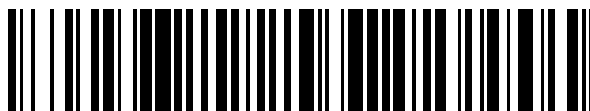


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 700 975**

51 Int. Cl.:

G06T 7/00 (2007.01)

G01B 11/245 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.05.2013 PCT/EP2013/060701**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.12.2013 WO13178540**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2013 E 13724838 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.10.2018 EP 2856424**

54 Título: **Procedimiento de mediciones tridimensionales por estereocorrelación que usa una representación paramétrica del objeto medido**

30 Prioridad:

01.06.2012 FR 1255093

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

20.02.2019

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.) (50.0%)**

3, rue Michel-Ange

75016 Paris, FR y

**ECOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE CACHAN
(50.0%)**

72 Inventor/es:

HILD, FRANÇOIS y

ROUX, STÉPHANE

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 700 975 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 de mediciones tridimensionales por estereocorrelación que usa una representación paramétrica del objeto medido

5 El campo general de la invención es el de los procedimientos de mediciones tridimensionales de objetos por unos medios ópticos, presentando estos procedimientos la ventaja de una medición sin contacto con el objeto. De manera más precisa, el campo de la invención es el de los procedimientos que usan la estereocorrelación. Estos procedimientos se conocen, igualmente, bajo el acrónimo "3D-DIC" que significa "Three Dimensions Digital Image Correlation".

10 De forma general, los procedimientos de estereocorrelación necesitan al menos dos cámaras de captura que permiten tomar unas imágenes del objeto a medir bajo dos ángulos diferentes y unos medios de análisis y de procesamiento de las imágenes procedentes de estas dos cámaras. El principio de la medición se ilustra en la figura 1. La superficie de un objeto O se representa por un conjunto de puntos M que tienen unas coordenadas (x, y, z) en un sistema de referencia (X, Y, Z) relacionado con el objeto. En el sistema de referencia (U1, V1) del plano de imagen de la primera cámara, la imagen del punto M está en M1 de coordenadas (u1, v1) y en el sistema de referencia (U2, V2) del plano de imagen de la segunda cámara, la imagen del punto M está en M2 de coordenadas (u2, v2). Conociendo las dos matrices de paso entre el sistema de referencia (X, Y, Z) y los sistemas de referencia (U1, V1) y (U2, V2), es posible, entonces, encontrar las coordenadas de cada punto M del objeto, conociendo las coordenadas de sus dos proyecciones M1 y M2 en los planos de imágenes de las dos cámaras.

20 A estos cambios de sistemas de referencias que son unos parámetros extrínsecos se añaden unas cantidades intrínsecas tales como las distancias focales de las ópticas de las cámaras, los parámetros de escala o también las coordenadas de los puntos focales que caracterizan a cada medio de toma de imagen usado. Estos dos conjuntos de parámetros deben conocerse, con el fin de poder reconstruir las formas tridimensionales de superficie del objeto. Se puede anotar que los dos conjuntos de parámetros pueden estar agrupados para definir la matriz de paso asociada a cada cámara; estando esta última determinada sin tener que distinguir necesariamente los parámetros intrínsecos y extrínsecos.

25 Los procedimientos de estereocorrelación incluyen dos etapas principales que son, por una parte, una etapa de calibración o calibración y, por otra parte, una etapa denominada de emparejamiento espacial que permite la determinación de las características geométricas del objeto medido. Estas dos primeras etapas pueden estar seguidas de una tercera etapa de seguimiento de las características geométricas en el tiempo. Esta última etapa es útil cuando el objeto experimenta un procesamiento susceptible de arrastrar unas deformaciones, por ejemplo, cuando se somete el objeto a un ensayo de resistencia mecánica o durante un procedimiento de fabricación o de ensamblaje.

30 Como se ha visto esto en el párrafo anterior, es indispensable conocer perfectamente el nexo existente entre el sistema de referencia del objeto y los sistemas de referencia de los planos de imágenes de las dos cámaras. Para realizar esta etapa de calibración, se usa un calibre, una mira de calibración tridimensional cuya geometría se conoce perfectamente. A título de ejemplo, la figura 2 representa la calibración del plano de imagen de la cámara 1. La mira de calibración M_E está constituida por una o por dos superficies planas que forman entre sí un ángulo conocido. Cada superficie está cubierta por formas geométricas destacables negras y blancas que pueden ser, por ejemplo, unos rectángulos o unos discos. De este modo, la mira de la figura 2 está cubierta por un damero negro y blanco.

