

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 925 257**

51 Int. Cl.:

G01C 1/04 (2006.01)
G01C 3/02 (2006.01)
G01C 25/00 (2006.01)
G01C 15/00 (2006.01)
G01S 17/02 (2010.01)
G01S 3/786 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.09.2016** **PCT/GB2016/052901**
87 Fecha y número de publicación internacional: **30.03.2017** **WO17051153**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2016** **E 16770331 (3)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.07.2022** **EP 3353492**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para localizar un punto de medición con un dispositivo de captura de imágenes**

30 Prioridad:

21.09.2015 GB 201516650

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.10.2022

73 Titular/es:

IMETRUM LIMITED (100.0%)
The Courtyard Wraxall Hill Wraxall
Bristol BS48 1NA, GB

72 Inventor/es:

SETCHELL, CHRISTOPHER JOHN y
SHARAM, JAMES ALEXANDER

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 925 257 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

Dispositivo y procedimiento para localizar un punto de medición con un dispositivo de captura de imágenes

5 Estado de la técnica anterior

10 Una manera conocida de monitorizar el movimiento de estructuras tales como edificios, puentes, presas, componentes/montajes y similares es utilizar un dispositivo topográfico tal como una 'estación total'. Una estación total consta de un medidor de distancia electrónico (EDM, Electronic Distance Measure) basado en láser, montado en una plataforma mecánica. La base de esta plataforma se coloca, habitualmente sobre un soporte horizontal estable, tal como un trípode nivelado. La mecánica de la estación total permite orientar el EDM en cualquier dirección girando en torno al eje vertical y a un eje horizontal. Unos codificadores en cada eje de rotación permiten conocer la dirección actual del EDM.

15 Una estación total de monitorización puede incluir un sistema de accionamiento motorizado que permite orientar automáticamente el EDM en cualquier dirección deseada. La dirección actual del EDM con respecto a los codificadores, junto con la distancia al punto de medición desde el EDM, permite determinar la localización tridimensional de un punto.

20 Las estaciones totales son capaces de medir posiciones de puntos en tres dimensiones. Sin embargo, tienen una o varias de las siguientes limitaciones cuando se encargan de monitorizar una estructura móvil:

- para monitorizar el movimiento, requieren acoplar un objetivo reflectante al punto de medición;
- para conseguir la resolución y precisión requeridas, habitualmente requieren varios segundos para realizar cada medición y, por lo tanto, no pueden realizar mediciones dinámicas, tal como el movimiento de una vía férrea cuando un tren pasa sobre la misma;
- solo pueden medir un único punto a la vez; si hay que monitorizar varios puntos, cada uno tiene que ser medido secuencialmente, es decir, los datos solo se capturan desde un único punto a la vez;
- la resolución de la medición puede estar limitada por la resolución angular de los codificadores (habitualmente, del orden de 1 segundo de arco); y
- algunos diseños de prismas reflectantes pueden ser una fuente importante de error de medida.

35 La Patente WO 2012/081995 A1 da a conocer un instrumento o aparato portátil que incluye un dispositivo portátil y un módulo de telémetro.

La Patente US 2012/0262550 A1 describe la medición de tres conjuntos de superficies en la superficie de un objeto, con un dispositivo de medición y un escáner, siendo cada conjunto de superficies las coordenadas 3D de un punto en la superficie del objeto.

40 La Patente US 2012/120391 A1 da a conocer un sistema de medición que incluye un rastreador de láser, un punto objetivo marcado por un reflector, un aparato topográfico y una unidad aritmética y de control.

45 La Patente US 2010/085437 A1 describe procedimientos para controlar la orientación de un eje de un punto objetivo de una cámara de vídeo que tiene un sistema de coordenadas de instrumento para rastrear un punto de interés en un objeto objetivo móvil, y calcular posiciones del punto de interés en un sistema de coordenadas local en el que el objeto objetivo se está moviendo.

50 La Patente US 5,473,368 A da a conocer un dispositivo de vigilancia interactivo automatizado que proporciona vigilancia infrarroja pasiva de una zona predeterminada para determinar si un intruso entra en la zona. Cuando los detectores de infrarrojos pasivos detectan un intruso de este tipo, el dispositivo actúa para orientar una cámara y un telémetro ultrasónico en la dirección apropiada.

Características de la invención

55 Según un primer aspecto de la invención, se da a conocer un dispositivo de medición, según la reivindicación 1.

60 Por lo tanto, el dispositivo de medición según el primer aspecto asocia la dirección del EDM durante la exposición de la imagen, de tal manera que un algoritmo puede encontrar con precisión un punto de medición dentro de la imagen y determinar dónde está el punto de medición con respecto al dispositivo, utilizando la información de dirección. La exposición de la imagen ocurre durante un período de tiempo. Esto significa que la precisión se mantiene incluso si la orientación del EDM cambia durante la exposición de la imagen. La orientación del EDM podría estar cambiando de manera intencionada (por ejemplo, está siguiendo un punto de medición en movimiento) o no intencionada (por ejemplo, vibración o expansión térmica de un soporte de montaje/trípode).

65 Ciertas características opcionales del dispositivo de medición se definen en las reivindicaciones 2 a 12. A

continuación se exponen características opcionales adicionales.

El ICD puede estar dispuesto para ser acoplado al EDM de tal manera que el ICD se mueve en relación fija con respecto al EDM.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se da a conocer un conjunto de dispositivos de medición, según la reivindicación 13. A continuación se exponen características opcionales del conjunto.

Los puntos de medición proyectados pueden ser definidos mediante las características de la reivindicación 4.

Las siguientes son características opcionales de los dispositivos y/o del conjunto de medición, según todos los aspectos de la invención.

La luz puede comprender un láser.

El ICD puede comprender una cámara digital y una unidad óptica acoplada a la cámara.

La orientación del EDM se puede asociar con una imagen utilizando una sola lectura de dirección en algún punto durante el período de exposición, tal como en el punto medio del período de exposición, o combinando múltiples lecturas tomadas durante el período de exposición, tal como el promedio de las lecturas al inicio y al final del período de exposición.

El EDM puede comprender un telémetro de láser.

El controlador de cada dispositivo de medición puede ser implementado en hardware o puede contener código de programa informático configurado para proporcionar la funcionalidad indicada.

Un punto de medición puede ser localizado en una imagen mediante reconocimiento de patrones o detección de características.

Según otro aspecto de la invención, se da a conocer un procedimiento para calibrar parámetros intrínsecos y extrínsecos del dispositivo de captura de imágenes (ICD, Image Capture Device) para un dispositivo de medición, según la reivindicación 14. Ciertas características opcionales del procedimiento se definen en la reivindicación 14. A continuación, se establecen características opcionales adicionales.

Las etapas (c), (d) y (e) del procedimiento pueden comprender:

si el eje óptico del ICD es coaxial con el EDM, entonces:

el EDM se gira, si es necesario, para orientarlo hacia el punto de calibración;
la posición del punto de calibración dentro de la imagen se registra como (x0, y0);
los ángulos de giro e inclinación de la dirección del EDM se registran como (h0 y v0); y
la estimación de la localización del punto principal se puede actualizar a (x0, y0);

de lo contrario:

el EDM se gira, si es necesario, hasta que el punto de calibración esté aproximadamente alineado con el punto principal;
la posición del punto de calibración dentro de la imagen se registra como (x0,y0); y
los ángulos de giro e inclinación de la dirección del EDM se registran como (h0 y v0).

La inclinación en la etapa (f) puede ser suficiente para colocar el punto de calibración cerca del borde de la imagen. Esto puede mejorar la precisión de la calibración.

Las etapas (f) y (g) se pueden repetir para una pluralidad de ángulos de inclinación y/o giro.

El modelo de cámara estenopeica se puede calcular utilizando:

$$\text{distancia focal} = \text{tamaño de píxel} \times |(x_1, y_1) - (x_0, y_0)| / \tan(\theta)$$

donde:

θ es el ángulo entre r_0 y r_1 ;

r_0 es el rayo correspondiente al eje óptico cuando la dirección del EDM está en h_0 y v_0 ; y

r_1 es el resultado de rotar r_0 en torno al origen del EDM según (h_1-h_0) y (v_1-v_0) .

Si las etapas (f) y (g) se repiten varias veces, entonces se puede resolver un modelo de distorsión de lente parametrizado, de manera que:

- 5 se formula una función de error en términos de las discrepancias entre las coordenadas de la imagen observada y las coordenadas de la imagen proyectada; y
- se aplican técnicas de optimización para resolver los parámetros que minimizan la función de error.

10 Si el eje óptico del ICD no es coaxial con el EDM y se han resuelto los parámetros de distorsión, entonces el centro de distorsión radial se puede tomar como una estimación del punto principal.

Este aspecto se puede extender a un dispositivo de medición, tal como el descrito con respecto al primer aspecto, que está configurado para realizar los procedimientos del presente aspecto.

15 Según otro aspecto de la invención, se da a conocer un procedimiento para determinar la localización de uno o varios puntos de medición, según la reivindicación 15. A continuación se exponen características opcionales adicionales.

El procedimiento de optimización puede comprender la repetición de las etapas (e) a (g) hasta que se cumpla uno o varios de los siguientes criterios de terminación:

- 20 la distancia perpendicular del punto de la imagen de EDM desde el rayo del ICD es relativamente pequeña;
- el cambio angular en la orientación del EDM en una iteración es menor que la resolución del sistema de accionamiento o de los sensores de dirección del EDM; y
- 25 el número de iteraciones ha superado un límite predefinido.

El procedimiento puede comprender:

- 30 utilizar la dirección del EDM actual junto con una medición de distancia para obtener una coordenada tridimensional del punto objetivo del EDM que ahora corresponde al punto de medición; o
- utilizar un punto a lo largo del rayo del ICD que está más cerca del punto objetivo del EDM, para obtener una coordenada tridimensional para el punto de medición.

El procedimiento puede comprender:
35 determinar si la lectura de la dirección o la distancia del EDM está cambiando durante el período de exposición y, si es así, contabilizar un cambio en la dirección o la distancia del EDM durante el período de exposición mediante:

- 40 utilizar una sola lectura de dirección y/o distancia desde un punto durante el período de exposición, por ejemplo, un punto medio, o
- utilizar varias lecturas tomadas durante el período de exposición.

El procedimiento puede comprender:
durante la exposición de la imagen, dirigir una luz que está alineada con el eje óptico del ICD, estando acoplada mecánicamente la luz al ICD para moverse en relación fija con el ICD.

45 El ángulo de iluminación puede coincidir, aproximadamente, con el campo de visión angular del ICD.

La luz puede comprender un láser.

El procedimiento puede comprender:

- 50 filtrar la luz que entra en el ICD con un filtro óptico integrado, tal como un filtro de paso de banda.

