se requiere una resolución espacial o un rendimiento elevados de un dispositivo existente.

En resumen, los sistemas conocidos de recepción tienen el inconveniente de que el número de porciones del haz de luz recibido por el conjunto de sensores de luz es demasiado pequeño, es decir, procedente de un haz dado de luz y debido al tamaño de los elementos en el conjunto, la cantidad de porciones del haz de luz que los sistemas pueden recibir es demasiado pequeña (dado que cada sensor de luz solo recibe una porción del haz de luz), por lo que la resolución espacial de la imagen explorada es baja. De esta forma, el uso de estos sistemas de recepción está limitado a ciertas aplicaciones e incluso para estas aplicaciones los resultados no son tan buenos como se desearía.

## Sumario de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento de exploración de una superficie que recibe un mayor número de porciones del haz de luz que los procedimientos conocidos descritos anteriormente.

Para lograr lo anterior, la invención, proporciona un procedimiento de exploración de una superficie que tiene las características de la reivindicación 1.

La provisión del conjunto de interruptores de luz pixelada con un mayor número de interruptores que el número de sensores de luz comprendidos en el conjunto de sensores de luz permite recibir un mayor número de porciones del haz de luz. Sin embargo, al mismo tiempo, cuando se combina el interruptor de luz pixelada con un sistema para recibir un haz de luz, la recepción de dicho haz de luz llega a ser muy problemática, dado que el tamaño normal de un píxel de un conjunto puede ser normalmente de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$  (dependiendo del tipo de conjunto), lo que significa que la luz recibida por un único píxel es muy baja, y el dispositivo tendrá que utilizar sensores con una sensibilidad apropiada, para poder detectar un haz de luz con un tamaño correspondiente al tamaño del píxel.

Se puede comprender el conjunto de sensores de luz como un conjunto de cualquier tamaño, incluyendo un conjunto con un único sensor de luz, es decir, un conjunto  $1 \times 1$  de sensores de luz.

Al llevar a cabo el procedimiento propuesto y utilizar dicho sistema para recibir un haz de luz, se puede recibir un mayor número de porciones del haz reflejado de luz según una superficie reflejada, en comparación con procedimientos anteriores que utilizaban un conjunto de sensores de luz sin ningún conjunto de interruptores de luz pixelada. Más específicamente, cuando se transmite y refleja un haz de luz a una superficie, se puede recibir un mayor número de porciones reflejadas del haz de luz, obteniendo, de esta manera, más información acerca de la superficie reflejada que puede ser utilizada en varias aplicaciones, tales como la obtención de una imagen correspondiente a la forma, a la velocidad, al tipo de movimiento, o a otras características de dicha superficie.

Además, la invención divulga un producto de programa de ordenador que comprende instrucciones de programa para provocar que un sistema informático lleve a cabo el procedimiento para recibir un haz de luz descrito anteriormente.

Dicho programa de ordenador puede implementarse en medios de almacenamiento (por ejemplo, en un medio de grabación, en una memoria de ordenador o en una memoria de solo lectura) o estar transportado en una señal de portadora que ha de ser, por ejemplo, descargada desde un ordenador o enviada por un correo electrónico (por ejemplo, en una señal eléctrica u óptica de portadora).

Según una realización preferida de la invención, el procedimiento utiliza un sistema para explorar una superficie, comprendiendo el sistema:

- un primer sistema informático para determinar el valor del tiempo de vuelo de cada porción recibida del haz de luz;
- un segundo sistema informático para determinar un parámetro relacionado con la distancia recorrida por cada porción recibida del haz de luz teniendo en cuenta su valor de tiempo de vuelo determinado por el primer sistema informático;

en el que el parámetro determinado relacionado con la distancia de cada porción del haz de luz es indicativo de un punto espacial de la superficie explorada.

Al utilizar este sistema de exploración, se puede obtener una imagen digital que comprende un conjunto bidimensional de información, definido por el número de interruptores del conjunto de interruptores de luz pixelada, y una tercera dimensión que es el parámetro correspondiente relacionado con la distancia determinada para cada valor del conjunto bidimensional de puntos definido por el conjunto de interruptores de luz pixelada. Dicho parámetro relacionado con la

distancia puede ser un parámetro utilizado para obtener dicha distancia, un parámetro calculado partiendo de la distancia, o el propio valor de la distancia.

5 Dicha imagen digital puede tener, por consiguiente, un mayor número de puntos (una mayor resolución espacial) que una imagen digital obtenida mediante procedimientos y sistemas de la técnica anterior, haciendo que sea útil, por lo tanto, para aplicaciones que demandan un mayor nivel de precisión, tales como el control de calidad en un procedimiento de fabricación, un movimiento guiado por una visión tridimensional, etc.

10 Por otra parte, el primer sistema informático y el segundo sistema informático pueden ser parte de un único sistema informático. Además, el sistema de exploración puede comprender un tercer sistema informático para controlar el conjunto de interruptores de luz pixelada. Este tercer sistema informático también puede ser parte del único sistema informático que puede incluir los sistemas informáticos primero y/o segundo.

Además, la determinación del valor de tiempo de vuelo de cada porción recibida del haz de luz puede llevarse a cabo utilizando cálculos de TOF. Un cálculo tal utilizado normalmente implica el uso de la fórmula:

$$d = (c/2f) * (fase/2 * \pi)$$

$c$  = velocidad de la luz;

15  $f$  = frecuencia de modulación de la luz (un caso típico es un valor de 20MHz);

fase = fase de la señal recibida.