35 En el ejemplo de la figura 2, tres puntos del damero P1, P2 y P3 de posición conocida dan tres imágenes proyectadas I1, I2 e I3 de posición conocida en el plano de imagen de la cámara 1. Se demuestra que son necesarios al menos ocho puntos de calibración para obtener una calibración del sistema de medición, es decir, la determinación los elementos de las matrices de paso. No siendo las ópticas de las cámaras perfectamente semejantes e incluyendo unas aberraciones ópticas, la fase de calibración puede introducir, igualmente, unas correcciones de aberración para cada cámara y, entonces, necesita un mayor número de puntos de medición. Esta fase es necesariamente pesada si se desea obtener una gran precisión de medición en un volumen de medición dado.

40 La función de la etapa de emparejamiento espacial consiste en encontrar en los dos planos de imagen los dos puntos de proyección M1 y M2 que corresponden a un mismo punto objeto M. Estando estos puntos determinados, se pueden, encontrar, entonces, las coordenadas tridimensionales del punto M. Se implementan diferentes métodos para realizar este emparejamiento. Se basan en un código de Correlación de Imágenes Digitales, también conocido bajo los acrónimos francés "CIN" o inglés "DIC".

45 Existen diferentes tipos de códigos CIN. Un primer tipo consiste en realizar unas correlaciones locales entre las dos imágenes de un mismo objeto, de forma que se detecte para un punto M1 que pertenece al primer plano de imagen el punto M2 de correspondencia en la segunda imagen. Para realizar esta correlación, las imágenes se recortan en "imágenes reducidas" de pequeñas dimensiones. De este modo, una imagen reducida puede ser un cuadrado que incluye, por ejemplo, 16x16 píxeles. Para una primera imagen reducida determinada que pertenece al primer plano

de imagen, se busca la segunda imagen reducida correspondiente en el segundo plano de imagen. Teniendo en cuenta que las imágenes reducidas son de pequeña dimensión, es posible considerar que la segunda imagen reducida se obtiene por una transformación sencilla de la primera imagen reducida, es decir, una traslación y a menudo un gradiente de desplazamiento constante sobre la imagen reducida, incluso, eventualmente, unas transformaciones más complejas. De este modo, se simplifican de forma importante los cálculos de correlación, teniendo en cuenta el carácter local del análisis. Sin embargo, este método, por naturaleza, no toma en cuenta las transformaciones más complejas que las usadas en el análisis, pero susceptibles de existir entre las dos imágenes reducidas. Además, la regularidad del campo de desplazamiento, que se traduce, por ejemplo, en la continuidad, la diferenciación existente entre imágenes reducidas contiguas, no se toma en cuenta.

Se comprende bien que, para obtener una gran resolución espacial, se reducen las dimensiones de las imágenes reducidas, pero haciendo esto, la correlación se vuelve más sensible al ruido y la determinación de las matrices de paso se vuelve más incierta.

Un segundo tipo de código CIN consiste en realizar una correlación global entre las dos imágenes. En este caso, se busca determinar el conjunto del campo de desplazamiento existente entre las dos imágenes, de forma que se obtenga la diferencia más escasa posible entre las dos imágenes. Para realizar esta etapa, se considera que las dos imágenes están descritas por unas variaciones de niveles de grises, que son función de las coordenadas espaciales tomadas en los dos planos de imagen. Se anotan $f(x)$ y $g(x)$ estas dos imágenes, representando x las coordenadas de los puntos que pertenecen a las dos imágenes. Entonces, se considera que la segunda imagen es igual a la primera imagen con un campo de desplazamiento de aproximación anotado $u(x)$. Entonces, se tiene la relación general:

$$f(x) = g[x + u(x)]$$

Relación 1

El campo de desplazamiento $u(x)$ está determinado minimizando en todo el volumen del objeto la diferencia cuadrática existente entre los dos miembros de la relación 1, estando el campo de desplazamiento descompuesto sobre una base de funciones adaptadas.

Para tener más informaciones sobre este método, se remitirá, en particular, a un primer artículo que lleva por título "Finite-element displacement fields analysis from digital images: Application to Portevin-Le Châtelier bands", publicado en "Experimental Mechanics 46(2006) 789-804" cuyos autores son Gilles Bernard, François Hild y Stéphane Roux e, igualmente, a un segundo artículo que lleva por título "Characterization of necking phenomena in high speed experiments by using a single camera", publicado en "EURASIP Journal on Image and Video Processing 2010 (2010) 215956" cuyos autores son Gilles Bernard, Jean-Michel Lagrange, François Hild, Stéphane Roux y Christophe Voltz. En estos dos artículos, el primero sobre la CIN, el segundo sobre su explotación en el marco de la estereocorrelación, la base de campos cinemáticos elegida para la descomposición del campo de desplazamiento son las funciones de forma Q4P1 de una retícula cuadrada regular.

