DISPOSITIVO Y MÉTODO PARA DETERMINAR LA ORIENTACIÓN Y POSICIÓN DE UN ELEMENTO DE PERFORACIÓN

Campo técnico de la invención

La presente invención está relacionada con dispositivos y métodos para el seguimiento de objetos mediante un sistema de visión artificial, en particular dispositivos y métodos para determinar la orientación y posición de un elemento de perforación mediante un sistema de visión estéreo que emplea al menos dos cámaras.

Descripción del estado de la técnica

Los sistemas de visión artificial tienen un amplio campo de aplicación entre los principales se encuentra la determinación de la posición de objetos en el espacio.

Para detectar la posición espacial de la punta de una herramienta se emplean en el estado de la técnica diversas técnicas para mejorar la precisión que van desde métodos de calibración óptica a sistemas de seguimiento por láser o sistemas de visión que utilizan técnicas de fotogrametría, para determinar las propiedades geométricas de objetos y situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas. El concepto de fotogrametría quiere decir medir sobre fotos, es decir, a partir de una foto bidimensional se obtiene información de la geometría, por otro lado si se trabaja con dos fotografías, la zona en que se solapan dichas dos fotografías, se puede obtener una visión estereoscópica o información en tres dimensiones (de ahora en adelante 3D).

En el estado de la técnica se encuentran métodos y/o dispositivos en los que se proponen formas distintas para obtener orientación y posición de un elemento en un espacio, por ejemplo, los divulgados en los documentos US 9486290, US 2017/0211927 y un artículo titulado “Robot Guidance Using Machine Vision Techniques in Industrial Environments: A Comparative Review” en adelante P1, puede ser consultado en la dirección web: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4813910/.

El documento US 9486290 divulga un aparato y un método guiado por imágenes para ejecutar al menos parcialmente un proceso automatizado, el aparato comprende: una herramienta, una unidad de cómputo y un dispositivo de adquisición de imágenes.

Por otro lado, el método guiado por imágenes para ejecutar al menos parcialmente un proceso automatizado divulgado en el documento US 9486290 comprende los siguientes pasos: en un paso, seleccionar un ángulo mínimo de acceso de una herramienta basado en un promedio o media de un ángulo de emergencia de una pluralidad de unidades foliculares en un área, en otro paso, determinar el ángulo de una unidad folicular de interés, en un paso subsecuente, comparar el ángulo de emergencia de la unidad folicular de interés con el ángulo de mínimo de acceso de la herramienta, y determinar la orientación de la herramienta basado en el resultado de dicha comparación. No necesariamente los pasos se ejecutan el mismo orden.

Además el método del documento US 9486290 podría comprender orientar la herramienta con base en la comparación del ángulo de emergencia de la unidad folicular de interés con el ángulo de mínimo de acceso de la herramienta.

También el documento US 9486290 expresa que un procesador de imágenes podría estar configurado para identificar automáticamente elementos de marcación sobre un elemento de perforación, e identificar donde está la superficie del objeto respecto a los elementos de marcación.

Por otra parte el documento US 2017/0211927 divulga una máquina de medición de coordenadas de brazo articulado (*articulated arm coordinate measuring machine*, por sus siglas en inglés AACMM), en adelante AACMM que comprende: una base, una parte de brazo que puede ser posicionada manualmente, la cual tiene un primer extremo y un segundo extremo opuestos.

Además el AACMM posee una porción de brazo acoplada rotativamente a la base, la porción de brazo incluye una pluralidad de segmentos de brazo conectados, cada segmento de brazo incluye al menos un transductor de posición para producir una señal de posición, un primer conjunto de cámaras acoplado al primer extremo.

Adicionalmente el AACMM incluye un circuito electrónico que recibe la señal de posición de cada uno los transductores de posición y proporciona datos correspondientes a una posición del primer conjunto de cámaras y un procesador para determinar las coordenadas 3D de un objeto con bordes continuamente suaves de un objeto basado por lo menos en parte de las imágenes 2D capturadas del AACMM.

También el documento US 2017/0211927 divulga un método que consiste en capturar con el primer conjunto de cámaras tres imágenes en tres posiciones diferentes y obtener un circuito electrónico los datos correspondientes a cada una de dichas posiciones.

Además, el método tiene etapas que consisten en determinar con el procesador las coordenadas 3D de los puntos de un primer borde, los puntos siendo continuamente suaves entre un intervalo de puntos de un borde, las coordenadas 3D del primer punto del borde es determinado con base en por lo menos parte de los datos de las imágenes y posiciones anteriores y almacenar las coordenadas 3D del primer punto del borde.

Adicionalmente, el documento US 2017/0211927 describe que el dispositivo en una de sus modalidades opera con un dispositivo de luz estructurada que emite un patrón de luz con un proyector sobre una superficie del objeto, más adelante dice que la posición y orientación del dispositivo es conocida por un sistema de procesamiento de datos.

Por otra parte, el documento P1 divulga una serie de técnicas utilizadas en el estado del arte para soluciones de visión 3D. P1 analiza técnicas de visión en términos de precisión, rango, pero, seguridad, tiempo de procesamiento e influencias del proceso de escaneo en el entorno de operación. P1 divulga que existen varios acercamientos para determinar la

posición y orientación del efector final de un robot y describe el uso de sistemas de seguimiento basado en láser.

Si bien los documentos en el estado de la técnica divulgan máquinas y métodos de medición de coordenadas guiados por imágenes que emplean elementos de marcación dispuestos operativamente sobre y/o alrededor de un efector final, estos son imprecisos ya emplean varios sensores (*encoders*) en cada articulación correspondiente a grados de libertad haciendo propagar el error de la medición de articulación en articulación de la máquina. Al tener que disponer de varios *encoders* hace que el sistema sea complejo de configurar y calibrar o en otro caso, no poseer la capacidad de determinar la orientación del actuador final ya que este valor es parametrizado por un operador.

Además, ubicar los elementos de marcación en un cuerpo diferente al elemento final implica también que haya errores al cambiar de pieza para determinar la posición final del extremo del elemento final o requerir recalibrar el sistema constantemente para disminuir el error en la determinación de la posición del elemento.