La anterior fórmula es una fórmula general que puede ser modificada dependiendo de las técnicas de modulación utilizadas para el cálculo. Por ejemplo, si se utiliza una técnica pulsante, la fórmula es:

$$d = c * t;$$

20 cuando se cuenta el tiempo de desplazamiento de un impulso de luz y " $c$ " es la velocidad de la luz.

25 Los sensores de luz comprendidos en el conjunto de sensores de luz son sensores de fotodiodos, tales como sensores de tipo APD (fotodiodos de avalancha, por sus siglas en inglés), sensores de tipo SPAD (fotodiodos de avalancha de fotón único, por sus siglas en inglés), sensores de tipo SiPM (fotomultiplicadores de silicio, por sus siglas en inglés) o sensores de tipo MPPC (contador de fotones de múltiples píxeles, por sus siglas en inglés) y PMT (tubo fotomultiplicador, por sus siglas en inglés) o cualquier otro tipo de dispositivo adecuado o similar de detección de luz.

30 Además, para un rendimiento óptimo, puede tener que garantizarse que los sensores estén aislados de forma apropiada de luces externas, dado que los haces de luz redirigidos por el conjunto de interruptores de luz pixelada tienen una potencia muy baja y su detección puede ser distorsionada con facilidad por una luz ambiental normal. Además, los sensores tendrían que ser implementados de tal forma que se optimice la relación señal/ruido, teniendo en cuenta su baja potencia.

Además, para un rendimiento apropiado y para evitar mediciones distorsionadas por otras señales, los sistemas informáticos pueden tener que ser capaces de procesar señales con un ancho de banda ancha, minimizando, de esta manera, el efecto de las capacitancias parásitas, para poder evitarlos y cualquier otro efecto de inestabilidad.

35 Un ejemplo de tal efecto sería que las señales típicas que han de ser detectadas por los sensores de luz serían señales con retrasos del orden de 30 ps, haciendo, por lo tanto, que sea importante utilizar electrónica que no distorsione una señal tan precisa.

40 Según una realización preferida, la fuente de luz está adaptada para generar un haz de luz pulsante para técnicas pulsantes de cálculo de TOF. Más específicamente, al utilizar un haz de luz pulsante, se pueden establecer el momento cuando se transmite el haz de luz pulsante, y el momento de inicio de la transmisión del haz de luz, utilizados para determinar los valores de tiempo de vuelo, utilizando cualquier característica relacionada con la forma de la señal, tal como un primer ascenso del impulso cuando es transmitida por vez primera, o un primer descenso del impulso cuando es transmitida por vez primera. Además, se puede obtener el momento de recepción de una porción del haz de luz mediante el conjunto de sensores de luz (o mediante el conjunto de interruptores de luz pixelada) por medio de una característica correspondiente relacionada con la forma de la señal, de una forma análoga a la utilizada para obtener el momento de la transmisión.

45 Una alternativa a dicha detección del ascenso o descenso de un impulso puede ser el uso de un circuito discriminador de fracción constante (CFD, por sus siglas en inglés), que tiene en cuenta toda la duración de un impulso en vez del ascenso o del descenso. Estos tipos de circuitos pueden ser más eficaces dado que evitan los problemas generados por la necesidad de mantener un nivel constante y óptimo de umbral cuando se detectan ascensos o descensos, 50 requeridos cuando se utilizan otras técnicas de detección.

De forma alternativa, la fuente de luz puede estar adaptada para generar un haz de luz modulada para técnicas moduladas de cálculo de TOF. Por lo tanto, una simple detección de una fase predeterminada de la porción recibida de haz de luz es suficiente para detectar el valor del tiempo de vuelo de la porción correspondiente del haz de luz.

Según una realización adicional, la fuente de luz comprende un primer elemento para adaptar y ensanchar el alcance del haz de luz para alcanzar un área más amplia. Dicho elemento puede ser un elemento óptico tal como una lente óptica o un conjunto de lentes ópticas, dispuesto delante de la salida de la fuente de luz de tal forma que ensancha el alcance del haz de luz emitido transmitido hacia una superficie, permitiendo, de esta manera, que el haz de luz alcance un área más amplia y no un área pequeña o un único punto. Esto es útil dado que, si se puede obtener una imagen digital de una superficie, las porciones reflejadas de un haz de luz pueden ser reflejadas en varios puntos distintos de dicha superficie para que la imagen se corresponda con la superficie.

Además, el elemento óptico puede ser importante cuando se utilizan fuentes de luz que emiten haces estrechos de luz, tales como láseres, que de lo contrario solo alcanzarían un área muy pequeña de la superficie de la que se han de formar imágenes.

Además, los elementos ópticos pueden ser amovibles de tal forma que puedan dirigir la salida de la fuente de luz hacia distintas zonas, permitiendo, de esta manera, que se lleve a cabo una exploración de superficies más amplias moviendo la fuente de luz varias veces y haciendo que el haz de luz se refleje en distintas áreas de una superficie (por ejemplo, las lentes pueden girar horizontalmente, verticalmente, etc.).

Según otra realización más, el sistema de exploración comprende, además, un segundo elemento para generar una imagen de la superficie en el conjunto de interruptores de luz pixelada. Además, el sistema de exploración puede comprender un tercer elemento para enfocar cada porción del haz de luz recibido en el conjunto de interruptores de luz pixelada, sobre el conjunto de sensores de luz.

Para un rendimiento óptimo, la tercera lente tiene que ser muy precisa cuando se enfoca cada porción del haz de luz sobre el conjunto de interruptores de luz pixelada, debido al pequeño tamaño de los píxeles del conjunto, y también puede tener que poder enfocar de forma apropiada para la luz procedente de un amplia gama de distancias.