Este método de correlación global necesita unos medios de cálculo más importantes que el anterior, pero ofrece unas precisiones superiores.

Sin embargo, estos métodos, incluso si dan unas prestaciones globalmente satisfactorias para los usuarios, presentan ciertos inconvenientes. Se citará, en concreto, una cierta complejidad de la fase de calibración, unos resultados de medición bajo forma de nubes de puntos que, a continuación, hay que volver a conformar, la necesidad de recurrir a un filtrado o a una proyección sin poder juzgar y cuantificar la pérdida de fidelidad arrastrada, una cierta sensibilidad al ruido de medición y, en último lugar, una dificultad para evaluar la calidad de la medición obtenida en ausencia de cualquier referencia.

Estas dificultades vienen, en parte, del hecho de que las mediciones se hacen *a priori*, sin ningún conocimiento previo de la forma y de la geometría del objeto. Ahora bien, hoy en día, la muy gran mayoría de los objetos industriales están diseñados y realizados a partir de softwares de diseño asistido por ordenador conocidos bajo el acrónimo francés de "CAO", softwares también llamados "Computer Aided Design" conocidos bajo el acrónimo inglés de "CAD". Por lo tanto, se posee, naturalmente, una representación paramétrica del objeto a medir. El núcleo del procedimiento de estereocorrelación según la invención es usar esta representación paramétrica ya sea durante la etapa de calibración, ya sea durante la etapa de medición, ya sea durante las dos, siendo el objeto a medir su propio calibre. Por naturaleza, el procedimiento según la invención se parece a los códigos CIN de correlación global.

D1: El documento de los Estados Unidos US20080123937 describe un aparato y un método de mediciones tridimensionales de un objeto por estereocorrelación que incluye una primera etapa de calibración y una segunda etapa de emparejamiento espacial.

D2: "Online Stereo Measurement System for a Sand Mold", T. Miyake et al. en SICE-ICASE International Joint

Conférence 2006, divulga el empleo de un modelo CAD durante la segunda etapa de emparejamiento espacial.

De manera más precisa, la invención tiene como objeto un procedimiento de mediciones tridimensionales de un objeto por estereocorrelación, implementándose dicho procedimiento por al menos dos cámaras conectadas a unos medios de procesamiento de imágenes, estando dichas cámaras posicionadas de forma que se den una primera imagen y una segunda imagen del objeto visto bajo al menos dos ángulos diferentes, los medios de procesamiento de imágenes dispuestos de forma que se determinen todo o parte de las coordenadas tridimensionales de dicho objeto, incluyendo dicho procedimiento al menos dos etapas:

- Una primera etapa de calibración en la que, estando un calibre de forma conocida dispuesto en el campo de las cámaras, los medios de procesamiento calculan las dos matrices de paso que relacionan las coordenadas tridimensionales tomadas en el sistema de referencia del calibre con las coordenadas bidimensionales tomadas en los dos sistemas de referencia de la primera imagen y de la segunda imagen y, eventualmente, las correcciones de aberración;
- Una segunda etapa de emparejamiento espacial en la que, estando el objeto a medir dispuesto en el campo de las cámaras, los medios de procesamiento determinan directamente la forma tridimensional del objeto en su representación CAO explotando el emparejamiento de las dos imágenes;

caracterizado porque, poseyendo la superficie del objeto una representación paramétrica, es decir, una representación matemática de la superficie del objeto que tiene la forma de una descomposición sobre una base de funciones escalares, dicha representación paramétrica se implementa durante la primera etapa de calibración y durante la segunda etapa de emparejamiento espacial.

Ventajosamente, el procedimiento incluye una tercera etapa de emparejamiento temporal durante la que una pluralidad de parejas de primeras y de segundas imágenes se registran simultáneamente en unos instantes diferentes y se procesan por los medios de procesamiento de las imágenes, implementándose la representación paramétrica, igualmente, durante la tercera etapa de emparejamiento temporal.

Ventajosamente, durante la primera etapa de calibración, el objeto es su propio calibre.

Ventajosamente, el calibre incluye un motivo compuesto por manchas blancas y negras de forma y de reparto determinista o aleatorio.