El procedimiento puede comprender:
55 determinar si uno o varios de los puntos de medición se han movido fuera del campo de visión del ICD y, de ser así, girar el EDM a través de una secuencia de direcciones para buscar, y a continuación devolver los puntos de medición al campo de visión, para localización.

El procedimiento puede comprender:

- 60 realizar un proceso de exposición automática en una o varias regiones de interés (ROI, Region Of Interest) definidas dentro de la imagen, conteniendo cada ROI un punto de medición; y
- mover una ROI según el movimiento medido del punto de medición asociado y/o según los datos de dirección del EDM del uno o varios sensores.

65 Según otro aspecto de la invención, se da a conocer un procedimiento, según la reivindicación 31. A continuación se exponen características opcionales de este aspecto.

El procedimiento puede comprender:

repetir las etapas (p) y (q) para proporcionar un flujo de datos de medición; una medición para cada imagen del ICD de cada dispositivo de medición.

5

Las siguientes son características opcionales de los procedimientos, según todos los aspectos de la invención.

Algunas o todas las etapas del procedimiento pueden ser implementadas por ordenador.

10 Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán realizaciones de la invención, estrictamente solo a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

15 la figura 1 es un diagrama de bloques de un dispositivo híbrido, según una realización de la invención;

la figura 2 muestra un sistema de coordenadas universales;

20 la figura 3 muestra un sistema de coordenadas del dispositivo;

las figuras 4 y 5 muestran un sistema de coordenadas del EDM;

las figuras 6 y 7 muestran un sistema de coordenadas de la cámara;

25 la figura 8 muestra un sistema de coordenadas del sensor;

la figura 9 muestra un sistema de coordenadas de la imagen;

30 la figura 10 es un diagrama de flujo de un primer modo de funcionamiento de medición para el dispositivo híbrido de la figura 1;

la figura 11 es un diagrama de flujo de un segundo modo de funcionamiento de medición para el dispositivo híbrido de la figura 1;

35 la figura 12 es un diagrama de flujo de un tercer modo de funcionamiento de medición para el dispositivo híbrido de la figura 1;

la figura 13 es un diagrama de flujo de un cuarto modo de funcionamiento de medición para el dispositivo híbrido de la figura 1;

40 la figura 14 es un diagrama de flujo de un procedimiento de autocalibración para el dispositivo híbrido de la figura 1;

la figura 15 es un diagrama de flujo de un procedimiento de alineación del EDM para el dispositivo híbrido de la figura 1; y

45 la figura 16 es un diagrama de flujo de un procedimiento de exposición automática para el dispositivo híbrido de la figura 1.

Descripción de las realizaciones

50

Como descripción general, las realizaciones de la invención utilizan un dispositivo de captura de imágenes (ICD), tal como una cámara digital, en combinación con un dispositivo de medición de distancia (EDM) sin contacto, para abordar una o varias de las limitaciones identificadas en la anterior sección del Estado de la técnica anterior. Dicho dispositivo se denominará en la siguiente descripción un "dispositivo híbrido". Un dispositivo híbrido incluye un controlador configurado para asociar una imagen con la orientación del EDM durante la exposición de la imagen, localizar uno de los puntos de medición dentro de la imagen y utilizar la localización del punto de medición dentro de la imagen en combinación con la orientación del EDM para establecer la dirección del punto de medición con respecto al dispositivo híbrido. Los presentes inventores han encontrado que un dispositivo híbrido y/o procedimientos, según las realizaciones de la invención, pueden tener una o varias de las siguientes ventajas con respecto a los sistemas conocidos:

60

- una capacidad de realizar mediciones dinámicas;
- una capacidad de medir varios puntos simultáneamente;
- un dispositivo que no requiere acoplar objetivos reflectantes a los puntos de medición;
- un dispositivo que puede proporcionar todas las medidas en unidades reales (por ejemplo, mm);

65

- un dispositivo que puede medir resoluciones significativamente mayores que las estaciones totales existentes;
- un dispositivo que puede tener un área de medición grande, por ejemplo, cualquier punto que tenga una línea de visión clara hacia el dispositivo puede ser monitorizado;
- un dispositivo que puede medir movimiento dinámico;
- 5 • un dispositivo que puede medir varios puntos simultáneamente;
- un dispositivo que tiene un proceso de calibración simple y rápido que puede ser realizado por un usuario en el campo;
- un dispositivo que puede realizar mediciones precisas debido a que tiene un procedimiento sólido para alinear el láser del EDM con un punto correspondiente en la imagen;
- 10 • un dispositivo que puede realizar mediciones precisas debido a que tiene un procedimiento sólido para gestionar cambios en la iluminación; y
- un dispositivo que puede funcionar cuando la iluminación ambiental no es suficiente para el dispositivo conocido.

Dispositivo híbrido

Haciendo referencia a la figura 1, un dispositivo híbrido según una realización de la invención se muestra de manera general en 10.

El dispositivo híbrido 10 incluye un dispositivo de medición de distancia (EDM) 12 sin contacto que está acoplado a una plataforma de montaje 14, e incluye mecanismos que permiten orientar el EDM 12 en una variedad de direcciones. Unos sensores 16 están dispuestos para detectar la dirección a la que apunta el EDM 12. El dispositivo híbrido 10 puede incluir, opcionalmente, un sistema de accionamiento 18 que permite que el EDM 12 sea accionado en una dirección específica. El EDM 12 puede comprender cualquier dispositivo adecuado para realizar medición de distancia sin contacto. El EDM 12, la plataforma de montaje 14, los sensores 16 y el sistema de accionamiento 18 pueden ser iguales o similares a una estación total, escáner de láser o rastreador de láser conocido. La plataforma de montaje 14 se puede montar en un soporte secundario, tal como un trípode (no mostrado).

El dispositivo híbrido 10 incluye, asimismo, un dispositivo de captura de imágenes (ICD) 20 que, en la realización mostrada, es una cámara 20. La cámara 20 está acoplada a la plataforma de montaje 14, de tal manera que la cámara 20 se mueve en relación fija con el EDM 12. Aunque no es un requisito, se prefiere que el eje óptico de la cámara esté aproximadamente alineado con la dirección del EDM y, en algunas realizaciones, el eje óptico de la cámara puede ser coaxial con el láser del EDM 12. Es fácil encontrar cámaras que funcionan a cientos de hercios. Esto permite monitorizar un movimiento altamente dinámico. Con una lente adecuada, la cámara puede tener un amplio campo de visión y, por lo tanto, monitorizar una gran cantidad de puntos de medición simultáneamente. Utilizando técnicas apropiadas de reconocimiento de patrones o detección de características, la cámara puede monitorizar el movimiento sin necesidad de acoplar objetivos al punto de medición. Utilizar algoritmos tales como los descritos en la Patente PCT/GB2003/004606 permite mediciones de movimiento angular con una resolución del orden de 0,01 segundos de arco, es decir, 100 veces mejor que los codificadores de estación total habituales.

El dispositivo híbrido 10 incluye, asimismo, un controlador 28, que está configurado para: asociar una imagen con la orientación del EDM 12 durante la exposición de la imagen; localizar uno de los puntos de medición dentro de la imagen; y utilizar la localización del punto de medición dentro de la imagen en combinación con la orientación del EDM para establecer la dirección del punto de medición con respecto al dispositivo de medición, lo que se puede utilizar para emitir datos de medición, MD (Measurement Data). El controlador 28 incluye un subsistema de sincronización de datos (DSS, Data Synchronisation Sub-system) 22 dispuesto de tal manera que se conoce la dirección de la cámara 20 y, opcionalmente, la lectura de la distancia del EDM, tal como eran durante el período de exposición de la imagen. Esto permite fusionar los datos de la cámara 20 con los datos del EDM 12/ y los sensores 16 y garantiza la precisión si la cámara 20 se moviera o si cambiara la distancia del objetivo desde el dispositivo híbrido 10. La cámara 20 se puede mover debido a varias causas, por ejemplo: un cambio deliberado en la dirección del dispositivo híbrido 10 o el movimiento de su soporte, tal como un cambio en el ángulo de inclinación debido a la expansión térmica de una pata del trípode. La distancia desde el dispositivo híbrido 10 hasta el objetivo puede cambiar si el objetivo se mueve dinámicamente. La dirección de la cámara 20 se puede deducir de los sensores de dirección 16 del EDM y de los datos de calibración. Si la dirección/distancia cambia durante el período de exposición, las estrategias pueden incluir el uso de una sola lectura de dirección/distancia en algún momento durante el período de exposición, tal como en el punto medio del período de exposición, o la combinación de múltiples lecturas tomadas durante el período de exposición, tal como el promedio de lecturas al inicio y al final de un período de exposición.

La etapa de etiquetar o asociar una imagen con la orientación del EDM 12 durante la exposición de la imagen se puede conseguir de muchas maneras. En un ejemplo, cada lectura de distancia del EDM 12 y cada lectura de dirección de los sensores de dirección 16 se etiqueta con la marca de tiempo de la lectura. Se puede utilizar una estructura de datos simple para asociar la marca de tiempo y los datos de lectura. El EDM 12 y los sensores de dirección 16 proporcionan un flujo de lecturas, normalmente a una velocidad significativamente mayor que la velocidad de fotogramas del ICD 20. Las lecturas con marca de tiempo se colocan en una memoria intermedia, tal como una cola FIFO, que las almacena durante un período finito de tiempo. Cada imagen del ICD 20 está etiquetada

con marcas de tiempo que marcan el inicio y el final del período de exposición de esa imagen. Cuando el DSS 22 recibe una imagen, puede preguntar a la memoria intermedia por el conjunto de lecturas requeridas; por ejemplo, las lecturas de distancia y dirección del EDM al principio y al final del período de exposición. Estas lecturas pueden ser combinadas, a continuación, de manera adecuada, tal como promediando, y las lecturas combinadas pueden ser asociadas a continuación con la imagen por cualquier medio adecuado, tal como almacenando las lecturas combinadas y la imagen en una estructura de datos simple. Las marcas de tiempo que marcan el inicio y el final del período de exposición y las marcas de tiempo de las lecturas del sensor de distancia/direcciones del EDM provienen de un reloj común o, si se utilizan varios relojes, de relojes sincronizados.

Las lecturas de distancia del EDM pueden tener una marca de tiempo dentro del EDM 12. Alternativamente, el DSS 22 puede asociar la marca de tiempo con la lectura en el momento en que recibe la lectura del EDM 12. El último enfoque requiere que la latencia entre la lectura real que se está realizando y la lectura que recibe el DSS 22 sea insignificante o, como mínimo, conocida. Las lecturas de los sensores de dirección 16 se pueden marcar en el tiempo de una manera similar.