De una forma análoga, como en el caso del elemento óptico descrito anteriormente, los elementos segundo y tercero pueden ser un elemento óptico (tal como una lente o un conjunto de lentes) que, en el caso del segundo, dirige las porciones entrantes del haz de luz reflejado sobre la superficie, hacia el conjunto de interruptores de luz pixelada, y en el caso del tercero, enfoca cada porción del haz de luz reflejado por el conjunto de interruptores de luz pixelada hacia el conjunto de sensores de luz.

Además, dicho segundo elemento puede ser implementado de una forma similar que los dispositivos de zum encontrados en cualquier cámara analógica o digital, permitiendo, de esta manera, enfocar y cerrar o abrir zum para determinar de qué parte de la superficie se desea obtener una imagen digital. Además, este segundo elemento puede tener, como en el caso anterior, una parte amovible para dirigir el elemento hacia una superficie.

Según la invención, el conjunto de interruptores de luz pixelada es un dispositivo de tipo MEMS, en concreto un dispositivo digital de microespejos (DMD, por sus siglas en inglés). El componente del DMD es parte de la tecnología conocida como DLP (proyección digital de luz, por sus siglas en inglés) que ha sido desarrollada por Texas Instruments desde finales de la década de 1980. Un DMD comprende un conjunto o matriz de microespejos que puede ser desviado eléctricamente por medio de un dispositivo programado (por ejemplo, el tercer sistema informático descrito anteriormente) conectado con el DMD. Dicho DMD ha sido utilizado anteriormente en el campo de proyección de imágenes digitales, desviando una fuente de luz para proyectarla en una pantalla.

Mediante el uso de un DMD, se logra una resolución mucho mayor cuando se intenta determinar una pluralidad de TOF desde una superficie, para obtener una imagen tridimensional de dicha superficie reflectante. Además, al utilizar un DMD, la invención puede ser más fiable ante posibles averías y puede tener una mayor durabilidad, dado que los microespejos comprendidos en el mismo son accionados electrónicamente, y tiene una mayor resistencia que los dispositivos mecánicos de exploración.

De forma alternativa, el conjunto de interruptores de luz pixelada puede comprender una pantalla de cristal líquido o espejos deformables. En el caso de una pantalla de cristal líquido, una opción puede ser una pantalla tal como una pantalla de LCOS.

Una pantalla de LCOS™ o LCoS™ (cristal líquido sobre silicio, por sus siglas en inglés) comprende una tecnología reflectante de “microproyección” o “micropantalla” similar a la tecnología de proyectores DLP. Sin embargo, utiliza cristales líquidos en vez de espejos individuales, pudiendo los píxeles desviar, transmitir o absorber luz entrante en una dirección dada. De esta manera, tal dispositivo permite iluminar de forma selectiva al menos un píxel de la pantalla y dirigir a una dirección dada, la luz que llega al píxel, llevándose a cabo tal control de forma electrónica. Otro tipo de pantalla de cristal líquido puede ser adecuado para ser utilizado, tal como las transmisivas (por ejemplo, los cristales líquidos nemáticos de material trenzado), o las ferroeléctricas (por ejemplo, los cristales líquidos ferroeléctricos (FLC, por sus siglas en inglés), los FLC estabilizados en superficie, y uno de los más utilizados de forma generalizada en la

actualidad, los FLCOS (cristales líquidos ferroeléctricos sobre silicio)) que son todas adecuadas para ser utilizadas en la invención.

Los sistemas microelectromecánicos o MEMS (por sus siglas en inglés) utilizan una tecnología de dispositivos mecánicos muy pequeños accionados por electricidad, que están compuestos de componentes con un tamaño entre 1 y 100 micrómetros. La ventaja de utilizar dispositivos MEMS se deriva de que el único accionamiento que debe realizarse es un accionamiento eléctrico, y la escala de los dispositivos MEMS permite llevar a cabo una determinación de un tiempo de vuelo con mayor detalle o resolución espacial, determinando porciones más pequeñas de haz de luz reflejado sobre la superficie, lo que puede ser útil para aplicaciones tales como, por ejemplo, la obtención de imágenes digitales de la superficie reflectante.

El parámetro relacionado con la distancia puede ser un parámetro (tal como la velocidad) que es utilizado para obtener la distancia real, un parámetro calculado a partir de la distancia o, por ejemplo, el valor de la propia distancia.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirán realizaciones particulares de la presente invención a modo de ejemplos no limitantes, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es una representación esquemática de un sistema para explorar una superficie, según el estado de la técnica;

la Figura 2 es una representación esquemática de un sistema para explorar una superficie; y

la Figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento para explorar una superficie, según la invención.

Descripción detallada de realizaciones de la invención

Se describirá un sistema 20 para explorar una superficie 28 y obtener una imagen digital de dicha superficie por medio de las figuras adjuntas, en las que la Figura 2 representa el sistema 20 para explorar una superficie 28, que comprende una fuente de luz en forma de un transmisor 22 de haz pulsante de rayos láser, tal como un láser pulsante de Nd:YAG.

El transmisor 22 de rayos láser comprende un primer conjunto de lentes 23, que es mostrado de tal forma que, cuando el láser 22 transmite una señal de haz de luz pulsante, las lentes ensanchan el alcance del haz de rayos láser, alcanzando, de esta manera, una superficie amplia en vez de un punto enfocado, como hacen normalmente los láseres.