Otros acercamientos encontrados en el arte emplean un sistema de seguimiento que emplea elementos de marcación láser puede significar un riesgo para el operario y las personas que se encuentren en el entorno de operación de la máquina. Tener problemas para su funcionamiento en superficies reflectantes entre otros.

Breve descripción de la invención

La presente invención corresponde a un dispositivo para la determinar la orientación y posición de un elemento de perforación, que comprende: una primera cámara, una segunda cámara, una unidad de cómputo conectada a la primera cámara y a la segunda cámara, un elemento de perforación en el campo de visión de la primera cámara y de la segunda cámara, un mecanismo de marcación invariante a la rotación dispuesto y fijado de forma colineal sobre el elemento de perforación. Las cámaras conforman un sistema de visión estéreo y la unidad de cómputo establece la orientación y posición del elemento de perforación.

Un método para determinar la orientación y posición de un elemento de perforación que comprende las siguientes etapas: la etapa a) consiste en adquirir imágenes de cada una de las cámaras que conforman un sistema de visión estéreo y almacenarlas en un registro de memoria, la etapa b) calcular al menos dos centroides y al menos dos áreas superficiales de un mecanismo de marcación invariante a la rotación de las imágenes almacenadas en la etapa (a) por medio de una unidad de cómputo;

subsecuentemente, en una etapa c) se extrae el perfil en intensidad del mecanismo de marcación invariante a la rotación con base en el resultado de la etapa (b); la etapa d) consiste en calcular la fase del perfil en intensidad extraído en la etapa (c); etapa e) calcular posiciones centrales del mecanismo de marcación invariante a la rotación , con el valor de fase del perfil en intensidad calculado en la etapa (d); una etapa f) que consiste en

determinar orientación y posición del extremo perforante de un elemento de perforación con el valor de las posiciones centrales calculado en la etapa (e).

Breve descripción de las figuras

La FIG. 1 muestra un ejemplo del sistema de visión estéreo empleando dos cámaras conectadas a una unidad de cómputo.

La FIG. 2 enseña una modalidad de un procedimiento de perforación empleando un elemento de perforación con un mecanismo de marcación invariante a la rotación.

La FIG. 3 muestra una perspectiva de un sistema de visión estéreo que emplea una primera cámara y una segunda cámara en configuración de ejes cruzados.

La FIG. 4 enseña, en un ejemplo, una curva de perfil en intensidad de una línea trazada a lo largo del elemento de marcación invariante a la rotación en una imagen en escala de grises.

La FIG. 5 muestra, en un ejemplo, unas curvas de amplitud normalizada y amplitud binarizada de un perfil en intensidad de una imagen del sistema de visión estéreo.

La FIG. 6 corresponde, en un ejemplo, a una curva de la fase discontinua de un perfil en intensidad de una imagen del sistema de visión estéreo.

La FIG. 7 corresponde, en un ejemplo, a una curva del resultado del producto de la fase discontinua por la amplitud normalizada.

La FIG. 8 corresponde a una curva de la amplitud normalizada y de la amplitud binarizada que contiene todo el patrón de franjas regulares del mecanismo de marcación invariante a la rotación.

La FIG. 9 muestra el extremo de un elemento de perforación y las coordenadas globales (u,v) de una posición central P del mecanismo de marcación invariante a la rotación.

La FIG. 10 enseña un diagrama de flujo de una modalidad del método para determinar la orientación y posición del extremo perforante de un elemento de perforación.

La FIG. 11 enseña un diagrama de flujo de una modalidad del cálculo de la fase de perfil en intensidad de una imagen adquirida por el sistema de visión estéreo.

Descripción detallada de la invención

La presente invención divulga un dispositivo para la determinar la orientación y posición de un elemento de perforación, que comprende: una primera cámara (1a), una segunda cámara (1b), una unidad de cómputo (1c) conectada a la primera cámara (1a) y la segunda cámara (1b), un elemento de perforación (2) en el campo de visión de la primera cámara (1a) y de la segunda cámara (1b), un mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) dispuesto y fijado de forma colineal sobre el elemento de perforación (2), donde las cámaras

conforman un sistema de visión estéreo y la unidad de cómputo (1c) establece la orientación y posición del extremo perforante (6) del elemento de perforación (2).

Para el entendimiento de la presente invención una unidad de cómputo (1c) como un dispositivo que procesa datos, por ejemplo, microcontroladores, micro procesadores, DSCs (Digital Signal Controller por sus siglas en ingles), FPGAs (Field Programmable Gate Array por sus siglas en inglés), CPLDs (Complex Programmable Logic Device por sus siglas en inglés), ASICs (Application Specific Integrated Circuit por sus siglas en inglés), SoCs (System on Chip por sus siglas en inglés), PSoCs (Programmable System on Chip por sus siglas en inglés), computadores, servidores, tabletas, celulares, celulares inteligentes y unidades de cómputo conocidas por una persona medianamente versada en la materia o combinaciones de estos.

Para el entendimiento de la presente invención, se entenderá que un mecanismo de marcación invariante a la rotación es un conjunto de elementos de marcación dispuestos de forma tal que al rotar axialmente no hay variaciones visuales reconocibles, es decir, visualmente no presenta cambios cuando dicho elemento rota sobre sí mismo.

Haciendo referencia a la FIG. 1, en una modalidad de la presente invención el sistema de visión estéreo tiene una primera cámara (1a) y una segunda cámara (1b) separadas entre sí y conectadas a una unidad de cómputo (1c).

El sistema de visión estéreo está orientado a un volumen de trabajo en el cual se desplaza libremente el elemento de perforación. La función del sistema de visión estéreo es capturar imágenes de todo el volumen de trabajo que se proyecta en cada uno de los sensores de las cámaras vía sus ópticas y transferirlas a la unidad de cómputo (1c) en la que se implementa el método de la presente invención y que con base a la información entregada por el sistema de visión estéreo, una calibración previa del sistema de visión estéreo y una calibración del elemento de perforación se establece la orientación y posición de dicho elemento de perforación, este método se describirá más adelante.