Algunos ICD son capaces de realizar marcas de tiempo en imágenes; por ejemplo, con una marca de tiempo al inicio de la exposición de la imagen. Si el ICD 20 solo puede poner la marca de tiempo al inicio de la exposición, pero no al final, entonces la marca de tiempo final se puede calcular sumando el período de exposición conocido; el período de exposición es conocido por el módulo de exposición automática dentro del controlador 28. Por el contrario, si el ICD 20 solo puede realizar una marca de tiempo del final de la exposición, el inicio se puede calcular restando el período de exposición conocido. Alternativamente, es común que los ICD se puedan controlar para iniciar (y detener) la exposición utilizando una señal de activación digital. Si esa señal de activación es generada por el controlador 28, entonces las marcas de tiempo al inicio y al final de la exposición, para cada imagen, serán conocidas por el controlador 28.

El controlador 28 puede proporcionar comandos de control de accionamiento, DCC (Drive Control Commands), al sistema de accionamiento 18 y/o proporcionar comandos de control de exposición, ECC (Exposure Control Commands) al dispositivo de captura de imágenes 20. El control de la exposición se puede conseguir variando el período de exposición de la cámara o cambiando el tamaño de apertura de la lente.

El controlador 28 puede consistir en una combinación de hardware y software. En un ejemplo, el hardware puede incluir un procesador, una memoria y una capacidad de entrada/salida. Por ejemplo, el hardware podría ser uno o varios microcontroladores, ordenadores integrados, ASIC o un ordenador independiente, tal como un PC. Están dispuestos una interfaz adecuada para comunicarse con el ICD 20 y un procedimiento para comunicarse con los sensores de dirección 16, EDM 12, etc. El hardware, con el software adecuado, debe ser capaz de manejar datos del ICD 20 y también de realizar las funciones del controlador 28 del dispositivo híbrido. Algunas de estas funciones, tales como la 'localización de puntos', pueden ser bastante intensivas desde el punto de vista informático, por lo que el hardware debe ser lo suficientemente potente. Sin embargo, el experto en la materia será capaz de implementar el dispositivo híbrido según las realizaciones de la invención, basándose en las enseñanzas dadas a conocer en el presente documento, en combinación con su conocimiento general común, sin una carga indebida. En algunas realizaciones, el DSS 22 se puede hacer funcionar en un controlador independiente que está acoplado comunicativamente al controlador 28.

Asimismo, se debe tener en cuenta que muchos dispositivos existentes, tales como las estaciones totales, ya contendrán un microcontrolador o un ordenador integrado que ejecute el software inalterable del dispositivo.

Los fabricantes de dispositivos tales como estaciones totales, proporcionan normalmente kits de desarrollo de software (SDK, Software Development Kits) que permiten que las funciones del dispositivo sean controladas mediante programación a través de una interfaz de software. En el caso de una estación total, es común que el SDK se comunique con la estación total a través de una interfaz tal como USB, RS232, Ethernet (cableada o inalámbrica), Bluetooth (TM) o similar. A continuación, el controlador 28 del dispositivo híbrido puede invocar las funciones de software apropiadas en el SDK para indicar a la estación total que realice giros, transmita datos de distancia y ángulo, etc. Este planteamiento significa que un dispositivo híbrido 10 según las realizaciones de la invención puede ser creado por medio de un 'complemento' para una estación total existente.

Alternativamente, para una solución totalmente integrada, el controlador 28 del dispositivo híbrido 10 puede ser implementado en un software que es ejecutado en un hardware que forma parte integral de la estación total. En este caso, el controlador del dispositivo híbrido se puede comunicar directamente con el software inalterable de la estación total, sin pasar por el SDK.

El dispositivo híbrido 10 puede incluir, opcionalmente, una luz integrada 24 dispuesta para permitir el funcionamiento incluso cuando la iluminación ambiental no es suficiente, tal como por la noche, en un túnel o debajo de un puente, sin necesidad de fuentes de luz externas adicionales. La dirección de la luz 24 está alineada con el eje óptico de la cámara 20 y la luz 24 está acoplada al soporte 14 para moverse en relación fija con la cámara 20. El ángulo de iluminación es óptimo si está adaptado, aproximadamente, al campo angular de visión de la cámara 20. Si el campo de visión angular de la cámara 20 es apropiado, se podría utilizar una fuente de láser, y esa fuente de láser podría

ser la misma que se utiliza en el EDM 12 o en la “luz de guía” que se encuentra en algunos dispositivos topográficos conocidos.

El dispositivo híbrido 10 puede incluir, opcionalmente, un filtro óptico integrado 26, dispuesto para reducir el impacto de los cambios en la iluminación solar. El filtro óptico 26 se puede implementar como un filtro de paso de banda, para alinearse con el valle en el espectro de emisión del Sol, que filtra la luz que entra en la cámara 20. La luz 24 opcional se puede ajustar para emitir en esta frecuencia, con el fin de llenar el valle en el espectro de emisión del Sol. Tal como se apreciará, el espectro de la emisión solar incidente en la Tierra tiene numerosos valles. Una de estos valles está centrado, aproximadamente, en 937 nm, pero se pueden utilizar otros.

El controlador 28 está configurado, preferentemente, para realizar algunos o todos los siguientes módulos:

1. un módulo de definición de puntos, para definir puntos de medición;
2. un módulo de localización de puntos, que localiza automáticamente un punto de medición en una imagen utilizando algoritmos de reconocimiento de patrones o de detección de características;
3. un módulo de autocalibración configurado para determinar cualesquiera parámetros desconocidos, intrínsecos y extrínsecos de la cámara;
4. un módulo de alineación de EDM; dado un punto en una imagen, que está etiquetado con la dirección actual del EDM, este módulo alinea el EDM 12 de modo que se oriente hacia ese mismo punto;
5. un módulo inteligente de exposición automática, que mantiene una exposición óptima de la imagen para facilitar el funcionamiento del módulo de localización de puntos; y
6. un módulo de fusión de datos, que combina datos de medición del módulo de localización de puntos, el EDM 12 y los sensores de dirección 16 del EDM. Opcionalmente, se puede aplicar filtrado a los datos de medición para mejorar las relaciones de señal/ruido. El módulo de fusión de datos puede combinar datos por medio de diversos procedimientos con el fin de proporcionar varios modos de funcionamiento posibles:

- Modo 1 - monitoriza dinámicamente varios puntos que se mueven dentro de un plano. Varios puntos son monitorizados simultáneamente;
- Modo 2 - medición estática de varios puntos que se pueden mover en cualquier dirección. Se miden secuencialmente múltiples puntos;
- Modo 3 - medición dinámica de un solo punto que se puede mover en cualquier dirección; y
- Modo 4 - medición dinámica de varios puntos que se pueden mover en cualquier dirección. Se miden simultáneamente múltiples puntos. Este procedimiento requiere dos o más dispositivos híbridos.

Cada uno de los módulos mencionados anteriormente se describirá con más detalle a continuación.

Algunas operaciones del dispositivo híbrido 10, tal como la definición de puntos, pueden requerir que una persona seleccione un punto en una imagen. Habitualmente, la imagen se mostrará en una pantalla, por lo que se puede seleccionar un punto simplemente colocando un cursor en la posición deseada en la imagen utilizando, por ejemplo, un ratón, una bola de seguimiento, una palanca de control o una pantalla táctil. La pantalla puede formar parte integral del dispositivo híbrido, o puede ser remota con respecto al dispositivo, tal como una tableta, un PC o una unidad de control remoto dedicada.

Si bien el dispositivo híbrido 10 de la realización mostrada es una solución totalmente integrada, en otras realizaciones un dispositivo híbrido puede comprender un ICD 20, y un controlador 28 dispuesto para ser acoplado a uno o varios de los otros elementos del sistema, tal como el soporte 14 de un dispositivo existente, tal como una estación total, un escáner de láser, un rastreador de láser o un teodolito.

Sistemas de coordenadas

Haciendo referencia, adicionalmente, a las figuras 2 a 9, en este documento se hará referencia a los siguientes sistemas de coordenadas.

La figura 2 muestra un sistema de coordenadas universales, que es un marco tridimensional (3D) de coordenadas globales en el que se proporcionarán los datos de medición. El dispositivo híbrido 10 tiene una posición 3D dentro del sistema de coordenadas universales.

La figura 3 muestra un sistema de coordenadas de dispositivo. Este está acoplado al dispositivo híbrido 10.

Las figuras 4 y 5 muestran un sistema de coordenadas del EDM. Este está acoplado al EDM 12 y se mueve con el EDM 12 a medida que este se orienta en diferentes direcciones. El sistema de coordenadas del EDM habitualmente tiene el mismo origen que el sistema de coordenadas del dispositivo. A los efectos de la siguiente descripción, la orientación actual del sistema de coordenadas del EDM con respecto al sistema de coordenadas del dispositivo se define en términos de giro (ángulo horizontal) e inclinación (ángulo vertical).

Las figuras 6 y 7 muestran el sistema de coordenadas de la cámara. Este está acoplado a la cámara 20. El origen

está en el centro C del sensor de imagen 32. Este se mueve en relación fija con el sistema de coordenadas del EDM. Los parámetros extrínsecos de la cámara definen la relación de este sistema de coordenadas con el sistema de coordenadas del EDM. La figura 6 también muestra la lente de la cámara 20a, el plano focal, FPL (Focal Plane), el punto focal, FPO (Focal Point), la distancia focal, FL (Focal Length), el campo de visión, FV (Field of View) y la escena, S (Scene).

La figura 8 muestra el sistema de coordenadas del sensor. Este es el plano focal, FPL, de la cámara 20, y el origen está en el centro del sensor 32. La figura 8 muestra, asimismo, el desplazamiento X e Y, Xdespl, Ydespl entre la imagen I y el sensor 32, el tamaño de píxel, Ph, Pw, la altura y anchura de la imagen, lh, lw, y la altura y anchura del sensor, Sh, Sw.

La figura 9 muestra el sistema de coordenadas de la imagen. Esto está relacionado con el sistema de coordenadas del sensor por cada tamaño de píxel, Ph, Pw, y la configuración del recorte y del agrupamiento.

Módulo de definición de puntos

Este módulo se puede utilizar para definir puntos para medir, calibrar, etc. Cuando se define un punto, su aspecto correspondiente en la imagen también puede ser capturado (como una 'instantánea'). El patrón de la instantánea capturada puede ser utilizado posteriormente por el módulo de localización de puntos para localizar y rastrear automáticamente la posición de un punto de medición en la imagen utilizando algoritmos de reconocimiento de patrones o detección de características.