Además, el sistema comprende un sistema para recibir un haz 21 de luz que comprende un conjunto de interruptores de luz pixelada, que es un dispositivo 24 de DMD™ (dispositivo digital de microespejos), como los fabricados por Texas Instruments; un conjunto de sensores de fotodiodos de avalancha en modo Geiger 26 para detectar haces de luz; y un segundo conjunto de lentes 25 mostrado delante de la superficie del DMD 24. Dichos elementos son mostrados siguiendo la generación de una imagen de la superficie observada del DMD.

Dichos conjuntos primero y segundo de lentes 23 y 25 comprenden, además, medios para abrir y cerrar su alcance óptico y, por lo tanto, para ser capaces de dirigir más o menos haces entrantes de luz al dispositivo, hacia los interruptores del DMD 24, de la misma forma que trabaja el objetivo de una cámara fotográfica o de vídeo. De esta forma, se crea una imagen en la superficie del DMD, que ha de ser utilizada para obtener una imagen de la superficie observada del DMD (que puede ser, por ejemplo, una imagen topográfica o una imagen tridimensional).

Dicho DMD comprende una pluralidad de "píxeles" definidos por una pluralidad de microespejos controlados electrónicamente que son adecuados para recibir las porciones reflejadas de haces de luz en su superficie y desviar un haz de luz recibido girando unos grados; la posición relativa del DMD y el conjunto de fotodiodos es tal que, cuando se desvía un microespejo del DMD, conduce su porción correspondiente de haz de luz hacia uno de los fotodiodos de dicho conjunto.

Más precisamente, los microespejos tienen al menos dos posiciones de desviación, teniendo cada una un ángulo tal que la primera desvía el haz entrante de luz hacia al menos uno de los sensores de fotodiodos de avalancha comprendidos en el conjunto de fotodiodos 26, y un segundo ángulo que desvía un haz entrante de luz hacia una posición de absorción, garantizando que no es dirigido hacia ninguno de los fotodiodos.

Además, un tercer conjunto de lentes 29 está dispuesto entre el DMD 24 y el conjunto de sensores 26 de fotodiodos de avalancha, que es regulado de tal forma que, cuando cualquier microespejo sea desviado hacia el conjunto 26, el haz entrante de luz sea dirigido correctamente hacia un fotodiodo del conjunto 26.

Además, el dispositivo DMD 24 comprende un número de microespejos que es mayor que el número de fotodiodos del conjunto de fotodiodos.

Además, existen distintos dispositivos de tipo DMD en el mercado que pueden ser adecuados para ser utilizados con la presente invención, cada uno variando varias características, que afectan a su resolución espacial, que pueden

variar entre 0,7 y 2 megapíxeles. Por lo tanto, una imagen obtenida utilizando un dispositivo de tipo DMD puede tener una resolución de hasta 1920×1080 puntos, delante de un conjunto típico de 176×144 puntos (es decir, una imagen con 25344 píxeles) encontrado normalmente en el mercado.

5 Otras características son bastante similares: por ejemplo, una gran cantidad de dispositivos DMD tienen una velocidad de transmisión de imágenes estándar de 32,552 Hz y una inclinación de microespejos de hasta +/- 12°.

Una característica importante adicional es el "factor de relleno", que está relacionada con el espacio entre microespejos, que, en la presente realización, es de aproximadamente un 91%, correspondiente a un espacio de 10,8 um o más entre microespejos.

10 Además, se muestra un elemento absorbedor 27 de tal forma que, cuando no se utiliza un interruptor del DMD, desvía su porción entrante correspondiente de haz de luz hacia dicho absorbedor, que evita la interferencia con la porción del haz de luz que está siendo dirigido hacia los sensores de luz por medio de otro interruptor del DMD.

El sistema también comprende un controlador informático 30 tal como un dispositivo de FPGA, que comprende varios módulos utilizados para obtener la imagen digital de la superficie en la que se ha reflejado el haz de luz.

15 La FPGA 30 lleva a cabo el control total del sistema, coordinando todas las distintas partes del mismo, tal como la transmisión del láser, y el funcionamiento de la parte de recepción del sistema, controlando los distintos elementos tales como el DMD y el conjunto de fotodiodos, y las señales enviadas y recibidas procedentes de los mismos, por medio de distintos módulos comprendidos en la propia FPGA.

20 Un módulo informático de la FPGA es el módulo 31 de control de la recepción, que está conectado con el DMD y el conjunto de fotodiodos, para controlar electrónicamente sus movimientos, obteniendo señales procedentes de los mismos, etc. Por ejemplo, la desviación de los microespejos y la obtención de la señal de detección procedente del conjunto de fotodiodos cuando el haz desviado de luz incide sobre un fotodiodo, son llevados a cabo por medio de dicho módulo 31 de control de la recepción. Es importante resaltar que el conjunto de fotodiodos puede estar conectado directamente o no con la FPGA. Por ejemplo, se puede proporcionar electrónica analógica de detección de impulsos entre la FPGA y el conjunto de fotodiodos para adaptar las señales enviadas entre los mismos.

25 Un segundo módulo informático es el módulo 32 de cálculo de TOF (tiempo de vuelo), que determina el valor del tiempo de vuelo de cada porción del haz de luz que llega a cada microespejo del DMD, detectándolo a través de un fotodiodo del conjunto de fotodiodos 26 utilizando una técnica conocida de forma generalizada que implica calcular el instante cuando se transmite el haz de la señal pulsante de rayos láser y la llegada de la porción correspondiente del haz de luz que ha sido reflejado sobre la superficie, detectando el ascenso de uno o varios impulsos de la señal pulsante recibida de rayos láser.

