

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 785 994**

51 Int. Cl.:

G01B 11/00 (2006.01)

G06T 7/00 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.11.2002 PCT/FI2002/00929**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.05.2003 WO03044458**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.11.2002 E 02803417 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 1459031**

54 Título: **Procedimiento y sistema para la calibración de un sistema de visión por ordenador**

30 Prioridad:

23.11.2001 FI 20012296

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

08.10.2020

73 Titular/es:

OY MAPVISION LTD (100.0%)

**Ruosilantie 10
00390 Helsinki, FI**

72 Inventor/es:

**LEIKAS, ESA y
HAGGREN, HENRIK**

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 785 994 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

Procedimiento y sistema para la calibración de un sistema de visión por ordenador

5 SECTOR TÉCNICO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a la medición de cámaras tridimensionales. La presente invención se refiere a un procedimiento y sistema para la calibración de un sistema de visión por ordenador utilizando una pieza de calibración.

10

ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

Los sistemas de visión por ordenador se basan en la información obtenida de varios dispositivos de medición. La información se puede medir utilizando, por ejemplo, un dispositivo láser, un cabezal de medición o por medio del reconocimiento a partir de una imagen. La información obtenida se puede utilizar, por ejemplo, en sistemas de control de calidad, en los que, basándose en esta información, es posible determinar, por ejemplo, la exactitud de la forma de un objeto, los errores de color o el número de nudos de una madera aserrada.

15

20

En general, un sistema de visión por ordenador está formado por cámaras. Los sistemas de visión por ordenador tradicionales solo comprendían una cámara, que sacaba una foto del objeto. Mediante el proceso de la foto, se podían obtener varias conclusiones de la misma. Utilizando diferentes algoritmos, es posible distinguir diferentes niveles en las imágenes basándose en sus límites. Los límites se identifican basándose en la conversión de la intensidad. Otro procedimiento de reconocimiento de formas en una imagen es conectarla a máscaras y filtros, de tal manera que solo se distinguirán ciertos tipos de puntos en la imagen. Los patrones formados por los puntos en la

25

imagen se pueden comparar con modelos en una base de datos y reconocerse de esta manera. En un sistema de visión por ordenador realmente tridimensional, se necesitan varias cámaras. Para determinar una coordenada tridimensional, se necesita una imagen del mismo punto desde, como mínimo, dos cámaras. Los puntos normalmente se forman en la superficie del objeto mediante iluminación. Típicamente, la iluminación se implementa utilizando un láser. El punto se representa mediante cámaras calibradas en el mismo sistema de coordenadas. Si se puede producir una imagen del punto mediante, como mínimo, dos cámaras, es posible determinar las coordenadas tridimensionales del punto. Para la misma posición, se mide un cierto número de puntos. El conjunto de puntos así formado se denomina una nube de puntos.

30

35

El objeto a medir se puede colocar en un soporte desplazable, por ejemplo, una mesa giratoria. Una "mesa giratoria" significa un soporte que gira sobre su eje. Si el objeto se puede girar, entonces no es necesario que el sistema de cámaras sea capaz de medir todo el objeto desde una posición, y, normalmente, se necesitan menos cámaras que si las medidas se realizan con el objeto en un soporte fijo. El soporte desplazable puede ser también un portador que se desplaza sobre raíles.

40

Para realizar mediciones, el sistema de visión por ordenador debe estar calibrado, porque las posiciones de las cámaras o los parámetros de error de la lente no se conocen. La calibración se refiere a una operación por medio de la cual se determina la conexión entre las coordenadas de imagen bidimensionales de los puntos como los perciben las cámaras y las coordenadas tridimensionales obtenidas como resultado.

45

Típicamente, los sistemas de cámaras se calibran midiendo puntos de calibración en el campo visual de las cámaras y utilizando piezas de calibración que comprenden un cierto número de puntos tridimensionales. En la Patente finlandesa 74556 se describe un procedimiento de calibración. Los requisitos de precisión relativos a los sistemas de cámaras y a la calibración varían en función de la aplicación. La calibración de un sistema de cámaras es un problema de naturaleza no lineal, de manera que los modelos matemáticos detrás de la misma son complicados, por ejemplo, debido a los errores de la lente. Diferentes procedimientos de calibración se describen, por ejemplo, en un artículo titulado "Geometric Camera Calibration Using Circular Control Points" de la edición de octubre de 2000 de la publicación "IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence".