Los puntos se pueden definir por medio de uno o dos modos:

1. El EDM 12 es orientado hacia el punto deseado. Se realiza una medida de distancia. La dirección actual del EDM 12 junto con la medida de distancia define la posición 3D del punto. Los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara se utilizan para proyectar esta posición 3D en una posición en la imagen. El aspecto del punto puede ser capturado, a continuación, como una instantánea en esa posición de la imagen.
2. El punto deseado es identificado en la imagen. El aspecto del punto puede ser capturado como una instantánea en esa posición de la imagen. El módulo de alineación del EDM alinea, a continuación, el EDM 12 con el punto deseado. Se realiza una medición de distancia. La dirección actual del EDM 12, junto con la medida de la distancia define la posición 3D del punto.

Módulo de localización de puntos

Este módulo puede localizar automáticamente puntos de medición dentro de una imagen utilizando algoritmos de procesamiento de imágenes, tal como reconocimiento de patrones o algoritmos de detección de características. Para localizar el punto de medición se conoce el aspecto del punto de medición. El aspecto del punto de medición puede ser:

- Un patrón conocido, tal como una diana, un círculo o una cruz, que puede ser localizado automáticamente en la imagen mediante algoritmos de detección de características.
- Un patrón natural. Una instantánea del patrón puede ser capturada por el módulo de definición de puntos cuando se define el punto y, a continuación, localizada en la imagen utilizando algoritmos de reconocimiento de patrones, tales como los descritos en la Patente PCT/GB2003/004606.

Módulo de fusión de datos

Los datos del EDM 12, los sensores de dirección 16 del EDM y la cámara 20 son fusionados para realizar mediciones. Esto se puede conseguir por medio de una serie de procedimientos, cada uno de los cuales ofrece una capacidad de medición diferente. Los presentes inventores han identificado que los dispositivos existentes solo son capaces de realizar mediciones estáticas de un solo punto a la vez, mientras que el dispositivo híbrido 10 y los procedimientos presentados en el presente documento permiten tanto medición dinámica como medición de varios puntos simultáneamente.

Para que el dispositivo híbrido 10 funcione, se prefiere que el módulo de autocalibración (descrito a continuación) se utilice primero para calibrar el sistema con el fin de establecer los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara 20. Sin embargo, los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara 20 se pueden conocer a partir de configuraciones ensambladas, o se pueden determinar de otras maneras, tal como sería evidente para el experto en la materia.

Por lo tanto, el módulo de fusión de datos puede funcionar en varios modos.

Modo 1

Este modo permite monitorizar dinámicamente varios puntos que se mueven dentro de un plano (el plano de

medición). Varios puntos son monitorizados simultáneamente. Haciendo referencia a la figura 10, el procedimiento para este modo es:

1) Configuración

a) En la etapa 40 se define un plano de medición de la siguiente manera.

- i) Las posiciones 3D de tres o más puntos se definen utilizando el módulo de definición de puntos.
- ii) Los tres o más puntos definen el plano de medición 3D. Si hay más de tres puntos, entonces se define un plano de "mejor ajuste".
- iii) El origen del plano de medición se puede establecer, opcionalmente, definiendo un punto utilizando el módulo de definición de puntos y especificando la coordenada deseada de ese punto dentro del sistema de coordenadas del plano.
- iv) La dirección de los ejes X/Y del plano se puede configurar, opcionalmente, definiendo un segmento de una línea mediante dos puntos, utilizando el módulo de definición de puntos y especificando la dirección deseada de ese segmento de línea en el sistema de coordenadas del plano.

b) En la etapa 42, uno o varios puntos de medición se definen utilizando el módulo de definición de puntos. Todos los puntos de medición están dispuestos en el plano de medición y permanecen en el plano a medida que se mueven, es decir, los desplazamientos son dentro del plano.

2) Medición

a) En la etapa 44, el módulo de localización de puntos localiza cada punto de medición en la imagen. Si uno o varios puntos de medición se han movido fuera del campo de visión de la cámara, entonces el EDM 12 y, por lo tanto, la cámara, se pueden girar, opcionalmente, a través de una secuencia de direcciones, tal como a través de un patrón de búsqueda en espiral, para buscar y, a continuación, devolver los puntos de medición al campo de visión con el fin de permitir que el módulo de localización de puntos los localice.

b) En la etapa 46, la dirección actual del EDM 12 junto con los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara, se utiliza para proyectar un rayo desde el punto focal de la cámara a través de la coordenada de la imagen de cada punto localizado. La imagen es 'etiquetada' o asociada de otro modo con la dirección actual del EDM 12 durante la exposición de la imagen. El etiquetado se realiza en el DSS 22. La 'dirección actual del EDM' se conoce porque el DSS 'etiqueta' la imagen con la dirección en el momento en que se expuso la imagen.

c) En la etapa 48, los rayos se cruzan con el plano de medición. La intersección de cada rayo con el plano de medición produce la localización actual de cada punto de medición. Estos se pueden presentar como una coordenada 3D de cada punto o una coordenada 2D de cada punto dentro del plano de medición. Las etapas 44 a 48 se repiten para proporcionar un flujo de datos de medición; una medición para cada punto de medición, para cada imagen de la cámara.

Modo 2

Este modo permite la medición estática de varios puntos que se pueden mover en cualquier dirección. Se miden secuencialmente varios puntos. Haciendo referencia a la figura 11, el procedimiento para este modo es:

1) Configuración

a) En la etapa 50, se definen uno o varios puntos de medición utilizando el módulo de definición de puntos.

2) Medición

a) En la etapa 52, el EDM 12 se gira para orientarlo hacia la localización esperada del punto de medición. Esta podría ser la localización en la que se definió el punto, la localización en la que se midió el punto por última vez o la localización en la que se predice que el punto estará, en base a un conocimiento previo, tal como localizaciones anteriores.

b) En la etapa 54, el módulo de localización de puntos se utiliza para localizar el punto de medición en la imagen. Si el punto de medición se ha movido fuera del campo de visión de la cámara, entonces el EDM 12 y, por lo tanto, la cámara, se pueden girar, opcionalmente, a través de una secuencia de direcciones, tal como a través de un patrón de búsqueda en espiral, para buscar y, a continuación, devolver el punto de medición al campo de visión para permitir que el módulo de localización de puntos lo localice.

c) En la etapa 56, el módulo de alineación de EDM se utiliza para orientar el EDM 12 al punto identificado en la imagen por el módulo de localización de puntos y proporcionar la localización 3D del punto de medición.

d) Las etapas 52 a 56 se repiten para cada punto de medición.

Modo 3

Este modo permite la medición dinámica de un único punto que se puede mover en cualquier dirección. Haciendo

referencia a la figura 12, el procedimiento para este modo es:

1) Configuración

- 5 a) En la etapa 60, se define un punto de medición utilizando el módulo de definición de puntos.

2) Medición

- 10 a) En la etapa 62, el EDM 12 se gira para orientarse a la localización esperada del punto de medición. Esta podría ser la localización en la que se definió el punto, la localización en la que se midió el punto por última vez o la localización en la que se predice que el punto estará en base a un conocimiento previo, tal como localizaciones anteriores).
- 15 b) En la etapa 64, el módulo de localización de puntos se utiliza para localizar el punto de medición en la imagen. Téngase en cuenta que, si el punto de medición se ha movido fuera del campo de visión de la cámara, entonces el EDM y, por lo tanto, la cámara, se pueden girar, opcionalmente, a través de una secuencia de direcciones, tal como a través de un patrón de búsqueda en espiral, con el fin de buscar y, a continuación, devolver el punto de medición al campo de visión para permitir que el módulo de localización de puntos lo localice.
- 20 c) En la etapa 66, el módulo de alineación de EDM se utiliza para orientar el EDM 12 en el punto identificado en la imagen mediante el módulo de localización de puntos y proporcionar la localización 3D del punto de medición.
- d) Las etapas 64 y 66 se repiten para proporcionar un flujo de datos de medición; una medición para cada imagen de la cámara.

25 *Modo 4*

Este modo permite la medición dinámica de varios puntos que se pueden mover en cualquier dirección. Varios puntos se miden simultáneamente. Este procedimiento requiere dos o más dispositivos híbridos que estén monitorizando simultáneamente un conjunto común de puntos, pero solo uno de los dispositivos híbridos requiere un EDM. Un sistema de sincronización garantiza que las imágenes sean capturadas de manera síncrona por los múltiples dispositivos. Haciendo referencia a la figura 13, el procedimiento para este modo es:

1) Configuración

- 35 a) En la etapa 70, la posición y orientación de cada dispositivo híbrido dentro de un sistema de coordenadas universales común se establece utilizando procedimientos topográficos estándar. Por ejemplo, el dispositivo híbrido con el EDM 12 se puede utilizar para medir las coordenadas 3D de varios puntos de referencia dentro del sistema de coordenadas universales. La dirección medida de cada punto de referencia desde cada uno de los otros dispositivos híbridos permite calcular la posición y orientación de cada dispositivo híbrido dentro del sistema de coordenadas universales.
- 40 b) En la etapa 72 se definen uno o varios puntos de medición utilizando el módulo de definición de puntos. Cada punto se define utilizando un único dispositivo híbrido con EDM.
- 45 c) En la etapa 74, la posición 3D de cada punto definido es proyectada en las coordenadas de la imagen para todos los demás dispositivos híbridos. Esto permite que todos los demás dispositivos híbridos identifiquen fácilmente características de la imagen que corresponden al mismo punto de medición y/o tomen una "instantánea" del aspecto natural del punto de medición.

2) Medición

- 50 a) En la etapa 76, los módulos de localización de puntos localizan cada punto de medición en la imagen para cada dispositivo híbrido.
- b) En la etapa 78 se calcula la posición 3D del punto de medición. La posición y orientación conocidas de cada dispositivo híbrido dentro del sistema de coordenadas universales, junto con los parámetros intrínsecos y extrínsecos de cada cámara y las posiciones localizadas de cada punto en cada imagen, permiten calcular la posición 3D del punto de medición.
- 55 c) Las etapas 76 y 78 se repiten para proporcionar un flujo de datos de medición; una medición para cada punto de medición, para cada imagen de las cámaras.

Módulo de autocalibración

- 60 Este módulo permite una calibración simple y rápida de los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara, que se puede realizar en el campo. Los parámetros extrínsecos son con respecto al sistema de coordenadas del EDM. El procedimiento de calibración puede calibrar cámaras montadas coaxialmente y no coaxialmente. Este solo requiere un único punto de calibración y, en muchos casos, solo se requieren dos observaciones de ese punto de calibración. El procedimiento no depende de conocer con gran precisión la posición absoluta del punto de calibración en la imagen, sino que utiliza el módulo de localización de puntos para medir con precisión el desplazamiento del
- 65

punto de calibración en la imagen, y esto se puede conseguir con mucha mayor exactitud y precisión.