30 Un módulo informático adicional comprendido en la FPGA es el módulo 33 de formación de imágenes, que, en función del TOF calculado de cada punto del DMD (es decir, de cada porción del haz de luz recibido en su microespejo correspondiente), calcula la distancia recorrida por cada porción del haz de luz y la utiliza para determinar el eje Z de una imagen digital.

35 Dicha imagen digital de la superficie reflejada es obtenida reuniendo la información correspondiente a los ejes X e Y, determinada por el tamaño de la superficie del DMD y la cantidad de microespejos que comprende, obteniendo, de esta manera, una imagen digital bidimensional de la superficie, y añadiendo el tercer componente, en el eje Z, utilizando las distintas distancias recorridas por las distintas porciones del haz de luz reflejado por la superficie, que han llegado al sistema a través del DMD y del conjunto de fotodiodos, obteniendo, al final, una imagen digital tridimensional de la superficie reflejada con componentes X, Y y Z.

40 Según la invención, según se ilustra en la figura 3, el sistema descrito anteriormente es capaz de llevar a cabo el procedimiento de exploración de una superficie, que comprende:

- (101) seleccionar un primer microespejo del DMD;
- 45 - (102) transmitir, por medio del transmisor 22 de rayos láser, una señal láser pulsante a la superficie que ha de ser explorada;
- (103) recibir porciones del haz de luz en el dispositivo DMD 24, a través del segundo conjunto de lentes 25, siendo reflejadas las porciones del haz de luz por la superficie que ha de ser explorada;
- 50 - (104) desviar una porción del haz de luz hacia el conjunto de fotodiodos 26, desviando el microespejo seleccionado del dispositivo DMD 24;
- 55 - (105) calcular el valor del tiempo de vuelo de la porción desviada del haz de luz, siendo detectada la porción del haz de luz por un fotodiodo del conjunto de fotodiodos 26;

- (106) determinar, a partir del tiempo calculado de vuelo, un valor Z para un píxel de un patrón de exploración correspondiente al microespejo desviado;
- (107) verificar si todos los microespejos del DMD han sido desviados;

5 en el caso de un resultado negativo, seleccionar un microespejo adicional del dispositivo DMD 24 y regresar a la etapa (102);

- (108) obtener una imagen digital a partir de los valores X, Y y Z comprendidos en el patrón de exploración.

10 En la etapa (102), el láser transmite una señal pulsante de cientos o miles de picosegundos y una potencia máxima de algunos kW, que está adaptada, y su alcance ensanchado por el conjunto de lentes 23 dispuesto delante de la salida del láser, para alcanzar un área adicional de la superficie que ha de ser explorada.

15 Un ejemplo de tal láser puede ser una fuente compacta de rayos láser que genera radiación de la región Eyesafe de longitud de onda cercana a  $1,55\ \mu\text{m}$ , tal como la descrita en "Eyesafe microchip laser for laser range finder application" de *Do-Hyun Park y otros*. Tal fuente de rayos láser puede ser útil en varias aplicaciones que implican la exploración de una persona o un animal, dado que puede evitar cualquier lesión física en los ojos de la persona o del animal, causada normalmente por un láser normal.

Entonces, cuando se refleja el haz de luz sobre la superficie y llega al receptor, en la etapa (103), el segundo conjunto de lentes 25 redirige las porciones entrantes del haz de luz hacia la superficie del DMD 24, que, según se ha descrito en la etapa (104), desvía secuencial e individualmente sus microespejos, redirigiendo las porciones entrantes del haz de luz hacia el conjunto de fotodiodos 26, para cada microespejo del DMD.

20 En este ejemplo, solo se utiliza un fotodiodo para detectar cada porción desviada de haces de luz, pero pueden existir otras alternativas. Por ejemplo, se puede utilizar más de un fotodiodo para detectar las porciones desviadas del haz de luz. En tal caso, el hecho de que haya un mayor número de microespejos que fotodiodos permite que el sistema, cuando se redirigen secuencialmente las porciones del haz de luz desde los microespejos hasta los fotodiodos, redirija los haces de luz a cada fotodiodo, obteniendo una mayor resolución espacial (un mayor número de microespejos) utilizando menos fotodiodos para detectar todos los haces entrantes de luz.

Una alternativa adicional puede ser que se utilice más de un fotodiodo y que puedan detectar porciones del haz de luz en paralelo. Esto permite desviar un subconjunto de microespejos del dispositivo DMD de una vez, utilizando, de esta manera, los fotodiodos en paralelo, detectando cada fotodiodo una porción del haz de luz reflejado por cada microespejo desviado.

30 Por lo tanto, para obtener la misma resolución espacial sin el DMD, es decir, utilizando un dispositivo con una detección directa de las porciones del haz de luz por medio del conjunto de fotodiodos, se tendría que utilizar un mayor número de fotodiodos, haciendo el tamaño del dispositivo mayor de lo que lo es el dispositivo de la presente invención (que comprende el DMD y menos fotodiodos).

35 Después, cada sensor detecta el haz desviado de luz, produciendo una señal que es transmitida a la FPGA, en la que, en función del instante cuando se transmitió el haz de luz, y su instante de llegada, se determina el valor del TOF de cada porción correspondiente del haz de luz.

40 Más precisamente, según la presente realización de la invención, la FPGA ha almacenado anteriormente (en el momento de la transmisión) el instante cuando se ha transmitido la señal pulsante de láser, siendo dicho instante el momento cuando se ha transmitido el ascenso del primer impulso. Entonces, se puso en marcha un contador de tiempo en el instante de dicho ascenso, y cuando se detecta la llegada del haz reflejado de luz, por medio del contador de tiempo, se determina el lapso entre dicho instante de transmisión y el instante de llegada del impulso correspondiente.