Ventajosamente, estando la primera imagen descrita por una primera función dependiente de las coordenadas espaciales tomadas en el primer plano de imagen y estando la segunda imagen descrita por una segunda función dependiente de las coordenadas espaciales tomadas en el segundo plano de imagen, siendo la primera y la segunda función representativas de la variación de los niveles de grises en cada punto del primer y del segundo plano de imagen, la optimización de los coeficientes de las dos matrices de paso se efectúa por medio de un algoritmo cuya función es minimizar el residuo de correlación existente entre la primera función y la segunda función, calculándose el campo de desplazamiento aparente sobre cada imagen sobre la base de funciones escalares de la representación paramétrica de la superficie del objeto y del modelo proyectivo de dicho objeto.

Ventajosamente, la representación paramétrica está compuesta por splines o por B-splines o por NURBS o es una representación de Bézier y la base de funciones escalares está constituida por polinomios de Bernstein.

La invención se comprenderá mejor y otras ventajas aparecerán tras la lectura de la descripción que va a seguir dada a título no limitativo y gracias a las figuras adjuntas de entre las que:

- La figura 1 ya comentada representa el principio general de la medición tridimensional por estereocorrelación;
- La figura 2 ya comentada representa el principio general de la etapa de calibración en un procedimiento de medición por estereocorrelación;
- La figura 3 representa un ejemplo de calibre usado en un procedimiento de medición por estereocorrelación según la invención;
- La figura 4 representa las diferentes subetapas de una calibración en un procedimiento de medición por estereocorrelación según la invención.

Como se ha dicho, el procedimiento de estereocorrelación según la invención implementa una representación paramétrica del objeto durante la etapa de calibración y durante la etapa de medición, pudiendo el objeto a medir ser su propio calibre. La representación paramétrica procede, principalmente, de los softwares de diseño asistido por ordenador.

Las ventajas de este método son las siguientes. La calibración puede realizarse a partir de un solo par de imágenes, lo que simplifica el modo operativo. El objeto medido está descrito en el mismo lenguaje que el que ha permitido su definición. De este modo, se puede cuantificar más fácilmente el desvío o el error existente entre el objeto real y su definición digital.

A título de ejemplo no limitativo de implementación del procedimiento según la invención, se detalla más abajo una etapa de calibración según la invención de un sistema de mediciones tridimensionales de un objeto por

estereocorrelación.

El calibre está diseñado y realizado por medio de un software de CAD acoplado al software de fabricación asistida por ordenador o FAO o CAM para el acrónimo inglés. En este ejemplo, su representación paramétrica es un cuadro de Bézier, estando la base de funciones escalares constituida por polinomios de Bernstein. De manera más precisa, su representación $S(u, v)$ vale:

5

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n B_{im}(u) B_{jn}(v) P_{ij} \quad \text{con } (u, v) \in [0, 1]^2$$

en la que (u, v) son las coordenadas paramétricas, B_{im} y B_{jn} son unos polinomios de Bernstein de grado m y n que verifican la siguiente relación:

$$B_{im}(u) = \frac{m!}{i!(m-i)!} u^i (1-u)^{m-i}$$

10 Unas representaciones de este tipo se implementan, en concreto, en unas versiones ligeramente más complejas por el software de marca CATIA comercializado por la compañía Dassault Systèmes.

Se pueden usar otras representaciones paramétricas. Se citarán, a título de ejemplos, las funciones splines, las funciones B-splines o también las funciones B-splines racionales no uniformes, más comúnmente designadas por su acrónimo inglés "NURBS" que significa "Non-Uniform Rational Basis Splines".

15 El calibre incluye un motivo compuesto por manchas blancas y negras. La forma de las manchas puede ser ya sea un motivo determinista, ya sea un reparto aleatorio. En el presente caso, se depositan aleatoriamente por un espray de pintura. La figura 3 representa un ejemplo de un calibre C de este tipo con su revestimiento moteado R.

20 Dos cámaras permiten capturar el objeto a medir bajo dos ángulos diferentes. Se puede, por supuesto, usar un número más importante de cámaras y emparejarlas de dos en dos, ya sea para obtener más precisiones sobre una parte del objeto, ya sea para obtener un ángulo de visión más importante. Las cámaras son generalmente de alta definición sin otra especificidad particular. Están conectadas a unos medios de procesamiento de imágenes que permiten realizar las diferentes etapas matemáticas del procedimiento. El procesamiento de imágenes se efectúa a partir de imágenes definidas por unos niveles de grises. Dicho de otro modo, se usa únicamente la información de luminancia de las imágenes.