50

55

Los modelos matemáticos complicados son difíciles de gestionar. Por otro lado, simplificar demasiado los modelos afecta a la precisión de la calibración. Además, en la mayoría de procedimientos se asume que las vistas percibidas por las cámaras son insesgadas y que el único error que aparece en las mismas es el ruido aleatorio distribuido uniformemente. Estos problemas se pueden reducir modificando el modelo matemático, pero típicamente esto conduce a un modelo más complicado o a un deterioro excesivo de la precisión. Sin embargo, los errores de la lente y otras fuentes de error inherentes a la cámara no se pueden eliminar completamente.

60

Las Patentes DE19525561, WO9534044, EP0902935 y US4639878 dan a conocer soluciones de la técnica anterior que tienen el requisito de coordenadas tridimensionales conocidas para la calibración. Por razones de sencillez, se citará también un documento de referencia no de patente de este sector técnico: AGUILAR J J ET AL: "Stereo vision for 3D measurement: accuracy analysis, calibration and industrial applications", MEDICIÓN, INSTITUTO DE MEDICIÓN Y CONTROL. LONDRES, REINO UNIDO, vol. 18, nº 4, 1 de agosto de 1996 (1996-08-01), páginas

65

193-200, ISSN: 0263-2241.

OBJETIVO DE LA INVENCION

- 5 El objetivo de la invención es eliminar los inconvenientes anteriores o, como mínimo, mitigarlos significativamente. Un objetivo concreto de la invención es dar a conocer un nuevo tipo de procedimiento y sistema para calibrar un sistema de visión por ordenador, eliminando así la necesidad de laboriosas mediciones de calibración tridimensionales o piezas de calibración complicadas e inasequibles.
- 10 La presente invención da a conocer un procedimiento, tal como se define en la reivindicación 1, y un aparato, tal como se define en la reivindicación 7, que abordan los problemas mencionados anteriormente. Las reivindicaciones dependientes desarrollan aún más la idea de la presente invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

- 15 La presente invención se refiere a un procedimiento y un sistema para calibrar un sistema de visión por ordenador. El sistema está formado por cámaras, una pieza de calibración, una placa de soporte y un sistema de datos.

- 20 El sistema de la invención se basa en una pieza de calibración dotada de marcas de enfoque. Las marcas de enfoque son marcas bidimensionales comunes en la superficie de la pieza de calibración. Las marcas de enfoque típicas utilizadas consisten en círculos. No es necesario que la pieza de calibración comprenda ninguna forma tridimensional concreta. La distancia entre, como mínimo, dos marcas de enfoque en la pieza de calibración se mide con la mayor precisión posible. Sin embargo, más importante que la precisión de la medición es que la distancia entre las marcas de enfoque debe permanecer sin cambios durante la calibración, porque la distancia absoluta entre las marcas se puede controlar de todos modos después de la calibración. Si es necesario, se pueden usar varias piezas de calibración en la misma operación de calibración, o la distancia entre las marcas de enfoque se puede ajustar por medio de un mecanismo parecido a un tornillo micrométrico, pero esto impone grandes requisitos a las piezas de calibración, para garantizar que siempre representan la misma escala a trazar. En principio, basta con definir la distancia entre dos puntos mediante cualquier procedimiento durante la calibración, pero, en la práctica, una forma sencilla es utilizar una pieza de calibración. Para garantizar que la distancia entre las marcas de enfoque permanece sin cambios, la pieza de calibración está hecha de, por ejemplo, fibra de carbono, metal invar o algún otro material que tenga una buena retención de propiedades. Típicamente, la pieza de calibración tiene forma de barra, pero especialmente una pieza de calibración con varias marcas de enfoque puede tener también una forma poligonal. No es necesario conocer las distancias entre todas las marcas de enfoque de la pieza de calibración, pero se debe conocer, como mínimo, una distancia. Esta distancia, sola o junto con otras distancias conocidas entre marcas de enfoque en la pieza de calibración, determina la escala del sistema a calibrar. En la calibración según este procedimiento, es posible definir todos los parámetros de conversión, excepto la escala de bidimensional a tridimensional y viceversa, basándose exclusivamente en los puntos comunes individuales que ven las cámaras. La calibración llevada a cabo sin ni siquiera una de las distancias hace posible determinar la forma y las dimensiones internas de un objeto, pero su tamaño absoluto seguirá siendo desconocido.
- 30
- 35
- 40