45 En cuanto a la velocidad del cálculo de los TOF, la elevada velocidad de transmisión de imágenes de los dispositivos DMD descritos implica que el sistema tiene una velocidad de cálculo aproximada de 32 kHz, lo que permite llevar a cabo hasta 32K mediciones por segundo, con una resolución espacial de hasta 2 megapíxeles, como se ha descrito anteriormente. Sin embargo, si se utiliza más de un sensor de luz en paralelo para detectar haces entrantes de luz, se pueden llevar a cabo más mediciones en menos tiempo (por ejemplo, si se utilizan 4 sensores en paralelo, se pueden llevar a cabo 128K mediciones por segundo).

50 Entonces, utilizando técnicas comunes de cálculo de la distancia en función de cálculos del tiempo de vuelo, se determina un valor  $Z_i$  de distancia para cada valor calculado de TOF, correspondiente a cada porción del haz de luz reflejado por cada microespejo del DMD.

Cuando se obtiene la imagen digital a partir de uno o más patrones de exploración, comprendiendo la imagen valores X, Y y Z, estos valores pueden ser representados relacionados o no con valores físicos (metros, pies, etc.).

Los valores X e Y pueden representarse de tal forma que, teniendo en cuenta los conjuntos primero y/o segundo de lentes 23 y 25, se puede determinar un valor real en metros/pies/otro entre píxeles de la imagen digital, pero en algunos casos, solo puede ser preciso el valor "real" del eje Z, haciendo, por lo tanto, innecesario cualquier cálculo para determinar la escala de la imagen correspondiente a longitudes reales.

- 5 Además, se pueden determinar los valores reales del eje Z de las imágenes mediante el cálculo normal del tiempo de vuelo más cálculos adicionales, pero a veces, dependiendo de la aplicación, solo pueden ser precisas las diferencias entre valores, no determinando, por lo tanto, los valores reales de distancias entre el sistema y cada punto de la imagen, sino la relación entre cada punto de la imagen digital.

- 10 Aunque solo se han divulgado en la presente memoria un número de realizaciones y ejemplos particulares de la invención, los expertos en la técnica comprenderán que son posibles otras realizaciones y/o usos alternativos de la invención y evidentes modificaciones y equivalentes de los mismos. Además, la presente invención abarca todas las posibles combinaciones de las realizaciones particulares descritas.

- 15 En lo que precede, se ha descrito una implementación específica de la invención que utiliza una transmisión y una recepción de señal de luz pulsante, pero una implementación alternativa también puede comprender una transmisión y una recepción de señal de luz modulada.

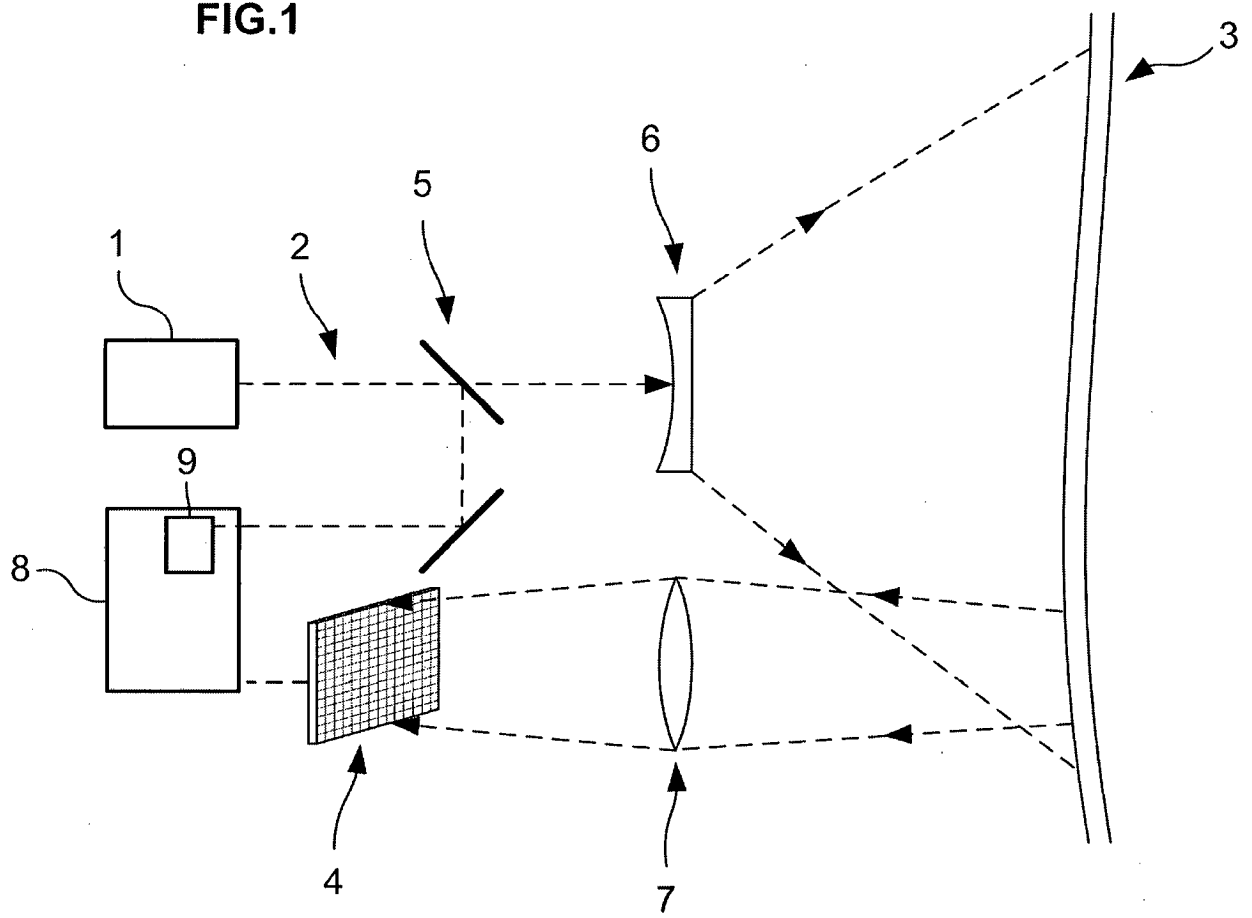
En ese caso, la transmisión y la recepción, como se ha descrito en el resumen de la invención, serían distintas, para detectar una señal modulada (por ejemplo, al detectar la recepción de la fase específica de la señal, en vez de, por ejemplo, la detección de un ascenso o descenso de la señal pulsante, según se ha descrito anteriormente).