25 Las diferentes funciones matemáticas usadas las conoce el experto en la materia y no necesitan recursos de software que no sean los ya usados en el campo técnico de la CIN global.

El calibre se dispone en un espacio referenciado en un sistema de referencia tridimensional (X, Y, Z) . Los dos planos de imágenes de las cámaras están referenciados en dos sistemas de referencia bidimensionales anotados (x_r, y_r) y (x_l, y_l) .

30 Las diferentes subetapas de la calibración están representadas en la figura 4. En una primera subetapa, se determinan unos puntos de referencia. Estando el calibre colocado, se determinan al menos seis puntos sobre el calibre cuyas coordenadas se conocen y proceden de la representación paramétrica del objeto. Cada punto tiene como coordenadas tridimensionales (X_i, Y_i, Z_i) . A cada punto del objeto, corresponde una pareja de puntos en los dos planos de imágenes derecho e izquierdo anotados respectivamente (x_r, y_r) y (x_l, y_l) .

35 En una segunda subetapa, se determinan las matrices de paso M_l y M_r . Se tienen las siguientes relaciones:

$$\begin{pmatrix} l_l x_l \\ l_l y_l \\ l_l \end{pmatrix} = M_l \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{y} \quad \begin{pmatrix} l_r x_r \\ l_r y_r \\ l_r \end{pmatrix} = M_r \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{Relación 2}$$

siendo l_l e l_r los factores de escala existente entre los planos de imagen y el sistema de referencia del objeto relacionados, en particular, con los aumentos de las ópticas de las cámaras, siendo las matrices M_l y M_r las dos matrices de pasos entre el sistema de referencia tridimensional

del objeto y los bidimensionales de los planos de imagen. De manera más precisa, si $m_{ij}^{l,r}$ son los parámetros de las dos matrices M_l y M_r , se obtiene la siguiente relación:

$$\begin{cases} l_{l,r}x_{l,r} = m_{11}^{l,r}X + m_{12}^{l,r}Y + m_{13}^{l,r}Z + m_{14}^{l,r} \\ l_{l,r}y_{l,r} = m_{21}^{l,r}X + m_{22}^{l,r}Y + m_{23}^{l,r}Z + m_{24}^{l,r} \\ l_{l,r} = m_{31}^{l,r}X + m_{32}^{l,r}Y + m_{33}^{l,r}Z + m_{34}^{l,r} \end{cases} \quad \text{Relación 3}$$

La relación 3 también puede ponerse bajo forma de la relación 4

$$\begin{cases} x_{l,r} = \frac{m_{1i}^{l,r} \bar{X}_i}{l_{l,r}} \\ y_{l,r} = \frac{m_{2i}^{l,r} \bar{X}_i}{l_{l,r}} \end{cases} \quad \text{Relación 4}$$

5 en la que las \bar{X}_i son las coordenadas homogéneas de los vectores $(X, Y, Z, 1)$. Por lo tanto, hay que determinar 24 parámetros $m_{ij}^{l,r}$ que corresponden a los 12 parámetros de la matriz M_l y a los 12 parámetros de la matriz M_r . En la práctica, es necesario determinar 22 parámetros en la medida en que todos los parámetros se determinan con una constante multiplicativa de aproximación.

10 En una tercera subetapa, se determina la sensibilidad de las coordenadas $(x_{l,r}, y_{l,r})$ a los parámetros de las matrices de paso. Esta sensibilidad tiene la siguiente forma:

$$dx_{l,r} = dx_{l,r}(\tilde{m}_{ij}) + \frac{\partial dx_{l,r}}{\partial m_{ij}} dm_{ij} \quad \text{Relación 5}$$

En esta relación, el término $dx_{l,r}$ corresponde a los desplazamientos aparentes de los puntos de imágenes en los dos planos de imágenes si se modifica uno de los parámetros $m_{ij}^{l,r}$ de las matrices de transformación.

En una cuarta subetapa de optimización, se afina la determinación de los coeficientes de las matrices de paso.