La tecnología del elemento sensor de las cámaras puede ser opcionalmente CCD, CMOS o híbrido CCD/CMOS, que a su vez se puede seleccionar entre tecnología a color, monocromática, alta definición, alta sensibilidad, alta velocidad, infrarroja, infrarroja del tipo refrigerada o infrarroja del tipo no refrigerada. Por ejemplo, una modalidad de la tecnología del sensor de las cámaras es infrarrojo para cada una de las cámaras; estás cámaras también son conocidas por una persona medianamente versada en la materia cómo cámaras infrarrojas.

En una modalidad preferida de la presente invención el sistema de visión estéreo realiza la adquisición de imágenes con cámaras infrarrojas cuyo efecto en conjunto con un mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) con pintura reflectante visible en el espectro de luz infrarroja, mejora la precisión y aumenta la robustez al ser insensible a variaciones de luz exterior.

El sistema de visión estéreo tiene diferentes configuraciones que se seleccionan del grupo de configuraciones de sistemas de visión estéreo con óptica de ejes cruzados o convergentes y sistema de visión estéreo con óptica de ejes paralelos.

En una modalidad de la presente invención la primera cámara (1a) y segunda cámara (1b) están separadas entre ellas y configuradas con sus ejes ópticos convergentes entre sí de tal manera que dichos ejes ópticos convergentes se intercepten en el centro del volumen de trabajo.

Alternativamente, en una modalidad de la presente invención la primera cámara (1a) y segunda cámara (1b) están configuradas con sus ejes ópticos mutuamente paralelos y separados entre ellos.

Por medio de una configuración del sistema de visión estéreo de ejes ópticos convergentes entre sí se logra obtener imágenes del mismo objeto en dos perspectivas, y aplicando el método implementado en una unidad de cómputo de la presente invención permitir determinar las coordenadas en el espacio del campo de visión del sistema de visión estéreo, el sistema de visión estéreo de ejes ópticos convergentes entre sí permite un campo de visión más amplio que el campo de visión de un sistema de visión estéreo de ejes ópticos mutuamente paralelos.

Haciendo referencia a la FIG. 2, en un ejemplo de la presente invención, el elemento de perforación (2) posee una región útil para perforación (5) con una extremo perforante (6), toda la región útil para perforación (5) entra en contacto con el objeto a perforar, una región de sujeción (4) al extremo opuesto del extremo perforante (6), dicha región es la que por ejemplo, se introduce en mandril de un taladro para sujetar el elemento de perforación (2), una región no útil entre la región útil para perforación (5) y la región de sujeción (4) que siempre se encuentra en el volumen de visión del sistema de visión estéreo. En dicha región no útil para perforación se dispone operativamente de forma colineal al elemento de perforación (2) el mecanismo de marcación invariante a la rotación (3).

En una modalidad de la presente invención el mecanismo invariante a la rotación (3) comprende una primera esfera reflectora (3a) fijada en el extremo opuesto a la punta del elemento de perforación (2), una segunda esfera reflectora (3b) fijada en el extremo opuesto al extremo perforante (6) del elemento de perforación (2), con su eje alineado y adherida rígidamente con la primera esfera reflectora (3a) y separadas una distancia entre ellas, un patrón regular de franjas (3c) adherido en la superficie del elemento de perforación (2) entre la primera esfera reflectora (3a) y la segunda esfera reflectora (3b); el número de franjas no negras del patrón regular de franjas (3c) es impar para poder identificar con el algoritmo cual es la franja no negra que se encuentra en la mitad del elemento de marcación y posteriormente determinar la distancia entre dicha coordenada y el extremo perforante (6) del elemento de perforación (2).

Opcionalmente, la primera esfera reflectora (3a) y la segunda esfera reflectora (3b) son reflectoras en el espectro de luz infrarroja, esto se puede lograr empleando pintura reflectante sobre cada una de las esferas y permite que en conjunto con el sistema de visión estéreo, debido a que las imágenes obtenidas de las esferas reflectoras en el espectro de luz infrarroja son blancas saturadas, se facilita la identificación y seguimiento de los objetos en el campo de visión del sistema de visión estéreo, esto se manifiesta en una mejora de la precisión y un aumento la robustez al ser menos sensible a variaciones de luz exterior.

Alternativamente, en un ejemplo, la primera esfera reflectora (3a) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) tiene un diámetro entre 1mm y 5mm y la segunda esfera reflectora (3b) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) tiene un diámetro entre 1mm y 5mm. Además en una modalidad preferida de la presente invención la primera esfera reflectora (3a) y la segunda esfera reflectora (3b) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) tienen diámetros diferentes para permitir al sistema de visión estéreo determinar mediante el método obtener la información base para determinar la orientación del elemento de perforación (2) en el espacio tridimensional.

Opcionalmente, en una modalidad de la invención se utiliza esferas adicionales en el mecanismo de marcación invariante a la rotación para la identificación de distintos objetos en el campo de visión del sistema de visión estéreo.

Alternativamente, en una modalidad de la presente invención, el elemento de perforación (2) es un elemento de perforación rotativo cómo por ejemplo, una broca de cirugía ortopédica, una broca estándar, una sonda de perforación entre otros elementos de perforación conocidos por una persona medianamente versada en la materia.

Haciendo referencia a la FIG. 3, se muestra una perspectiva de un sistema de visión estéreo con óptica de ejes convergentes entre sí, el patrón ajedrezado (7) se utiliza en la calibración del sistema de visión estéreo empleando un algoritmo de calibración para la configuración estéreo de los parámetros del sistema de visión estéreo, por ejemplo, el algoritmo de Zhengyou Zhang descrito en el artículo titulado “A flexible new technique for camera calibration” y obtenido de IEEEXPLORE: http://ieeexplore.ieee.org/document/888718/.