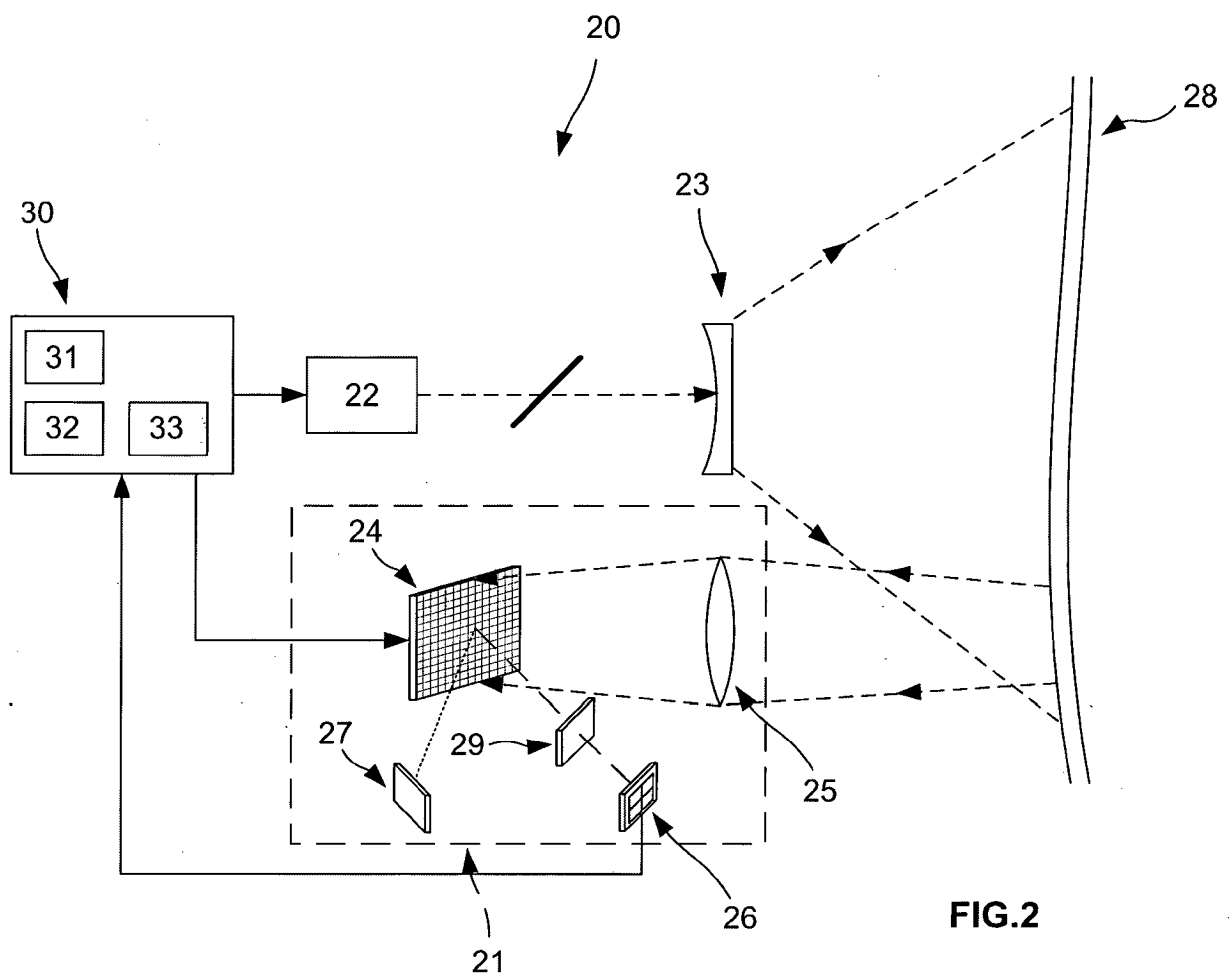
- 20 Aparte de dicha transmisión y dicha detección, el dispositivo podría funcionar de la misma forma que en la realización descrita que comprende una transmisión y una recepción de señal modulada, dado que los tiempos de vuelo, las distancias y los valores X, Y y Z necesarios para obtener una imagen, pueden obtenerse utilizando los cálculos correspondientes en ambos casos.