- El número mínimo matemático de puntos de calibración es cinco, pero, en la práctica, por ejemplo, para la determinación de los errores de la lente, se necesitan más puntos de calibración. Asimismo, se debe conocer la distancia entre, como mínimo, dos de todos los puntos, pero, en la práctica, incluso así es ventajoso conocer más de una distancia. En una situación de calibración típica, la pieza de calibración se coloca en una placa de soporte, de tal manera que, como mínimo, dos cámaras puedan verla. A continuación, se miden las coordenadas de imagen bidimensionales de las marcas de enfoque. Esta etapa se repite desplazando la pieza de calibración a varias posiciones diferentes. En su forma básica, las mediciones de calibración solo comprenden estas etapas, pero es posible añadir varias etapas diferentes al procedimiento de calibración. Por ejemplo, si se han añadido puntos de calibración fijos al sistema con el fin de determinar las direcciones de los ejes de coordenadas, estos puntos se miden también. En lugar de marcas circulares, es posible utilizar también otras marcas. En muchos casos, se miden puntos individuales cuyas distancias mutuas son desconocidas, pero que, si se ven simultáneamente mediante varias cámaras, son útiles para determinar las posiciones mutuas y los errores de las lentes de las cámaras. Las marcas de enfoque se pueden colocar también en superficies de las que se sabe que son planas, en cuyo caso la información relativa a las posiciones de los puntos en el plano se pueden utilizar en el cálculo de la calibración. No es necesario que los puntos de calibración consistan en marcas de enfoque; en su lugar, pueden ser, por ejemplo, puntos de luz.
- 45
- 50
- 55

- Después de que se han realizado todas las mediciones de los puntos de calibración con las cámaras, se realiza el cálculo de la calibración. En este cálculo, se determinan los parámetros pertenecientes al sistema de cámaras, tales como, por ejemplo, las posiciones mutuas de las cámaras en el espacio y la magnitud de los errores de las lentes. Como se desprende de la descripción anterior, la información inicial esencial requerida solo comprende las coordenadas de imagen bidimensionales de las marcas de enfoque que ven simultáneamente las cámaras. Después de esto, si se desea, las posiciones de las cámaras se pueden medir o introducir con una precisión razonable. En el cálculo de la calibración, la escala del espacio que ven las cámaras se calcula a partir de la distancia tridimensional entre, como mínimo, dos puntos en la pieza de calibración. Finalmente, los parámetros de calibración se guardan en
- 60
- 65

memoria. En la recalibración rápida se pueden utilizar piezas de calibración fijas acopladas al soporte. Si es necesario, se puede disponer que la recalibración se realice automáticamente en relación con la medición actual.

La invención facilita la calibración de sistemas de visión por máquina tridimensionales. Usando la invención, los sistemas de visión por máquina se pueden calibrar sin procedimientos matemáticos complicados. En el procedimiento de la invención, el sistema se calibra sin ninguna pieza de referencia que contenga puntos tridimensionales ni ningún punto tridimensional medido previamente, cuya colocación o medición es, en muchos casos, difícil e inasequible, cuando no incluso imposible. Además, la calibración de un sistema de visión por máquina llevada a cabo utilizando una pieza de calibración según la invención es una operación rápida.