Haciendo referencia a la figura 14, el procedimiento comprende las siguientes etapas:

- 5 1. En la etapa 80, se capturan los datos de entrada requeridos.
2. En la etapa 82, el procedimiento resuelve la distancia focal de la cámara y, opcionalmente, los parámetros de distorsión de la lente.
3. En la etapa 84, el procedimiento resuelve el balanceo de la cámara con respecto al sistema de coordenadas del EDM.
- 10 4. En la etapa 86, el procedimiento resuelve el giro/la inclinación de la cámara con respecto al sistema de coordenadas del EDM.

Datos de entrada requeridos de la captura

- 15 1. Se requieren valores aproximados para lo siguiente:
 - a. Se requiere la posición y orientación del sistema de coordenadas de la cámara con respecto al sistema de coordenadas del EDM. Estos habitualmente se pueden obtener a partir del diseño mecánico conocido del dispositivo, y se pueden representar como tres valores de traslación y tres valores de rotación.
 - 20 b. Distancia focal - se puede utilizar el valor de la especificación de la lente
 - c. Tamaño de píxel - se puede utilizar el valor de la especificación de la cámara.
 - d. Punto principal - se supone que pasa por el centro del sensor de imagen
 - e. Parámetros de distorsión - supóngase que la óptica no presenta distorsión
- 25 2. A continuación, el usuario elige un único punto de calibración. Es necesario conocer la posición 3D del punto de calibración en el sistema de coordenadas del dispositivo, y esto habitualmente se determina orientando el EDM 12 hacia el punto de calibración, realizando una medición de distancia y combinándola con la dirección del EDM actual para calcular la posición 3D. Téngase en cuenta que cuanto más lejos esté el punto de la cámara, más tolerante se vuelve el procedimiento a errores absolutos en la posición conocida del punto de calibración o a errores en la posición proporcionada del sistema de coordenadas de la cámara con respecto al sistema de coordenadas del EDM.
- 30 3. Si aún no lo está, se gira el EDM 12 para orientarlo hacia el punto de calibración. A continuación se localiza la posición del punto de calibración dentro de la imagen, ya sea manual o automáticamente. Incluso si el punto se localiza manualmente, haberlo localizado una vez permite localizarlo automáticamente en etapas posteriores, por ejemplo, tomando una "instantánea" del aspecto y, a continuación, utilizando el módulo de localización de puntos para localizar automáticamente el punto.
- 35 4. Si la óptica ha sido alineada de tal manera que el eje óptico es coaxial con el láser del EDM 12, entonces: Se registra la posición del punto de calibración dentro de la imagen (x_0 , y_0). Se registran los ángulos de giro e inclinación de la dirección del EDM (h_0 y v_0). La estimación de la localización del punto principal se puede actualizar a (x_0 , y_0).
- 40

De lo contrario:

- La cámara se gira hasta que el punto de calibración está aproximadamente alineado con el punto principal de la imagen. Los valores aproximados proporcionados en (1) permiten que este giro se realice automáticamente. A
- 45 continuación se utiliza el módulo de localización de puntos para localizar el punto de calibración en la imagen. Se registra la posición del punto de calibración dentro de la imagen (x_0 , y_0). Se registran los ángulos de giro e inclinación de la dirección del EDM (h_0 y v_0).
 - 50 5. A continuación se inclina el EDM 12 de tal manera que el punto de calibración se mueve en la imagen. Cuanto mayor sea el movimiento de la imagen, más precisa será la calibración, por lo que es beneficioso (pero no obligatorio) inclinarlo hasta que el punto de calibración esté cerca del borde de la imagen. Los valores aproximados proporcionados en (1) permiten que este giro se realice automáticamente. El módulo de localización de puntos se utiliza a continuación para localizar el punto de calibración en la imagen. Se registra la posición del punto de calibración dentro de la imagen (x_1 e y_1). Se registran los ángulos de giro e inclinación de la dirección del EDM (h_1 y v_1).
 - 55
 6. La etapa (5) se puede repetir, opcionalmente, para un rango de ángulos de inclinación y/o giro.

Resolver la distancia focal de la cámara

- 60 Utilizar un modelo de cámara estenopeica permite calcular directamente la distancia focal:

$$\text{distancia focal} = \text{tamaño de píxel} \times |(x_1, y_1) - (x_0, y_0)| / \tan(\theta)$$

- 65 donde,

θ es el ángulo entre r_0 y r_1 ;

r_0 es el rayo correspondiente al eje óptico cuando la dirección del EDM está en h_0 y v_0 ; y

r_1 es el resultado de rotar r_0 en torno al origen del EDM según (h_1-h_0) y (v_1-v_0) .

- 5 Si se registraron observaciones adicionales en la etapa 6, también se puede resolver un modelo parametrizado de distorsión de lente. El enfoque general es formular una función de error en términos de las discrepancias entre las coordenadas de la imagen observada y las coordenadas de la imagen proyectada (proyectada utilizando los parámetros de distorsión actuales) y, a continuación, aplicar técnicas de optimización estándar para resolver los parámetros que minimizan la función de error.

10 Si la óptica no ha sido alineada de tal manera que el eje óptico sea coaxial con el láser del EDM 12, y se hayan resuelto los parámetros de distorsión, entonces el centro de distorsión radial se puede tomar como una estimación del punto principal.

15 *Resolver el balanceo de la cámara con respecto al sistema de coordenadas del EDM*

Los dos conjuntos de coordenadas de la imagen registrados en las etapas 4 y 5 anteriores definen un segmento de línea. Suponiendo que el EDM 12 se inclinó de tal manera que el punto de calibración siguiera una trayectoria lineal en la imagen desde (x_0, y_0) hasta (x_1, y_1) , entonces la dirección de la línea ($\tan^{-1}((y_1-y_0) / (x_1-x_0))$) está directamente relacionada con el ángulo de balanceo de la cámara dentro del sistema de coordenadas del EDM 12. Por lo tanto, medir la dirección de la línea permite calcular directamente el ángulo de balanceo.

Resolver el giro / la inclinación de la cámara con respecto al sistema de coordenadas del EDM

- 25 Esta etapa solo es relevante si la óptica no ha sido ya alineada de tal manera que el eje óptico sea coaxial con el láser del EDM 12.

Las estimaciones de distancia focal, balanceo de la cámara y punto principal son actualizadas con los valores calculados anteriormente. Si se han calculado los parámetros de distorsión de la lente, estos también se actualizan.

30 Los parámetros actualizados se utilizan para proyectar la posición 3D conocida del punto de calibración nuevamente en las coordenadas de la imagen. A continuación, la posición proyectada se compara con la posición localizada, y cualquier diferencia está directamente relacionada con los ángulos de giro e inclinación de la cámara dentro del sistema de coordenadas del EDM.

35 **Módulo de alineación del EDM**

Con el fin de fusionar los datos de la cámara 20 y el EDM 12, frecuentemente se requiere orientar el EDM 12 hacia un punto en una superficie que corresponde a un punto específico en la imagen. Se prefiere que el módulo de autocalibración haya sido utilizado previamente para calibrar los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara 20.

Haciendo referencia a la figura 15, el procedimiento de alinear el EDM 12 con un punto específico de la imagen depende primero de si el eje óptico de la cámara 20 es coaxial con la dirección del EDM 12:

- 45 1. Si la cámara es coaxial con el EDM 12, entonces en la etapa 90a se utilizan los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara para proyectar la dirección del EDM actual hacia un punto objetivo del EDM en la imagen. A continuación se hace girar el EDM 12 hasta que el punto especificado en la imagen se mueve a la misma posición en la imagen que el punto objetivo del EDM.
- 50 2. Si la cámara no es coaxial con el EDM 12, los efectos de paralaje hacen que sea más difícil alinear el EDM 12 con el punto especificado en la imagen. El grado de paralaje depende de la distancia al punto de medición, siendo el problema que esta distancia es desconocida. En este caso, en la etapa 90b se puede emplear un procedimiento tal como el que se describe a continuación.

- 55 Utilizar los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara junto con la dirección conocida del EDM 12 en el momento en que se capturó la imagen, permite que el punto de la imagen se proyecte como un rayo 3D o "rayo de cámara" en coordenadas universales.

60 A continuación se hace girar el EDM 12 para orientarlo hacia un punto a lo largo de ese rayo, y se realiza una medición de distancia. La medición de distancia y la dirección actual del EDM producen un punto objetivo del EDM. Se calcula la distancia perpendicular del punto objetivo del EDM desde el rayo de la cámara. A continuación se ajusta la orientación del EDM 12 hasta que la distancia del punto objetivo del EDM al rayo de la cámara sea lo más pequeña posible. Esto se puede conseguir por medio de un procedimiento de optimización iterativo, en cuyo caso las iteraciones terminan cuando se cumplen una o varias de las siguientes condiciones:

- 65
- el punto objetivo del EDM está dentro de la tolerancia del rayo de la cámara

- el cambio angular en la orientación del EDM 12 en cada iteración es menor que la resolución del sistema de accionamiento de orientación o de los sensores de dirección
- el número de iteraciones ha excedido un límite predeterminado.

5 En la etapa 92, una vez alineado el EDM 12 hay dos opciones:

1. la dirección actual del EDM junto con una medida de distancia produce la coordenada 3D del punto; o
2. el punto a lo largo del rayo de la cámara que está más cerca del punto objetivo del EDM define la coordenada 3D del punto.

10 En los casos en los que la resolución angular de la cámara supera la del sistema de accionamiento 18 del EDM o los sensores de dirección 16, se adopta, preferentemente, el segundo procedimiento, dado que aumenta la resolución de medición potencial del sistema.

15 Módulo de exposición automática de la cámara

La precisión y robustez de la medición son susceptibles a los cambios en la iluminación. Los cambios en la iluminación solar son una causa importante. Este módulo incluye un algoritmo de exposición automática configurado para ajustar la exposición de la cámara en base a las intensidades de píxeles dentro de una parte de la imagen I. Por ejemplo, si la intensidad promedio de píxeles en la imagen es demasiado oscura, este prolongará el tiempo de exposición o abrirá la apertura o aumentará la ganancia, con el fin de aclarar la imagen. Estas características son bien conocidas en la técnica.

25 Haciendo referencia a la figura 16, en la etapa 100 se identifican una o varias regiones de interés (ROI) dentro de la imagen I. Cada ROI corresponde a una característica dentro de la imagen I. Un usuario puede identificar las ROI o se pueden configurar automáticamente basándose en la localización de la o las características.

En la etapa 102, el algoritmo de exposición automática procesa los únicos píxeles dentro de la ROI.

30 En la etapa 104 se determina si una característica se ha movido fuera de su ROI. Si es así, la ROI asociada con la función se mueve para que la función vuelva a la ROI. Se repite la etapa 104.