El método para determinar la orientación y posición de un elemento de perforación comprende las siguientes etapas: una etapa a) que consiste en adquirir imágenes de cada una de las cámaras que conforman un sistema de visión estéreo y almacenarlas en un registro de memoria; subsecuentemente, en una etapa b) se calculan al menos dos centroides y al menos dos áreas superficiales de un mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) de las imágenes almacenadas en la etapa (a) por medio de una unidad de cómputo (1c); posteriormente, en una etapa c) se extrae el perfil en intensidad del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) con base en el resultado de la etapa (b); seguidamente, en una etapa d) se calcula la fase del perfil en intensidad extraído en la etapa (c); el método continúa con una etapa e) que se encarga de calcular posiciones centrales del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3), con el valor de fase del

perfil en intensidad calculado en la etapa (d) y finalmente en una etapa f) se determina la orientación y posición del extremo perforante (6) de un elemento de perforación (2) con el valor de las posiciones centrales calculados en la etapa (e).

El método para determinar la orientación y posición de un elemento de perforación comprende una serie de etapas que van desde una etapa (a) hasta una etapa (f).

En la etapa (a) que consiste en adquirir imágenes de cada una de las cámaras que conforman un sistema de visión estéreo y almacenarlas en un registro de memoria. Las cámaras permiten obtener imágenes del mismo objeto en sus respectivas perspectivas, es decir, cada cámara arroja una imagen digital del mismo objeto, que aparece en posiciones relativas diferentes.

En la etapa (b) se calculan al menos dos centroides y al menos dos áreas superficiales de un mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) de las imágenes almacenadas en la etapa(a) por medio de una unidad de cómputo (1c), esto se hace con la finalidad de obtener coordenadas de dos puntos en el espacio e identificar mediante el área superficial la orientación del elemento de perforación (2).

Opcionalmente, en una modalidad de la presente invención, por ejemplo, en la etapa (b) el cálculo de al menos dos centroides y al menos dos áreas superficiales de un mecanismo de marcación invariante a la rotación (3), se realiza una sub etapa A) que consiste en binarizar la imagen que se desea calcular centroides y áreas superficiales asignando uno (1) a los puntos con niveles de gris igual al nivel de gris de saturación de la cámara y asignando cero (0) a los puntos con niveles de gris inferiores a dicho nivel de gris de saturación, y una sub etapa B) que consiste en calcular el centroide de cada esfera que corresponde a las coordenadas (u,v) en pixeles del centro geométrico de cada región circular con unos (1); el área corresponde a la suma de valores unos (1) de cada región circular y almacenarlos en un registro de memoria.

Para la presente invención se entenderá por binarizar como un proceso que consiste en la reducción de la información de cada pixel de una imagen en dos posibles valores permitidos determinado por el resultado de la comparación de un umbral de binarización, por ejemplo, para una imagen en niveles de grises de 8 bits para una escala de 0 a 255, donde 0 corresponde a color negro y 255 a color blanco, con un umbral de binarización de 250, un nivel de intensidad de nivel de gris igual o superior a 250 se entiende cómo un valor de intensidad 1 y para un nivel de intensidad de nivel gris inferior a 250 corresponde a un valor de intensidad 0. De forma análoga se extiende el mismo proceso para binarizar una imagen en niveles de grises de profundidad en bits superiores a 8bits, por ejemplo 16 bits, 32 bits, 64 bits y profundidad en bits para imágenes en niveles de grises conocidos por una persona medianamente versada en la materia.

Para el caso de una imagen en niveles de grises normalizada en la que el rango de valores del nivel de grises de los pixeles oscila entre 0 a 1, el umbral es, por ejemplo de 0.98.

Para calcular los centroides se utilizan algoritmos basados en el centro de gravedad que se selecciona del grupo conformado por algoritmo de centro medio ponderado, algoritmo de centro de masa o combinaciones de estos conocidos por una persona medianamente versada en la materia.

La etapa (c) consiste en extraer el perfil en intensidad del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) con base en el resultado de la etapa (b), dicho perfil en intensidad puede corresponder en un ejemplo, a un comportamiento matemático sinusoidal cuando se trata de un patrón regular de franjas (3c) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3), corresponden mínimos de intensidad a franjas negras y máximo en intensidad para para franjas no negras. En una modalidad de la presente invención el perfil en intensidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$I = A + B * \cos(F)$$

De la anterior ecuación, A se conoce como fondo continuo, B como la amplitud y F es la fase de la función coseno, para el caso de separación constante entre franjas, la fase de la función coseno se calcula con la siguiente ecuación:

$$F = \frac{2 * \pi * x}{P}$$

De la anterior ecuación x es la distancia horizontal en pixeles y P es la separación entre franjas. Una persona medianamente versada en la materia entiende que un máximo en intensidad corresponde al centro de una franja no negra y coincide a su vez con el máximo de la función coseno que corresponde a valores de fase igual a cero o múltiplos de 2π.

Alternativamente, en la etapa (c) la extracción del perfil en intensidad se realiza siguiendo las siguientes sub etapas: etapa A) trazar una línea que une las coordenadas del centroide de una primera esfera reflectora (3a) y las coordenadas del centroide de una segunda esfera reflectora (3b) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) calculados en la etapa (b), para cada imagen almacenada en la etapa (a) y una etapa B) que consiste en calcular el perfil en intensidad extrayendo el valor de intensidad de la imagen correspondiente para cada posición de la línea trazada en la sub etapa (A).

Haciendo referencia a la FIG. 4, en la que se enseña en un ejemplo, una curva de perfil en intensidad de la línea trazada en la sub etapa (A) de la etapa (c) que une los centroides de las esferas reflectoras en el espectro de luz infrarroja en una imagen en escala de grises, dicha curva de perfil en intensidad sigue un patrón sinusoidal como el descrito anteriormente.

Posteriormente, en la etapa (d) se calcula la fase del perfil en intensidad extraído en la etapa (c), este cálculo se puede realizar empleando diversos algoritmos, que se selecciona del grupo conformado por transformada de Fourier, transformada de *wavelets*, transformada de

Fourier por ventana, regresión no lineal o combinaciones de estos conocidos por una persona medianamente versada en la materia.