LISTA DE FIGURAS

A continuación, la invención se describirá en detalle haciendo referencia a ejemplos de realizaciones, en los que

la figura 1 presenta un diagrama funcional que representa el procedimiento de la invención, y la figura 2 presenta una realización del sistema de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La figura 1 presenta un diagrama que visualiza la operación de un procedimiento según una realización preferente de la invención. Al comienzo de la medición, una pieza de calibración se coloca en una placa de soporte, etapa 10. La pieza de calibración se sitúa en la placa de tal manera que, como mínimo, dos cámaras puedan verla. La calibración se inicia midiendo las marcas de enfoque en la pieza de calibración, etapa 11. En este ejemplo, las marcas de enfoque son círculos dibujados en la superficie de una pieza similar a una placa. Cuando las marcas de enfoque se miden con las cámaras, aparecen como elipses, salvo que la cámara se coloque perpendicularmente sobre la marca de enfoque.

Después de que se han medido las coordenadas de la imagen de las marcas de enfoque, utilizando la pieza de calibración varias posiciones, si es necesario, se pueden medir también otros objetos, si es necesario, por ejemplo, puntos de calibración fijos montados en la placa de soporte, etapa 12. Los puntos de calibración fijos se utilizan en las recalibraciones, que se disponen para realizarse automáticamente, si es necesario. Si se han montado puntos de calibración fijos en la placa de soporte, se miden, etapa 13.

Después de la medición de los puntos, a menudo se miden las posiciones aproximadas de la cámara, ya que esto permite un cálculo de la calibración más sencillo y más rápido. Las posiciones de la cámara se pueden medir o introducir en el sistema, etapa 14. No es necesario que las posiciones se determinen con precisión; en su lugar, basta con una determinación aproximada.

Después de que se han medido o introducido en el sistema todos los valores requeridos, se lleva a cabo el cálculo de la calibración utilizando los parámetros así obtenidos, etapa 15. Finalmente, los parámetros de la calibración se almacenan en la memoria del sistema.

El sistema según la figura 2 comprende un sistema de cámaras, que en la realización de ejemplo está formado por dos cámaras CAM1 y CAM2, una pieza de calibración 21, una placa de soporte 20 y un sistema de datos DTE. La pieza de calibración está dotada de marcas de enfoque 22, situadas cerca de cada esquina de la misma. Además, se pueden colocar puntos de calibración fijos 23 en la placa de soporte 20.

Para implementar un sistema de visión por ordenador tridimensional, se necesitan, como mínimo, dos cámaras CAM1 y CAM2, pero se pueden utilizar más de dos cámaras. Típicamente, se utilizan de cuatro a ocho cámaras. Las cámaras se conectan al sistema de datos, que sirve para controlar la operación de las cámaras y llevar a cabo los cálculos de la calibración actual.

En el sistema de calibración de la invención, la pieza de calibración 21 se coloca en una placa de soporte 20. La pieza de calibración usada aquí es un polígono en el que cada borde tiene una longitud diferente. Como los bordes tienen longitudes diferentes, es sencillo determinar la posición orientativa de la pieza, porque las marcas de enfoque forman un patrón asimétrico. Las marcas de enfoque 22 se colocan en las esquinas de la pieza de calibración. Las marcas de enfoque consisten en patrones circulares. La distancia entre las marcas se ha medido con exactitud. Las marcas se colocan en las esquinas 21 de la pieza de calibración, que está hecha de un material especial. Un requisito con respecto al material especial es que debe tener propiedades invariables. La forma de la pieza de calibración 21 no debe cambiar, por ejemplo, como consecuencia de la expansión térmica. Materiales apropiados para hacer la pieza de calibración son, por ejemplo, metal invar y fibra de carbono. El punto esencial es que las distancias entre las marcas de enfoque 22 permanezcan constantes.

En relación con la calibración, se determinan las posiciones de las marcas de enfoque fijas 23 acopladas a la placa de soporte 20. Las marcas de enfoque se utilizan en las recalibraciones rápidas. El sistema se puede recalibrar automáticamente, por ejemplo, después de que se haya alcanzado un número determinado de mediciones. La

recalibración es necesaria, por ejemplo, para verificar las posiciones de las cámaras y la placa de soporte. Sin embargo, la distancia entre las marcas de enfoque 23 situadas en la placa de soporte 20 puede cambiar con el tiempo por diversos motivos. Debido a esto, cada cierto tiempo se debe volver a llevar a cabo la calibración utilizando una pieza de calibración.