Por lo tanto, este procedimiento utiliza la localización actual de los puntos de medición en la imagen para actualizar continuamente las ROI de exposición automática de tal manera que estas mantienen siempre su relación con la localización de los puntos de medición en la imagen. Mientras realiza mediciones, el módulo de localización de puntos proporciona la localización actual de cada punto de medición en la imagen. Sin embargo, si el módulo de localización de puntos no puede localizar un punto, entonces se utiliza la posición 'visto por última vez', la posición 'definido' o la posición 'predicho' pero, en estos casos, las intensidades de píxeles asociadas con esas regiones reciben una ponderación más baja en comparación con aquellas en las que el módulo de localización de puntos fue capaz de encontrar el punto. Si no hay puntos de medición dentro del campo de visión, se utiliza un área predeterminada, tal como la imagen completa, para la ROI. El procedimiento aumenta la probabilidad de que la exposición de los puntos de medición sea óptima dentro de la imagen I.

45 Si bien el dispositivo híbrido 10 de las realizaciones mostradas incluye cada uno de los módulos descritos, en otras realizaciones un dispositivo híbrido puede incluir uno o varios de los módulos descritos. En una realización, el dispositivo híbrido o dispositivo de medición puede comprender: un dispositivo de captura de imágenes que puede funcionar para emitir imágenes digitales y que está dispuesto para ser acoplado a un EDM de tal manera que el ICD se mueve en relación fija con respecto al EDM; y un controlador dispuesto para recibir datos de los uno o varios sensores y del ICD, estando configurado el controlador para: a) asociar una imagen con la orientación del EDM durante la exposición de la imagen; b) localizar uno de los puntos de medición dentro de la imagen; y c) utilizar la localización del punto de medición dentro de la imagen en combinación con la orientación del EDM, para establecer la dirección del punto de medición con respecto al dispositivo de medición.

55 Cabe señalar que las realizaciones mencionadas anteriormente muestran, que no limitan, la invención, y que los expertos en la técnica serán capaces de diseñar muchas realizaciones alternativas sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones, cualesquiera signos de referencia entre paréntesis no se interpretarán como una limitación de las reivindicaciones. La expresión "que comprende" no excluye la presencia de elementos o etapas distintos de los enumerados en cualquier reivindicación o especificación en su conjunto. La referencia singular de un elemento no excluye la referencia plural a elementos semejantes y viceversa. Partes de la invención pueden ser implementadas por medio de hardware que comprende varios elementos distintos, o por un ordenador programado adecuadamente. En una reivindicación de dispositivo que enumera varias partes, varias de estas partes pueden estar incorporadas en un mismo elemento de hardware. El mero hecho de que determinadas medidas se mencionen en reivindicaciones dependientes diferentes entre sí no indica que una combinación de estas medidas no pueda ser utilizada con ventaja.

65

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de medición (10) para determinar la localización de uno o varios puntos de medición con respecto al dispositivo de medición, estando dispuesto el dispositivo de medición para ser acoplado a un dispositivo de medición de distancia (EDM) (12) sin contacto y a uno o varios sensores (16) para determinar la orientación del EDM, comprendiendo el dispositivo de medición:
5 un dispositivo de captura de imágenes (ICD) (20) que puede funcionar para emitir imágenes digitales y está dispuesto para ser acoplado al EDM de manera que el ICD se mueva en relación conocida con respecto al EDM; y
10 **caracterizado por** un controlador (28) dispuesto para recibir datos de los uno o varios sensores y del ICD, estando configurado el controlador para:
a) asociar una imagen con la orientación del EDM durante la exposición de la imagen;
b) localizar uno de los puntos de medición dentro de la imagen; y
15 c) utilizar la localización del punto de medición dentro de la imagen en combinación con la orientación del EDM para establecer la dirección del punto de medición con respecto al dispositivo de medición, donde el controlador incluye un subsistema de sincronización de datos dispuesto de tal manera que la dirección del ICD durante el período de exposición de la imagen es conocida.
20 2. Dispositivo de medición (10), según la reivindicación 1, que comprende, además:
el EDM; y
los uno o varios sensores para determinar la orientación del EDM.
25 3. Dispositivo de medición (10), según cualquier reivindicación anterior, en el que el controlador está dispuesto para recibir datos del EDM y está configurado para asociar la imagen con la lectura de distancia del EDM durante la exposición de la imagen.
4. Dispositivo de medición (10), según cualquier reivindicación anterior, en el que el controlador está configurado para capturar el aspecto de un punto de medición para su posterior localización dentro de la imagen mediante uno o varios de:
30 proyectar un punto objetivo del EDM en una posición en la imagen y capturar el aspecto del punto de medición; y
capturar el aspecto de una región dentro de la imagen que se identifica como correspondiente al punto de medición.
35 5. Dispositivo de medición (10), según cualquier reivindicación anterior, que comprende además un sistema de accionamiento automatizado que responde al controlador para controlar la orientación del EDM.
6. Dispositivo de medición (10), según la reivindicación 5, en el que el eje óptico del ICD es coaxial con el eje de medición del EDM y el controlador está configurado para realizar una función de alineación del EDM que comprende utilizar parámetros intrínsecos y extrínsecos del ICD para proyectar una dirección actual del EDM en la imagen como un punto objetivo del EDM, y controlar el sistema de accionamiento para alinear el punto objetivo del EDM con un punto de medición en la imagen.
40 7. Dispositivo de medición (10), según la reivindicación 5, en el que el eje óptico del ICD no es coaxial con el eje de medición del EDM y el controlador está configurado para realizar una función de alineación del EDM, que comprende:
45 (d) utilizar parámetros intrínsecos y extrínsecos del ICD junto con la orientación del EDM durante la exposición de la imagen para proyectar un punto de medición en la imagen como un rayo del ICD tridimensional en coordenadas universales;
50 (e) controlar el sistema de accionamiento para alinear el EDM con un punto en el rayo del ICD y, a continuación, realizar una medición de distancia;
(f) obtener un punto objetivo del EDM correspondiente a la distancia medida y a la dirección actual del EDM;
55 (g) calcular la distancia perpendicular del punto objetivo del EDM desde el rayo del ICD; y
(h) realizar un procedimiento de optimización que repita las etapas (e) a (g) una o varias veces para encontrar una dirección del EDM que reduzca y, en algunos casos, minimice la distancia del punto objetivo del EDM desde el rayo del ICD y, opcionalmente, en el que el procedimiento de optimización comprende repetir las etapas (e) a (g) hasta que se cumpla uno o varios de los siguientes criterios de terminación:
60 la distancia perpendicular del punto objetivo del EDM desde el rayo de ICD es pequeña;
el cambio angular en la orientación del EDM en una iteración es menor que la resolución del sistema de accionamiento o los sensores de dirección del EDM; y
65 el número de iteraciones ha excedido un límite predefinido.
8. Dispositivo de medición, según cualquiera de las reivindicaciones 6 y 7, en el que el controlador está configurado

para realizar una función de medición, que comprende:

utilizar la dirección actual del EDM junto con una medición de distancia para obtener una coordenada tridimensional del punto objetivo del EDM que corresponde, en este caso, al punto de medición; o

5 utilizar un punto a lo largo del rayo del ICD que está más cercano al punto objetivo del EDM para obtener una coordenada tridimensional para el punto de medición.

9. Dispositivo de medición (10), según cualquier reivindicación anterior, en el que el controlador está configurado para tener en cuenta un cambio en la dirección o distancia del EDM durante el período de exposición, mediante:

10 utilizar una sola lectura de dirección y/o distancia desde un punto durante el período de exposición, por ejemplo, un punto medio, o
utilizar múltiples lecturas tomadas durante el período de exposición.

15 10. Dispositivo de medición (10), según cualquier reivindicación anterior, que comprende una luz cuya dirección está alineada con el eje óptico del ICD, estando acoplada mecánicamente la luz al ICD para moverse en relación fija con el ICD y, opcionalmente, en el que el ángulo de iluminación coincide aproximadamente con el campo de visión angular del ICD.

20 11. Dispositivo de medición (10), según cualquier reivindicación anterior, que comprende un filtro óptico integrado, tal como un filtro de paso de banda, que filtra la luz que entra en la cámara, y/o que comprende una luz (24) que puede ser adaptada para emitir a una frecuencia con el fin de llenar un valle en el espectro de emisión del Sol.

25 12. Dispositivo de medición (10), según cualquier reivindicación anterior cuando depende de la reivindicación 9, en el que el controlador está configurado para:

i) si es necesario, controlar el sistema de accionamiento para girar el EDM de tal manera que el punto de medición esté dentro de la imagen;

j) localizar el punto de medición dentro de la imagen; y

30 k) realizar la función de alineación del EDM seguida de la función de medición para proporcionar la localización 3D del punto de medición y, opcionalmente, en el que el controlador está configurado para repetir secuencialmente las etapas i) a k) para cada uno de los puntos de medición, y/o en el que el controlador está configurado para repetir las etapas j) y k) para uno solo de los puntos de medición, para proporcionar un flujo de datos de medición, tal como una medición para cada secuencia de imágenes del ICD,

35 y/o en el que el controlador está configurado de tal manera que si uno o varios de los puntos de medición no puede ser localizado dentro de la imagen, entonces el EDM se gira a través de una secuencia de direcciones para buscar y, a continuación, devolver los puntos de medición al campo de visión para su localización.

40 13. Conjunto de dispositivos de medición, que comprende:

- un primer dispositivo de medición (10), según cualquier reivindicación anterior;

45 - uno o varios dispositivos de medición adicionales, estando cada uno configurado para determinar la dirección de uno o varios puntos de medición con respecto al dispositivo de medición adicional, comprendiendo cada dispositivo de medición adicional:

un ICD que puede funcionar para emitir imágenes digitales;

uno o varios sensores para determinar la orientación del ICD; y

50 un controlador dispuesto para recibir datos de los uno o varios sensores y del ICD, estando configurado el controlador para:

(l) asociar una imagen con la orientación del ICD durante la exposición de la imagen; y

(m) localizar uno de los puntos de medición dentro de la imagen; y

55 (n) utilizar la localización del punto de medición dentro de la imagen en combinación con la orientación del ICD para establecer la dirección del punto de medición con respecto al dispositivo de medición adicional; y

- un sistema de sincronización configurado para hacer que las imágenes sean capturadas de manera síncrona por el primero y por los dispositivos de medición adicionales,

60 en el que:

(o) el controlador del primer dispositivo de medición está configurado para proyectar las posiciones tridimensionales de una pluralidad de puntos de medición en coordenadas de la imagen para cualesquiera otros dispositivos de medición;

65 (p) el controlador de cada dispositivo de medición está configurado para localizar cada punto de medición

en su imagen respectiva; y

(q) uno de los controladores está configurado para utilizar una posición y orientación conocidas de cada dispositivo de medición dentro del sistema de coordenadas universales junto con parámetros intrínsecos y extrínsecos de cada ICD y la posición localizada de cada punto en cada imagen, para determinar la posición 3D de cada punto de medición a calcular con respecto a los dispositivos de medición, de tal manera que las etapas (p) y (q) se pueden repetir para proporcionar un flujo de datos de medición; una medición para cada imagen del ICD de cada dispositivo de medición.