En una modalidad de la presente invención, por ejemplo, se calcula la fase del perfil en intensidad extraído en la etapa (c) mediante una transformada de Fourier por ventana mediante una convolución con una función de base sinusoidal compleja acotada por una función gaussiana expresada en la siguiente ecuación:

$$g(x) = exp\left(-{x^2}/{\sigma^2}\right)exp(i\gamma x)$$

Donde los valores de σ y γ depende de la separación entre franjas, ya que la convolución identifica las franjas del patrón regular (3c) si coinciden con la frecuencia de la función de base sinusoidal. –Como la función sinusoidal es compleja, al realizar la convolución del perfil en intensidad con la función $g(x)$ se obtiene una señal compleja, donde la fase de la señal compleja corresponde a la fase F del perfil en intensidad y la amplitud de la señal compleja corresponde a la amplitud B del perfil en intensidad; el perfil en intensidad, F y B se pueden obtener con la siguiente ecuación:

$$F = atan\left(\frac{II(x)}{Re(x)}\right) \qquad B = \sqrt{II(x)^2 + Re(x)^2}$$

Siendo $II(x)$ la componente imaginaria y $Re(x)$ la componente real de la función resultante de la convolución entre $g(x)$ y el perfil en intensidad *I*.

Haciendo referencia a la FIG. 5 en un ejemplo de la presente invención, se muestran dos curvas, la curva de línea sólida con puntos corresponde a la amplitud normalizada de la amplitud B del perfil en intensidad, calculada como se describe anteriormente, y la curva de línea sólida la amplitud binarizada, siguiendo el proceso de binarización para la amplitud B normalizada, calculada anteriormente.

Haciendo referencia a la FIG. 6, en una modalidad de la presente invención, por ejemplo, se muestra una curva con que corresponde a la fase del perfil en intensidad extraído en la etapa (c) es de forma discontinua cómo la ecuación anterior debido a que la función arco-tangente $atan(x)$ es acotada entre –π y +π.

Alternativamente, en una modalidad de la presente invención, por ejemplo, en la etapa (d) se calcula la fase del perfil en intensidad extraído de la etapa (c) siguiendo las siguientes sub etapas:

En la sub etapa A), un usuario establece la cantidad de franjas negras del patrón regular de franjas (3c) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) con cada imagen almacenada en la etapa (a) y almacenarla en un registro de memoria;

En la sub etapa B), se calcula la fase discontinua y la amplitud del perfil en intensidad extraído en la etapa (c) mediante un algoritmo para análisis de patrones de franja;

En la sub etapa C), normalizar la amplitud del perfil en intensidad de la sub etapa (B) y almacenar en un registro de memoria;

En la sub etapa D), establecer un umbral de binarización que corresponde al valor entre 0.01 y 0.98;

En la sub etapa E), binarizar la amplitud del perfil en intensidad normalizada de la sub etapa (C) con el umbral de binarización: valores de la amplitud superiores o iguales al umbral de binarización se les asigna el valor uno (1) y valores inferiores se les asigna el valor cero (0);

En la sub etapa F), multiplicar la amplitud binarizada obtenida en la sub etapa (E) con la fase discontinua calculada en la sub etapa (B);

En la sub etapa G), contar la cantidad de transiciones de $+\pi$ a $-\pi$ y comparar con la cantidad de franjas negras del patrón regular establecido en la sub etapa (A); dicha comparación comprueba las siguientes condiciones:

- si la cantidad de transiciones de $+\pi$ a $-\pi$ es mayor que la cantidad de franjas negras del patrón regular establecido en la sub etapa (A) entonces incrementar en un valor entre 0.01 y 0.05 el valor de umbral de binarización y volver a la sub etapa (E);
- si la cantidad de transiciones de $+\pi$ a $-\pi$ es igual que la cantidad de franjas negras del patrón regular establecido en la sub etapa (A) entonces pasar a la etapa (e);
- si la cantidad de transiciones de $+\pi$ a $-\pi$ es menor que la cantidad de franjas negras del patrón regular establecido en la sub etapa (A) entonces disminuir en un valor entre 0.01 y 0.05 el valor de umbral de binarización y volver a la etapa (E).
- si el valor de umbral de binarización es igual a cero o uno, no realizar el cálculo de la fase y reportar que no es posible hacer el cálculo de orientación y posición del elemento de perforación para las imágenes adquiridas mediante una unidad de cómputo.

Haciendo referencia a la FIG. 7, en un ejemplo de la presente invención, se muestra el resultado de multiplicar la fase discontinua por la amplitud normalizada se observa el número de transiciones $\pm\pi$ es de ocho, indicando una cantidad de transiciones inferior al número de franjas negras. Un procedimiento iterativo cómo el de la sub etapa G de la etapa (d) permite determinar el valor del umbral apropiado para que se obtenga un número de transiciones $\pm\pi$ igual al número de franjas negras que tiene el patrón regular de franjas.

Haciendo referencia a la FIG. 8 muestra en línea sólida con puntos la fase discontinua al obtener un número de transiciones $\pm\pi$ igual al número de franjas negras del patrón regular establecido en la sub etapa (A) de la etapa (d). De igual forma, se deben obtener igual número de cruces por cero que número de franjas brillantes del patrón. Cada punto sobre la línea sólida corresponde a los puntos muestreados del perfil en intensidad.

Posteriormente, la etapa (e) se encarga de calcular posiciones centrales del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3), con el valor de fase del perfil en intensidad calculado en la etapa (d). Se entiende por posición central la distancia entre el centro geométrico de una franja no negra, que corresponde a un valor de fase igual a cero, al extremo del perfil en intensidad.

Opcionalmente, en la etapa (e) se calculan las posiciones centrales del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3), siguiendo las siguientes sub etapas:

una sub etapa (A) encargada de interpolar posiciones subpixeles que poseen fase igual a cero a partir de la fase discontinua de la etapa (d) para cada imagen almacenada en la etapa (a) empleando un algoritmo de interpolación, el número de posiciones encontradas debe ser igual al número de franjas negras, reportada en la sub etapa (A) de la etapa (d) más uno, cada una de las posiciones interpoladas son las posiciones centrales de franjas no negras de patrón regular de franjas (3c) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3);

una sub etapa (B) que consiste en calcular las coordenadas globales con las coordenadas de la línea trazada en la sub etapa (A) de la etapa (c) para las posiciones subpixel interpoladas en la sub etapa (A), para cada una de las imágenes almacenadas en la etapa (a);

una sub etapa (C) que consiste en determinar las coordenadas globales de la franja de la mitad del patrón regular de franjas (3c) contando el número de posiciones centrales de franjas no negras de la sub etapa (A) adicionando dos unidades y divido el total por dos.