- 5 La invención no se limita a los ejemplos de realizaciones descritos anteriormente; en su lugar, son posibles muchas variaciones dentro del alcance del concepto inventivo definido en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la calibración de un sistema de visión por ordenador tridimensional, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:
- 5 disponer marcas de enfoque bidimensionales (22) en una pieza de calibración (21), de tal manera que la distancia tridimensional mutua entre, como mínimo, dos de todas las marcas de enfoque sea conocida; medir (11) las coordenadas de imagen bidimensionales de las marcas de enfoque por medio de, como mínimo, dos cámaras al mismo tiempo;
- 10 calcular (15) los parámetros de conversión para la conversión de las coordenadas de imagen bidimensionales en coordenadas tridimensionales basándose en las coordenadas de imagen bidimensionales, y en solo la distancia tridimensional mutua entre, como mínimo, dos de las marcas de enfoque.
2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que el procedimiento comprende, además, las etapas de:
- 15 calcular la posición orientativa de la pieza de calibración en algunas o todas las localizaciones en las que se coloca durante la calibración; y los datos de la posición orientativa se utilizan en el cálculo de la calibración.
- 20 3. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que se utilizan marcas de enfoque que consisten en círculos.
4. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la pieza de calibración se monta de forma fija o extraíble en el campo de visión de las, como mínimo, dos cámaras.
- 25 5. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que las como mínimo dos cámaras se recalibran utilizando las marcas de enfoque en la pieza de calibración, que se monta de forma fija o extraíble en el campo de visión de las cámaras.
- 30 6. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que las coordenadas tridimensionales conocidas se pueden convertir en coordenadas de imagen bidimensionales.
7. Sistema para la calibración de un sistema de visión por ordenador tridimensional, comprendiendo dicho sistema:
- 35 un sistema de cámaras (CAM1, CAM2) que comprende, como mínimo, dos cámaras; un sistema de datos (DTE); y una placa de soporte (20)
- 40 **caracterizado por que** el sistema comprende, además, una pieza de calibración plana (21) que tiene marcas de enfoque bidimensionales (22) dispuestas de tal manera que la distancia tridimensional mutua entre, como mínimo, dos de todas las marcas de enfoque es conocida; y dicho sistema se configura para:
- 45 medir las coordenadas de imagen bidimensionales de las marcas de enfoque por medio de las, como mínimo, dos cámaras al mismo tiempo; calcular los parámetros de conversión para la conversión de las coordenadas de imagen bidimensionales en coordenadas tridimensionales basándose en las coordenadas de imagen bidimensionales, y en solo la distancia tridimensional mutua entre, como mínimo, dos de las marcas de enfoque.
- 50 8. Sistema, según la reivindicación 7, en el que la pieza de calibración (21) está hecha de un material cuyas propiedades permanecen constantes cuando cambian las condiciones en el entorno de medición.
9. Sistema, según las reivindicaciones 7 y 8, en el que la pieza de calibración (21) es un polígono.
- 10 10. Sistema, según la reivindicación 9, en el que los bordes de la pieza de calibración (21) tienen longitudes diferentes.
- 55 11. Sistema, según las reivindicaciones 7, 8, 9 y 10, en el que la pieza de calibración (21) está dotada de marcas de enfoque (22) situadas cerca de sus vértices.
12. Sistema, según las reivindicaciones 7 y 11, en el que la forma geométrica mutua de las marcas de enfoque es asimétrica.
- 60 13. Sistema, según la reivindicación 7, en el que la pieza de calibración se monta de forma fija o extraíble en la placa de soporte (20), y contiene marcas de enfoque.
14. Sistema, según la reivindicación 7, en el que se ha instalado el sistema de datos (DTE) para llevar a cabo los cálculos de la calibración.
- 65