14. Procedimiento de calibración de parámetros intrínsecos y extrínsecos del dispositivo de captura de imagen (ICD) para un dispositivo de medición, según cualquier reivindicación anterior, que comprende un ICD que puede funcionar para emitir imágenes digitales y está acoplado a un dispositivo de medición de distancia (EDM) sin contacto de tal manera que el ICD se mueve en una relación fija con respecto al EDM, describiendo los parámetros intrínsecos los parámetros del ICD, describiendo los parámetros extrínsecos la posición y orientación del sistema de coordenadas del ICD con respecto al sistema de coordenadas del EDM, comprendiendo el procedimiento:

(a) establecer una primera aproximación de:

la posición y orientación del sistema de coordenadas del ICD con respecto al sistema de coordenadas del EDM;

la distancia focal del ICD;

el tamaño de píxel del ICD;

un punto principal, estando definido el punto principal por el punto de intersección del eje óptico con el sensor de imagen del ICD, tomándose opcionalmente la primera aproximación en el centro del sensor de imagen del ICD; y los parámetros de distorsión del ICD;

(b) seleccionar un punto de calibración que tenga una posición tridimensional conocida con respecto al dispositivo de medición de distancia;

(c) localizar el punto de calibración dentro de la imagen para registrar una localización (x_0, y_0) ;

(d) registrar los ángulos de giro e inclinación de la dirección del EDM $(h_0$ y $v_0)$;

(e) opcionalmente, actualizar la primera aproximación del punto principal para igualar a (x_0, y_0) ;

(f) cambiar la orientación del EDM para que el punto de calibración se mueva dentro la imagen;

(g) localizar el punto de calibración dentro de la imagen y registrar las coordenadas de la imagen del punto de calibración (x_1, y_1) y el ángulo de giro e inclinación del EDM $(h_1$ y $v_1)$;

(h) resolver la distancia focal del ICD, en el que la resolución de la distancia focal del ICD comprende:

calcular la distancia focal utilizando un modelo de cámara estenopeica; y

(i) resolver el balanceo del ICD con respecto al sistema de coordenadas del EDM, de manera que resolver el balanceo del ICD con respecto al sistema de coordenadas del EDM comprende:

definir un segmento de línea que corta (x_0, y_0) y (x_1, y_1) ; y

medir la dirección de la línea para calcular el ángulo de balanceo, y, opcionalmente, comprendiendo además:

(j) resolver el giro e inclinación del ICD con respecto al sistema de coordenadas del EDM, de manera que la resolución del giro e inclinación del ICD con respecto al sistema de coordenadas del EDM comprende:

actualizar las primeras aproximaciones para distancia focal, balanceo del ICD y punto principal obtenidos en la etapa (a) con los valores correspondientes obtenidos en las etapas (g), (h) y (e);

utilizar los parámetros actualizados para proyectar la posición 3D conocida del punto de calibración de nuevo en las coordenadas de la imagen (x_2, y_2) ; y

comparar la posición proyectada (x_2, y_2) con la posición localizada (x_1, y_1) para establecer una diferencia $(x_2 - x_1, y_2 - y_1)$ que está directamente relacionada con los ángulos de giro e inclinación del ICD dentro del sistema de coordenadas del EDM.

15. Procedimiento de determinación de la localización de uno o varios puntos de medición con respecto a un dispositivo de medición, estando dispuesto el dispositivo de medición para ser acoplado a un dispositivo de medición de distancia (EDM) sin contacto y a uno o varios sensores para determinar la orientación del EDM, comprendiendo el dispositivo de medición:

un dispositivo de captura de imágenes (ICD) que puede funcionar para emitir imágenes digitales y que está dispuesto para ser acoplado al EDM de tal manera que el ICD se mueve en una relación conocida con respecto al EDM; y

un controlador dispuesto para recibir datos de los uno o varios sensores y del ICD, incluyendo el controlador un subsistema de sincronización de datos dispuesto de tal manera que se conoce la dirección del ICD durante el período de exposición de la imagen, estando configurado el controlador para realizar una o varias etapas del procedimiento, comprendiendo el procedimiento:

a) asociar una imagen con la orientación del EDM durante la exposición de la imagen;

- b) localizar uno de los puntos de medición dentro de la imagen; y
- c) utilizar la localización del punto de medición dentro de la imagen en combinación con la orientación del EDM para establecer la dirección del punto de medición con respecto al dispositivo de medición.