Para la presente invención se entenderá por sub-pixel cómo una posición entre un pixel y otro.

Haciendo referencia a la FIG. 8, se muestran la curva de la fase del perfil en intensidad que contiene todos los cambios de fase del patrón regular de franjas, donde los puntos de intersección con el eje horizontal correspondiente a los puntos donde el valor de la fase es igual a cero. Se observa sobre esta figura que ningún punto muestreado que corresponden a valores enteros de pixeles, tiene un valor de fase cero. Identificando los valores de fase entre transiciones $\pm\pi$ se puede interpolar la posición en pixeles que tiene el valor de fase cero, con precisión subpixel.

Para el entendimiento de la presente invención, las coordenadas globales (u_o,v_o) corresponden al centroide de la primera esfera reflectora (3a), calculadas en la etapa (b). Las coordenadas globales de P se obtienen con la siguiente ecuación:

$$u = u_0 + d\cos\alpha \qquad v = v_0 + d\sin\alpha$$

Haciendo referencia a la FIG. 9, se muestran las coordenadas globales (u,v) para una posición central P del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3), calculado en la sub etapa (A) de la etapa (e), en una imagen (8) adquirida por el sistema de visión estéreo. La posición central P se encuentra a una distancia d del centroide de la primera esfera

reflectora (3a) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) y corresponde a la distancia calculada de la sub etapa (A) de la etapa (e).

En una modalidad de la presente invención, la etapa (f) consiste en determinar orientación y posición del extremo perforante (6) de un elemento de perforación (2) con el valor de las posiciones centrales calculados en la etapa (e).

En una modalidad de la presente invención, en la etapa (f) se determina la orientación y posición del extremo perforante (6) de un elemento de perforación (2) realizando las siguientes sub etapas:

la sub etapa (A) consiste en calcular las coordenadas 3D de las posiciones centrales de franjas no negras de patrón regular de franjas (3c) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3), usando los datos obtenidos de la etapa (e) de cada imagen y el algoritmo de reconstrucción 3D del sistema de visión estéreo;

la sub etapa (B) consiste en calcular las coordenadas 3D del centro de la franja no negra de la mitad del patrón regular de franjas (3c) usando los datos obtenidos de la sub etapa (C) de la etapa (e), para cada imagen y el algoritmo de reconstrucción 3D del sistema de visión estéreo de la sub etapa (a);

la sub etapa (C) consiste en interpolar por mínimos cuadrados una línea en el espacio, y determinar el vector unitario que define su orientación con las coordenadas 3D de las posiciones centrales de franjas no negras calculadas en la sub etapa (A);

la sub etapa (D) consiste en calcular la coordenada 3D del extremo perforante del elemento de perforación con las coordenadas 3D del centro de la franja no negra de la mitad del patrón regular de franjas (3c) calculado en la sub etapa (B) y el vector unitario calculado en la sub etapa (C);

Para el entendimiento de la presente invención, se entenderá coordenadas 3D una coordenada cartesiana tridimensional (x, y, z) en un sistema coordenado tridimensional compuesto por tres planos perpendiculares entre sí, intersectados en los ejes coordenados de origen, denominados Ox, Oy y Oz.

Haciendo referencia a la FIG. 10, en una modalidad de la invención el método se implementa en una unidad de cómputo que ejecuta al menos dos tareas simultáneamente, por ejemplo, una unidad de cómputo procesa en paralelo el cálculo de centroides y áreas de esferas reflectoras de una imagen 1 (101) y el cálculo de centroides y áreas de esferas reflectoras de la imagen de una imagen 2 (102), subsecuentemente, de forma simultanea se extrae el perfil en intensidad de la imagen 1 (103) y se extrae el perfil en intensidad de la imagen 2 (104), posteriormente y al mismo tiempo se calcula la fase del perfil en intensidad en la imagen 1 (105) y se calcula la fase del perfil en intensidad en la imagen 2 (106), continuando con el cálculo de posiciones centrales del patrón regular de franjas en la imagen 1 (107) y simultáneamente calculando las posiciones centrales del patrón regular de

franjas en la imagen 2 (108) para posteriormente con los datos de calibración del sistema estéreo (110) finalmente determinar la orientación y posición del extremo perforante de un elemento de perforación.

Haciendo referencia a la FIG. 11 se enseña de forma desagregada el proceso del cálculo de la fase del perfil en intensidad en una imagen Im (130) en una serie de etapas:

en una etapa (131), se ingresa a la unidad de cómputo la cantidad de granjas negras de un patrón regular de franjas y se almacena en un registro de memoria en una variable N;

en una etapa (133), se calcula la fase discontinua FD y la amplitud A con los datos entregados de extraer el perfil en intensidad de la imagen Im (132);

en un paso (134), se normaliza la amplitud calculada y se almacena en un registro de memoria AN;

en un paso (135), se ingresa a la unidad de cómputo un valor de umbral de binarización en un rango de valores entre 0,01 y 0,98 y se almacena en un registro de memoria en una variable U;

en un paso (136), se binariza la amplitud normalizada en el paso (134) con el umbral de binarización U y se almacena en un registro de memoria BN;

en un paso (137), se obtiene la fase discontinua normalizada con el producto de la fase discontinua y la amplitud binarizada y se almacena en un registro de memoria FDN (137);

en un paso (138) se cuentan el número de discontinuidades $\pm\pi$ en la fase discontinua normalizada y se almacena en un registro de memoria S;

en un paso (139) se compara si el número de discontinuidades S del paso (138) es igual a cero o a uno, si dicho número de discontinuidades S es igual a cero o a uno entonces terminar el procedimiento (140), de lo contrario seguir a un paso (141);

en un paso (141) se compara si el número de discontinuidades S del paso (138) es igual a N, si dicho número de discontinuidades S es igual a N entonces en un paso (143) se calculan las posiciones centrales del patrón regular de franjas en la imagen Im, de lo contrario, si dicho número de discontinuidades S es mayor a N (145) entonces disminuir el umbral de binarización U en un valor entre 0.01 y 0.05 y volver al paso (136), si dicho número de discontinuidades S no es mayor a N entonces incrementar el umbral de binarización U en un valor entre 0.01 y 0.05 y volver al paso (136).