15 La primera imagen está descrita por una primera función $f(x_l)$ dependiente de las coordenadas espaciales x_l tomadas en el primer plano de imagen y estando la segunda imagen descrita por una segunda función $g(x_r)$ dependiente de las coordenadas espaciales tomadas en el segundo plano de imagen, siendo la primera y la segunda función representativas de la variación de los niveles de grises en cada punto del primer y del segundo plano de imagen. La conservación de los niveles de grises de una imagen a la otra implica que, para una pareja de puntos que pertenecen a los dos planos de imagen y que representan el mismo punto del objeto, que:

$$f(x_l + dx_l) = g(x_r + dx_r) \quad \text{Relación 6}$$

20 A costa de un desarrollo de Taylor que forma parte de los métodos convencionales usados en los procedimientos CIN por planteamiento global, la relación 6 se vuelve la relación 7 de más abajo:

$$f(x_l) + \nabla f \cdot dx_l = g(x_r) + \nabla g \cdot dx_r \quad \text{Relación 7}$$

El residuo de correlación T existente entre la primera función y la segunda función se calcula sobre la base de funciones escalares de la representación paramétrica de la superficie del objeto. Vale:

$$T = \int (f(x_l) - g(x_r))^2 dudv \quad \text{Relación 8}$$

Se aplica un proceso iterativo, de forma que se minimice este residuo. Este proceso se parece al mencionado en el artículo de Gilles Bernard, François Hild y Stéphane Roux publicado en "Experimental Mechanics 46(2006) 789-804" y ya citado en esta descripción. Siendo la modificación sustancial que la base de función elegida procede en este documento del modelo proyectivo y de la forma del calibre y no de las funciones de forma por elementos finitos.

- 5 El procedimiento de calibración de más arriba se aplica a costa de adaptaciones al alcance del experto en la materia a las fases de emparejamiento espacial o a las fases de emparejamiento temporal de procedimientos que usan la estereocorrelación o la Correlación de Imágenes Digitales CIN-3D. Puede efectuarse una regularización temporal suplementaria con vistas a una determinación espaciotemporal de los campos de desplazamientos 3D de superficie.

- 10 Las ventajas del procedimiento según la invención son numerosas. Se citarán, entre otras: menos variables a determinar y, por lo tanto, una menor incertidumbre sobre los resultados, control de mapas de residuos que mejora la calidad de la representación, regularidad del campo, ausencia de etapas de normalización o de filtrado de los campos de desplazamiento. Por otra parte, un campo denso de residuos permite evaluar la calidad de la determinación de los diferentes grados de libertad cinemáticos.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de mediciones tridimensionales de un objeto (O) por estereocorrelación, implementándose dicho procedimiento por al menos dos cámaras conectadas a unos medios de procesamiento de imágenes, estando dichas cámaras posicionadas de forma que den al menos una primera imagen y una segunda imagen del objeto visto bajo al menos dos ángulos diferentes, estando dispuestos los medios de procesamiento de imágenes de forma que se determinen la totalidad o parte de las coordenadas tridimensionales de dicho objeto, incluyendo dicho procedimiento al menos dos etapas:
- 10 - Una primera etapa de calibración en la que, estando un calibre de forma conocida dispuesto en el campo de las cámaras, los medios de procesamiento calculan las al menos dos matrices de paso que relacionan las coordenadas tridimensionales tomadas en el sistema de referencia del calibre en las coordenadas bidimensionales tomadas en los al menos dos sistemas de referencia de la primera imagen y de la segunda imagen de dicho calibre;
- 15 - Una segunda etapa de emparejamiento espacial en la que, estando el objeto a medir dispuesto en el campo de las cámaras, los medios de procesamiento determinan el conjunto del campo de desplazamiento existente entre las al menos dos imágenes de dicho objeto a medir, permitiendo obtener la menor diferencia posible entre dichas imágenes;
- 20 **caracterizado porque**, la superficie del calibre tiene una primera representación paramétrica, la superficie del objeto tiene una segunda representación paramétrica, siendo dicha primera representación paramétrica una primera representación matemática de la superficie del calibre que tiene la forma de una primera descomposición sobre una base de funciones escalares y siendo dicha segunda representación paramétrica una segunda representación matemática de la superficie del objeto que tiene la forma de una segunda descomposición sobre una base de funciones escalares, implementándose dicha primera representación paramétrica durante la primera etapa de calibración e implementándose dicha segunda representación paramétrica durante la segunda etapa de emparejamiento espacial.
- 25 2. Procedimiento de mediciones tridimensionales de un objeto según la reivindicación 1, **caracterizado porque**, el procedimiento incluye una tercera etapa de emparejamiento temporal durante la cual una pluralidad de parejas de primeras y de segundas imágenes se registran simultáneamente en instantes diferentes y se procesan por los medios de procesamiento de las imágenes.
- 30 3. Procedimiento de mediciones tridimensionales de un objeto según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la representación paramétrica se implementa, igualmente, durante la tercera etapa de emparejamiento temporal.
4. Procedimiento de mediciones tridimensionales de un objeto según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**, durante la primera etapa de calibración, el objeto es su propio calibre.
- 35 5. Procedimiento de mediciones tridimensionales de un objeto según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el calibre incluye un motivo compuesto por manchas blancas y negras de forma y de reparto determinista o aleatorio.
- 40 6. Procedimiento de mediciones tridimensionales de un objeto según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**, se describe la primera imagen por una primera función dependiente de las coordenadas espaciales tomadas en el primer plano de imagen y se describe la segunda imagen por una segunda función dependiente de las coordenadas espaciales tomadas en el segundo plano de imagen, siendo la primera y la segunda función representativas de la variación de los niveles de grises en cada punto del primer y del segundo plano de imagen, la optimización de los coeficientes de las dos matrices de paso se efectúa por medio de un algoritmo cuya función es minimizar el residuo de correlación existente entre la primera función y la segunda función, calculándose el campo de desplazamiento aparente sobre la base de funciones escalares de la representación paramétrica de la superficie del objeto y del modelo proyectivo del objeto.
- 45 7. Procedimiento de mediciones tridimensionales de un objeto según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la representación paramétrica está compuesta por splines o por B-splines o por NURBS o es una representación de Bézier.
8. Procedimiento de mediciones tridimensionales de un objeto según la reivindicación 7, **caracterizado porque** la base de funciones escalares está constituida por polinomios de Bernstein.