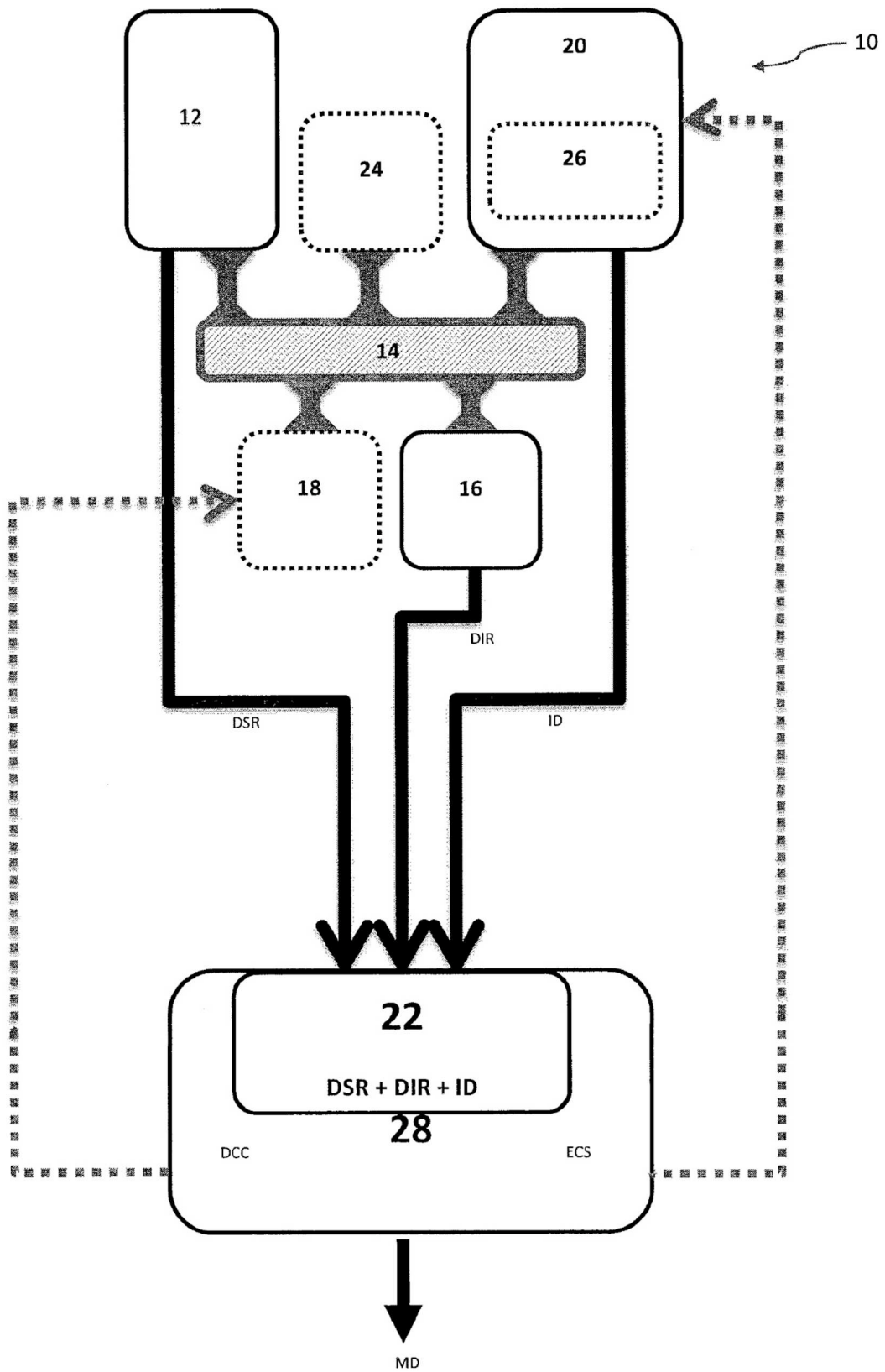


Figura 1

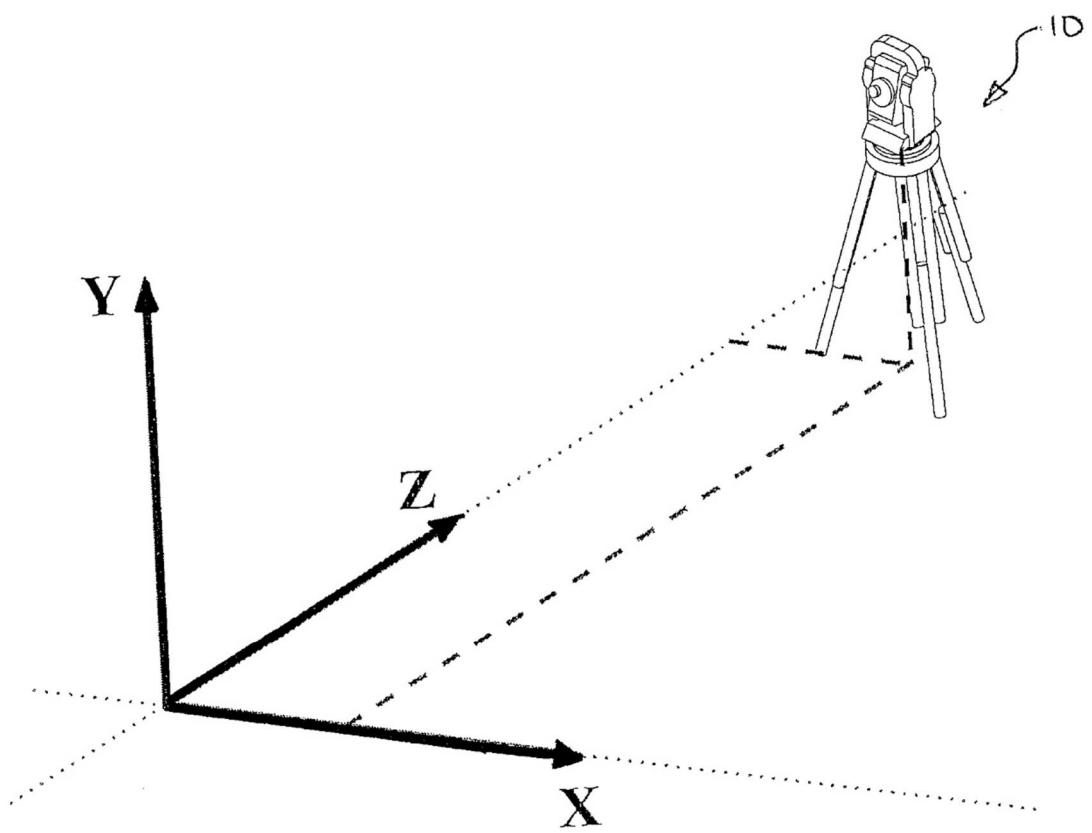


Figura 2

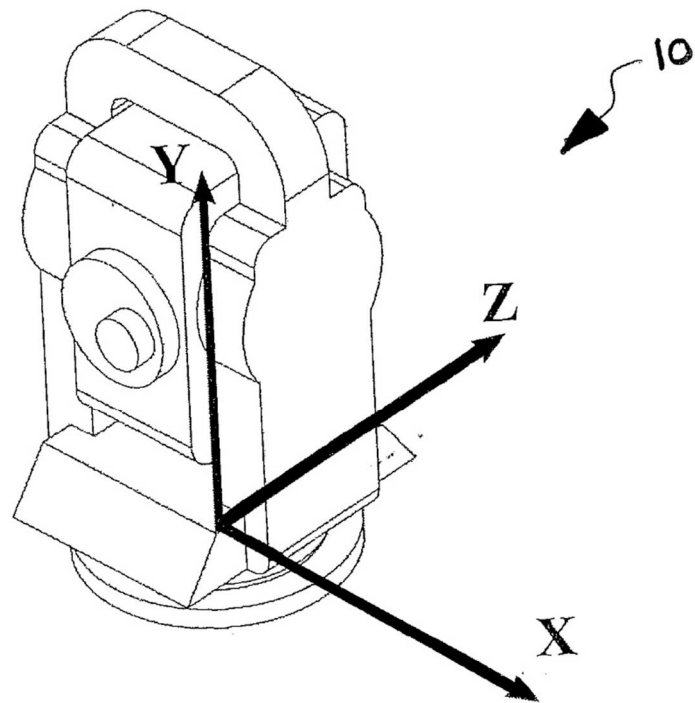


Figura 3

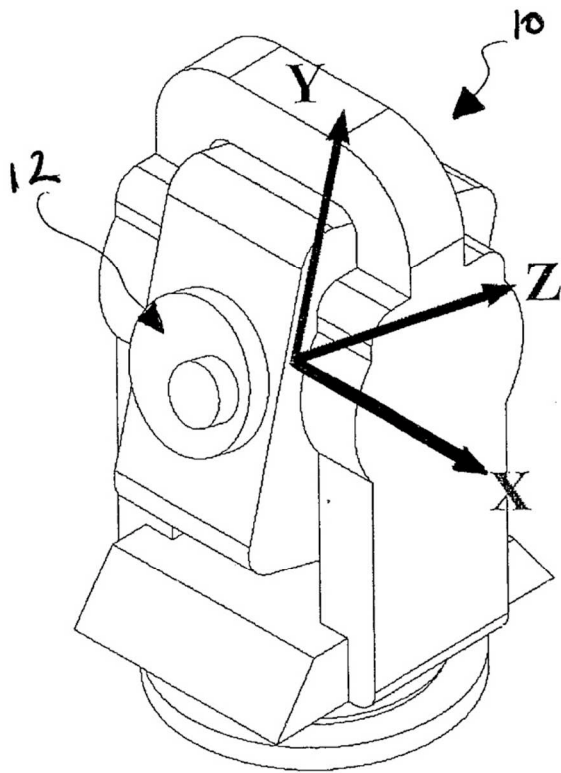


Figura 4

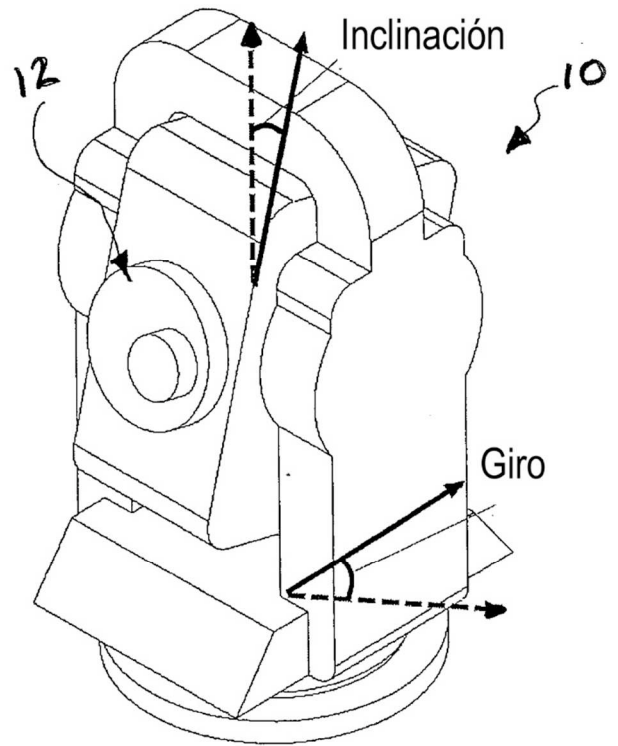


Figura 5

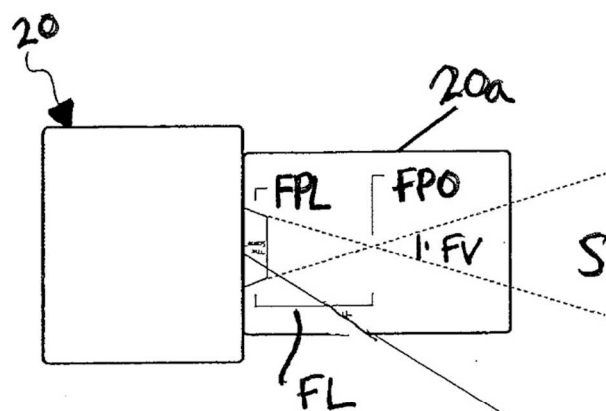


Figura 6

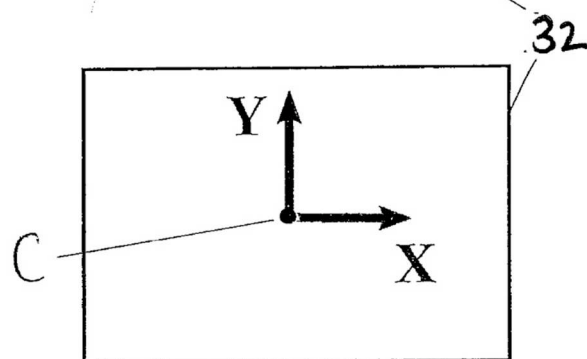


Figura 7

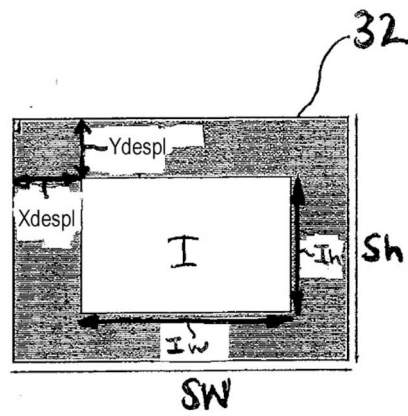


Figura 8

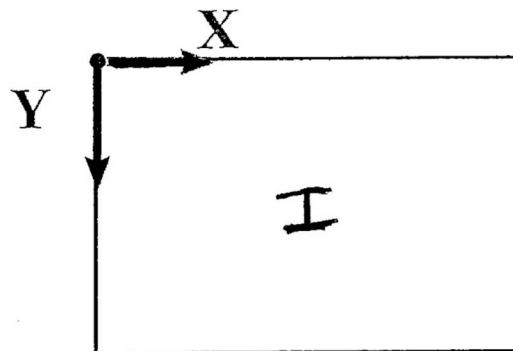


Figura 9

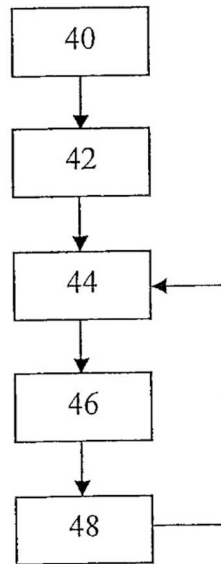


Figura 10

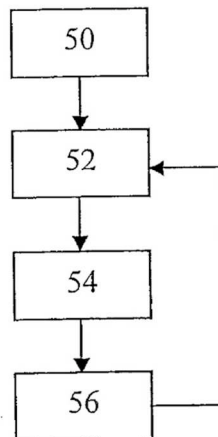


Figura 11

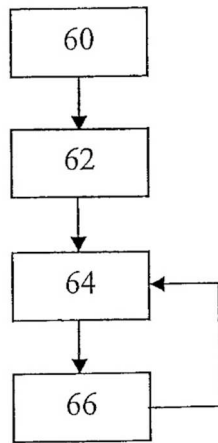


Figura 12

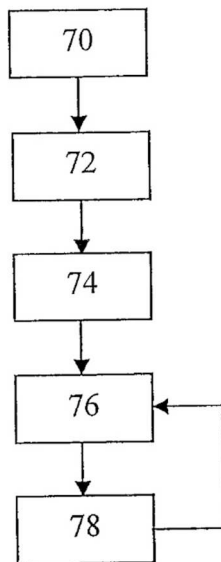


Figura 13

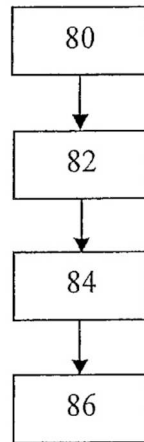


Figura 14

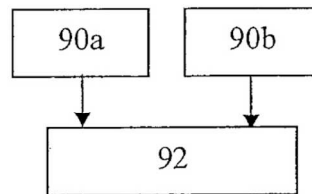


Figura 15

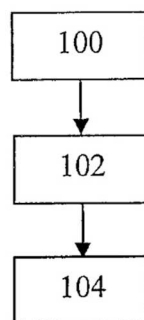


Figura 16

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.

Documentos de patentes citados en la descripción

- WO 2012081995 A1
- US 20120262550 A1
- US 2012120391 A1
- US 2010085437 A1
- US 5473368 A
- GB 2003004606 W