Opcionalmente, el sistema estéreo requiere una calibración que recurre a un patrón de ajedrez o patrón ajedrezado de tamaño de cuadro en milímetros conocido. En el proceso de calibración del sistema estéreo se emplea dicho patrón para obtener las coordenadas 3D de las esquinas de cada cuadro. Las coordenadas 3D de las esquinas son calculadas usando los

parámetros del sistema estéreo. Es decir, una vez calibrado el sistema estéreo, se pueden calcular las coordenadas 3D de las esquinas de los cuadrados del tablero de ajedrez.

Alternativamente, en una modalidad de la presente invención, por ejemplo, antes de la etapa (a) se realiza un procedimiento de calibración que comprende las siguientes sub etapas:

sub etapa (A1) que consiste en la calibración del sistema estéreo con un patrón ajedrezado;

sub etapa (B1) que consiste en la calibración del elemento de perforación con el sistema de visión estéreo y el patrón ajedrezado de la etapa (A1).

En la sub etapa (A1) del procedimiento de calibración se realizan en los siguientes pasos:

paso 1- ingresar dimensiones del patrón ajedrezado en una unidad de cómputo;

paso 2- ubicar un patrón ajedrezado sobre el espacio de trabajo en el campo de visión del sistema de visión estéreo y adquirir imágenes simultáneas de cada cámara;

paso 3-con las imágenes del paso 2 y el dato del paso 1 emplear un algoritmo de calibración para la configuración estéreo de los parámetros del sistema de visión estéreo;

paso 4-almacenar en registro de memoria de la unidad de computo los parámetros de calibración y las coordenadas 3D de las esquinas de cada cuadro del patrón ajedrezado del paso 2, obtenidas como etapa intermedia en el algoritmo de calibración del paso 3.

En la sub etapa (B1) del procedimiento de calibración del elemento de perforación, se realizan los siguientes pasos:

paso 1- ubicar la punta perforante del elemento de perforación (2) sobre una de las esquinas de un patrón ajedrezado, para al menos dos posiciones en el proceso de calibración estéreo y adquirir imágenes;

paso 2- calcular las coordenadas 3D del centro de la franja no negra de la mitad del patrón regular de franjas (3c) para cada imagen adquirida por las cámaras en el paso 1;

paso 3- calcular la distancia del centro del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) a la punta del elemento de perforación (2) con las coordenadas 3D del centro de la franja no negra de la mitad del patrón regular de franjas (3c) calculado en el paso 2 y las coordenadas 3D de las esquinas de cada cuadro del patrón ajedrezado almacenados en el paso 4 de la sub etapa (A1);

paso 4- repetir el proceso para todas las imágenes adquiridas en el paso 1 y calcular el valor promedio de distancia del centro del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) a la punta del elemento de perforación (2) y almacenarlo en un registro de memoria.

Haciendo referencia a la FIG. 3 donde se muestra una perspectiva de un sistema de visión estéreo con óptica de ejes convergentes, el patrón ajedrezado (7) se utiliza en la calibración

del sistema de visión estéreo empleando un algoritmo de calibración para la configuración estéreo de los parámetros del sistema de visión estéreo.

En una modalidad de la presente invención, mientras el elemento de perforación desplaza en el volumen de trabajo, el método implementado en la unidad de cómputo muestra gráficamente su trayectoria y orientación en tiempo real o a una razón que está entre 2 veces por segundo hasta 120 veces por segundo. Por ejemplo, a razón de 2 veces por segundo.

Se debe entender que la presente invención no se halla limitada a las modalidades descritas e ilustradas, pues como será evidente para una persona versada en el arte, existen variaciones y modificaciones posibles que no se apartan del espíritu de la invención, el cual solo se encuentra definido por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo para la determinar la orientación y posición de un elemento de perforación, que comprende:

- una primera cámara (1a);
- una segunda cámara (1b);
- una unidad de cómputo (1c) conectada a la primera cámara (1a) y la segunda cámara (1b);
- un elemento de perforación (2) en el campo de visión de la primera cámara (1a) y de la segunda cámara (1b);
- un mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) dispuesto y fijado de forma colineal sobre el elemento de perforación (2);

donde las cámaras conforman un sistema de visión estéreo y la unidad de cómputo (1c) establece la orientación y posición del extremo perforante (6) del elemento de perforación (2).

2. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde la primera cámara (1a) y segunda cámara (1b) están configuradas con sus ejes ópticos mutuamente paralelos y separados entre ellos.

3. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde el mecanismo invariante a la rotación (3) comprende:

- una primera esfera reflectora (3a) fijada en el extremo opuesto a la punta (6) del elemento de perforación (2);
- una segunda esfera reflectora (3b) fijada en el extremo opuesto a la punta (6) del elemento de perforación (2), con su eje alineado y adherida rígidamente con la primera esfera reflectora (3a) y separadas una distancia entre ellas;
- un patrón regular de franjas (3c) adherido en la superficie del elemento de perforación (2) entre la primera esfera reflectora (3a) y la segunda esfera reflectora (3b); el número de franjas no negras es impar.

4. El dispositivo de la Reivindicación 3, donde la primera esfera reflectora (3a) y la segunda esfera reflectora (3b) son reflectoras en el espectro de luz infrarroja.

5. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde la primera cámara (1a) y segunda cámara (1b) están separadas entre ellas y configuradas con sus ejes ópticos convergentes entre sí.

6. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde el elemento de perforación (2) es un elemento de perforación rotativo.

7. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde la primera esfera reflectora (3a) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) tiene un diámetro entre 1mm y 5mm y la segunda esfera reflectora (3b) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) tiene un diámetro entre 1mm y 5mm.

8. El dispositivo de la Reivindicación 7, donde la primera esfera reflectora (3a) y la segunda esfera reflectora (3b) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) tienen diámetros diferentes.