50

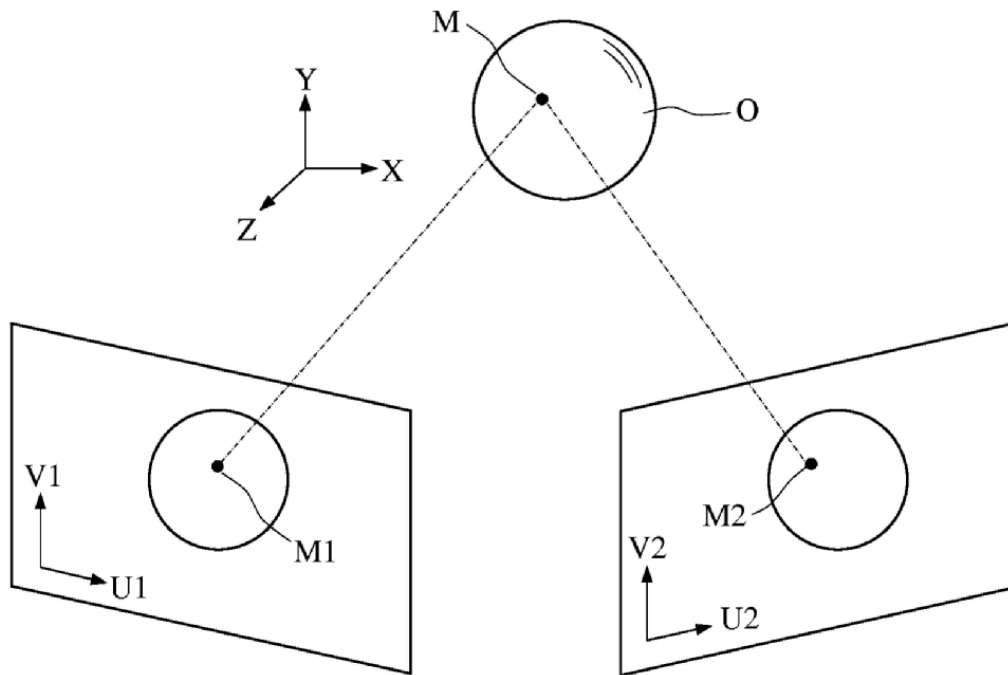


FIG. 1

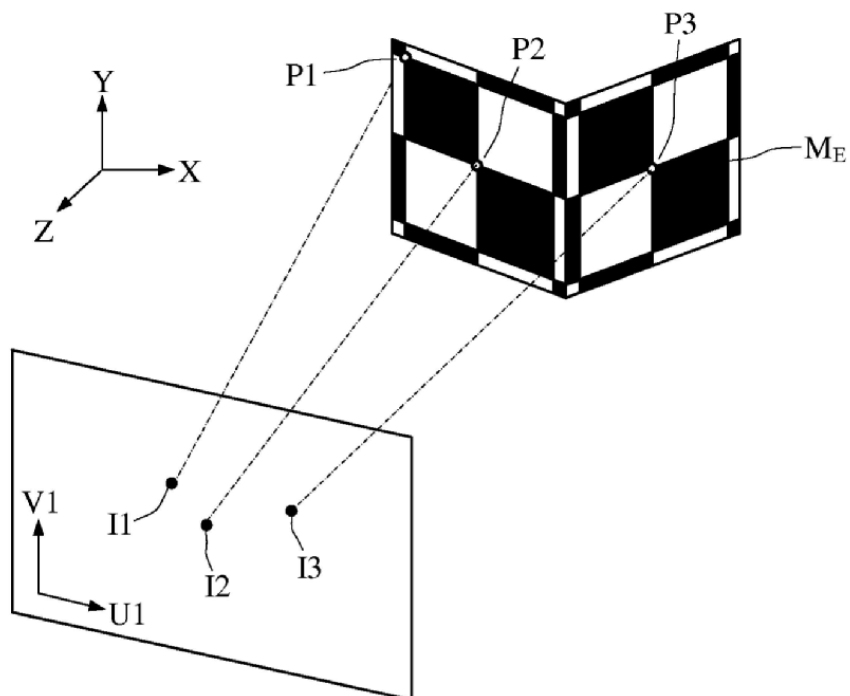


FIG. 2