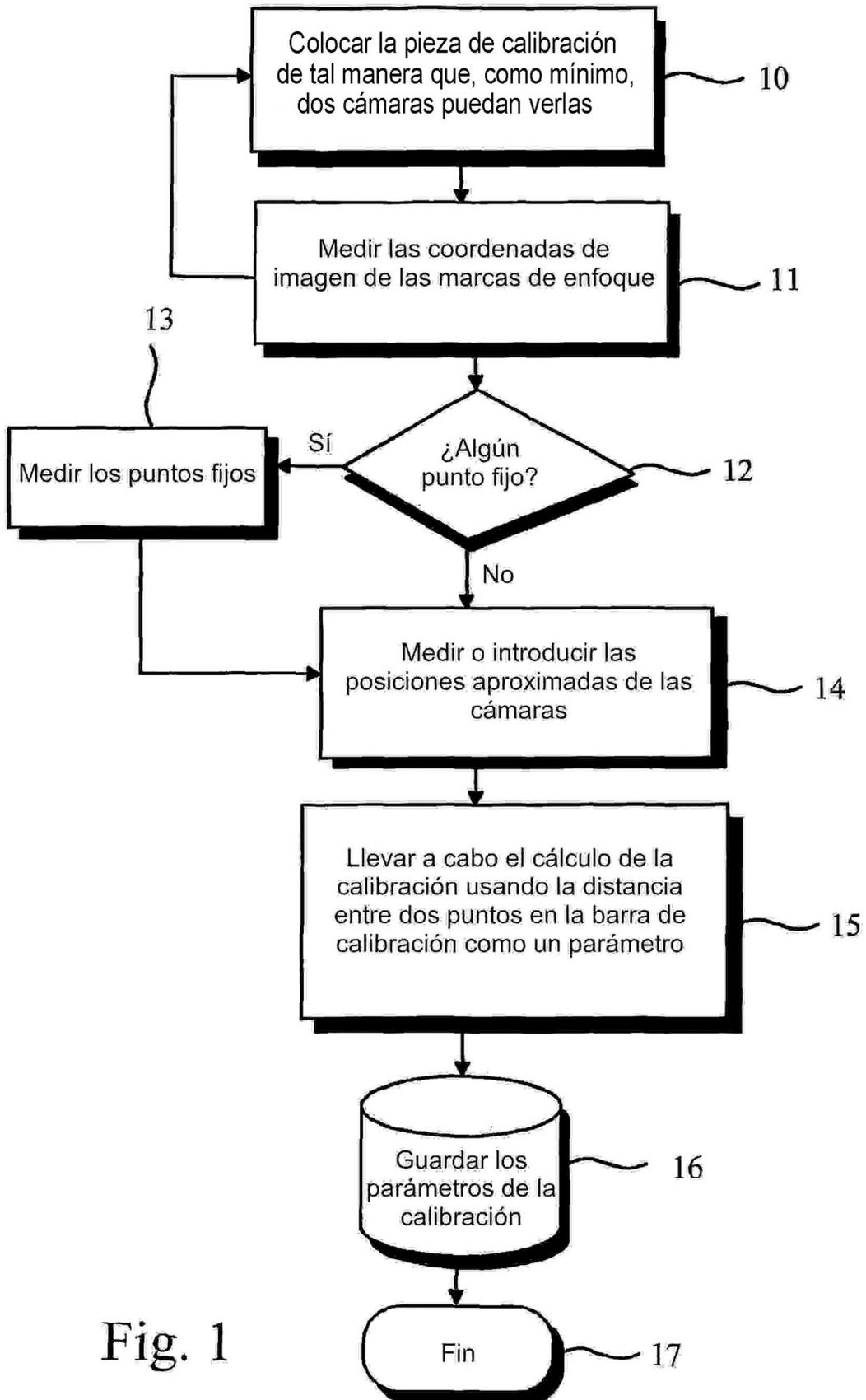


Fig. 1

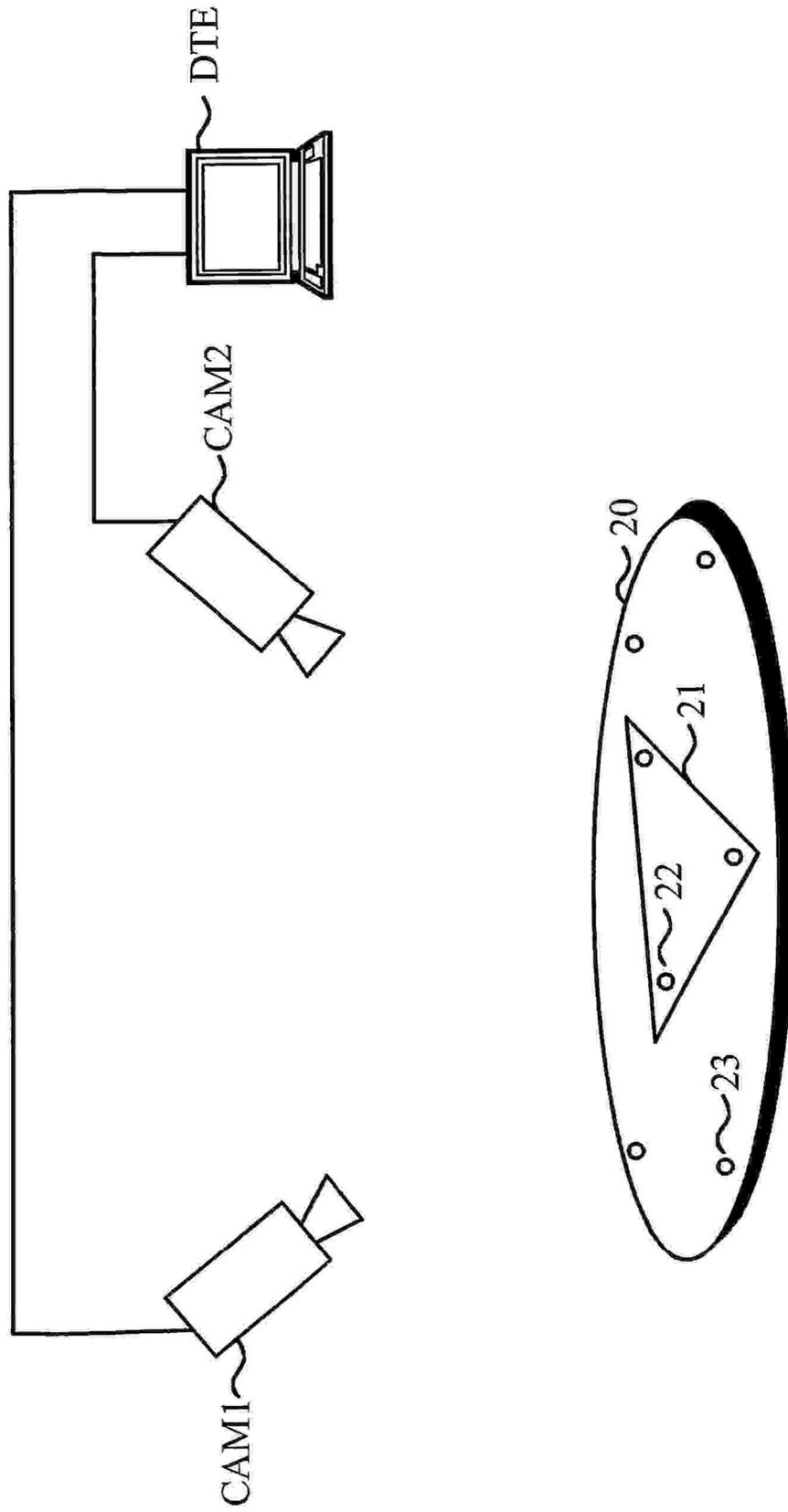


Fig. 2

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 *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

- FI 74556
- DE 19525561
- WO 9534044 A
- EP 0902935 A
- US 4639878 A

10

Literatura no patente citada en la descripción

- *Geometric Camera Calibration Using Circular Control Points*, October 2000
- *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*
- Stereo vision for 3D measurement: accuracy analysis, calibration and industrial applications. **AGUILAR J J et al.** MEASUREMENT. INSTITUTE OF MEASUREMENT AND CONTROL, 01 August 1996, vol. 18, 193-200