## REIVINDICACIONES

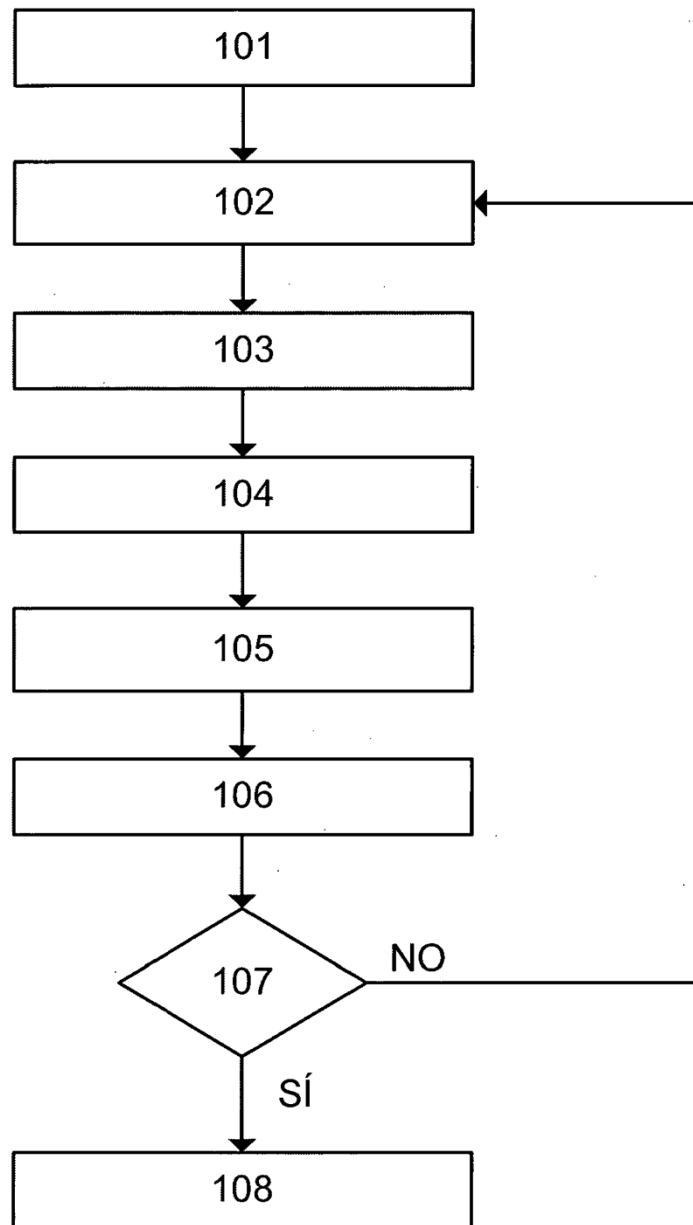
1. Un procedimiento de exploración de una superficie (28), que comprende
  - transmitir, por medio de una fuente (22) de luz, un haz de luz a la superficie que ha de ser explorada (28);
  - recibir un haz de luz reflejado sobre la superficie (28) por un sistema (21) para recibir un haz de luz que comprende un conjunto (24) de interruptores de luz pixelada, que es un dispositivo digital de microespejos, DMD, y un conjunto de sensores (26) de luz, siendo el conjunto de sensores (26) de luz sensores de fotodiodos;
  - comprendiendo el conjunto (24) de interruptores de luz pixelada un mayor número de interruptores que el número de sensores de luz comprendidos en el conjunto de sensores (26) de luz;
  - comprendiendo dicho procedimiento de recepción de un haz de luz, para cada interruptor de dicho conjunto (24) de interruptores de luz pixelada:
    - recibir al menos una porción del haz de luz reflejado por la superficie que ha de ser explorada (28) en el conjunto (24) de interruptores de luz pixelada;
    - desviar la porción recibida del haz de luz hacia dicho conjunto de sensores (26) de luz, desviando un microespejo seleccionado del conjunto (24) de interruptores de luz pixelada;
    - determinar el valor del tiempo de vuelo de cada porción recibida del haz de luz;
    - determinar un parámetro relacionado con la distancia para cada porción recibida del haz de luz teniendo en cuenta su valor determinado de tiempo de vuelo;
    - en el que el parámetro determinado relacionado con la distancia de cada porción del haz de luz es indicativo de un punto espacial de la superficie explorada;
  - caracterizado porque
    - cuando un interruptor del conjunto (24) de interruptores de luz pixelada no está en uso, desvía su porción entrante correspondiente del haz de luz hacia un elemento absorbedor (27).
2. El procedimiento según se reivindica en la reivindicación 1, utilizando un sistema (20) para explorar una superficie (28), comprendiendo dicho sistema (20):
  - un primer sistema informático (32) para determinar el valor del tiempo de vuelo de cada porción recibida del haz de luz;
  - un segundo sistema informático (33) para determinar un parámetro relacionado con la distancia recorrida por cada porción recibida del haz de luz teniendo en cuenta su valor de tiempo de vuelo determinado por el primer sistema informático (32);
  - en el que el parámetro determinado relacionado con la distancia de cada porción del haz de luz es indicativo de un punto espacial de la superficie explorada (28).
3. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que la fuente (22) de luz genera un haz de luz pulsante.
4. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que la fuente (22) de luz genera un haz de luz modulada.
5. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que la fuente (22) de luz comprende un primer conjunto de lentes (23) para ensanchar el alcance del haz de luz.
6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que el sistema (20) para explorar una superficie (28) comprende, además, un segundo conjunto de lentes (25) para generar una imagen de la superficie (28) en el conjunto (24) de interruptores de luz pixelada.
7. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que el sistema (20) para explorar una superficie (28) comprende, además, un tercer conjunto de lentes (29) para enfocar cada porción del haz de luz recibido en el conjunto (24) de interruptores de luz pixelada, sobre el conjunto de sensores (26) de luz.

FIG.1





**FIG.2**



**FIG.3**