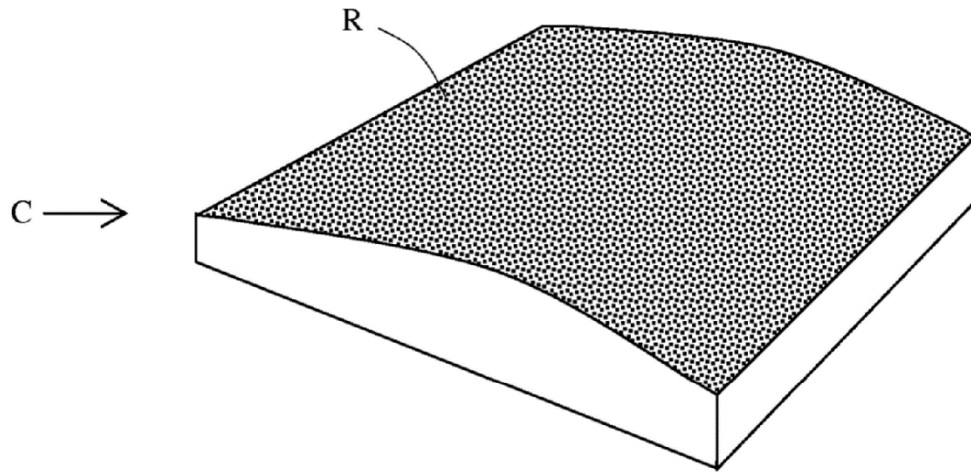
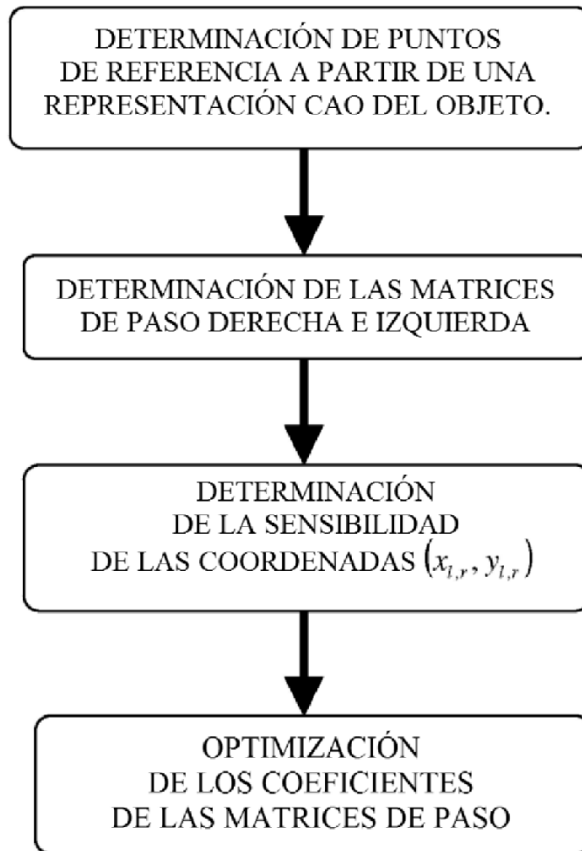


FIG. 3



ETAPA DE CALIBRACIÓN

FIG. 4