9. Un método para determinar la orientación y posición de un elemento de perforación que comprende las siguientes etapas:

a) adquirir imágenes de cada una de las cámaras que conforman un sistema de visión estéreo y almacenarlas en un registro de memoria;

b) calcular al menos dos centroides y al menos dos áreas superficiales de un mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) de las imágenes almacenadas en la etapa (a) por medio de una unidad de cómputo (1c);

c) extraer el perfil en intensidad del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) con base en el resultado de la etapa (b);

d) calcular la fase del perfil en intensidad extraído en la etapa (c);

e) calcular posiciones centrales del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3), con el valor de fase del perfil en intensidad calculado en la etapa (d);

f) determinar orientación y posición del extremo perforante (6) de un elemento de perforación (2) con el valor de las posiciones centrales calculados en la etapa (e).

10. El método de la Reivindicación 9, donde en la etapa (b) se calcula el centroide y el área superficial de una primera esfera reflectora (3a) y el centroide y el área superficial de una segunda esfera reflectora (3b) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) para cada imagen almacenada en la etapa (a).

11. El método de la Reivindicación 10, donde en la etapa (b) el cálculo de al menos dos centroides y al menos dos áreas superficiales de un mecanismo de marcación invariante a la rotación (3), se realiza siguiendo las siguientes sub etapas:

A) binarizar la imagen que se desea calcular centroides y áreas superficiales asignando uno (1) a los puntos con niveles de gris igual al nivel de gris de

saturación de la cámara y asignando cero (0) a los puntos con niveles de gris inferiores a dicho nivel de gris de saturación;

B) calcular el centroide de cada esfera que corresponde a las coordenadas (u,v) en pixeles del centro geométrico de cada región circular con unos (1); el área corresponde a la suma de valores unos (1) de cada región circular y almacenarlos en un registro de memoria.

12. El método de la Reivindicación 9, donde en la etapa (c) la extracción del perfil en intensidad se realiza siguiendo las siguientes sub etapas:

A) trazar una línea que une las coordenadas del centroide de una primera esfera reflectora (3a) y las coordenadas del centroide de una segunda esfera reflectora (3b) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) calculados en la etapa (b), para cada imagen almacenada en la etapa (a).

B) calcular el perfil en intensidad extrayendo el valor de intensidad de la imagen correspondiente para cada posición de la línea trazada en la sub etapa (A).

13. El método de la Reivindicación 9, donde en la etapa (d) se calcula la fase del perfil en intensidad extraído de la etapa (c) realizando las siguientes sub etapas:

A) establecer la cantidad de franjas negras del patrón regular de franjas (3c) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3) con cada imagen almacenada en la etapa (a) y almacenarla en un registro de memoria;

B) calcular la fase discontinua y la amplitud del perfil en intensidad extraído en la etapa (c) mediante un algoritmo para análisis de patrones de franja;

C) normalizar la amplitud del perfil en intensidad de la sub etapa (B) y almacenar en un registro de memoria;

D) establecer un umbral de binarización que corresponde al valor entre 0.01 y 0.98;

E) binarizar la amplitud del perfil en intensidad normalizada de la sub etapa (C) con el umbral de binarización: valores de la amplitud superiores o iguales al umbral de binarización se les asigna el valor uno (1) y valores inferiores se les asigna el valor cero (0);

F) multiplicar la amplitud binarizada obtenida en la sub etapa (E) con la fase discontinua calculada en la sub etapa (B);

G) contar la cantidad de transiciones de $+\pi$ a $-\pi$ y comparar con la cantidad de franjas negras del patrón regular establecido en la sub etapa (A);

- si la cantidad de transiciones de $+\pi$ a $-\pi$ es mayor que la cantidad de franjas negras del patrón regular establecido en la sub etapa (A) entonces incrementar en un valor entre 0.01 y 0.05 el valor de umbral de binarización y volver a la sub etapa (E);

- si la cantidad de transiciones de $+\pi$ a $-\pi$ es igual que la cantidad de franjas negras del patrón regular establecido en la sub etapa (A) entonces pasar a la etapa (e);

- si la cantidad de transiciones de $+\pi$ a $-\pi$ es menor que la cantidad de franjas negras del patrón regular establecido en la sub etapa (A) entonces disminuir en un valor entre 0.01 y 0.05 el valor de umbral de binarización y volver a la etapa (E).

- si el valor de umbral de binarización es igual a cero o uno, no realizar el cálculo de la fase y reportar que no es posible hacer el cálculo de orientación y posición del elemento de perforación para las imágenes adquiridas mediante una unidad de cómputo.

14. El método de la Reivindicación 9, donde en la etapa (e) se calculan las posiciones centrales del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3), siguiendo las siguientes sub etapas:

A) interpolar posiciones subpixeles que poseen fase igual a cero a partir de la fase discontinua de la etapa (d)) para cada imagen almacenada en la etapa (a) empleando un algoritmo de interpolación; el número de posiciones encontradas debe ser igual al número de franjas negras, reportada en la sub etapa (A) de la etapa (d), más uno; la posiciones subpixeles interpoladas coincide con las posiciones centrales de franjas no negras de patrón regular de franjas (3c) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3);

B) para las posiciones subpixeles interpoladas en la sub etapa (A), calcular las coordenadas globales con las coordenadas de la línea trazada en la sub etapa (A) de la etapa (c) en la imagen que se está procesando;

C) determinar las coordenadas globales de la franja de la mitad del patrón regular de franjas (3c) contando el número de posiciones centrales de franjas no negras de la sub etapa (A) adicionando dos unidades y divido el total por dos.

15. El método de la Reivindicación 9 donde en la etapa (f) se determina la orientación y posición del extremo perforante (6) de un elemento de perforación (2) realizando las siguientes sub etapas:

A) calcular las coordenadas 3D de las posiciones centrales de franjas no negras de patrón regular de franjas (3c) del mecanismo de marcación invariante a la rotación (3), usando los datos obtenidos de la etapa (e) de cada imagen y el algoritmo de reconstrucción 3D del sistema de visión estéreo;

B) calcular las coordenadas 3D del centro de la franja no negra de la mitad del patrón regular de franjas (3c) usando los datos obtenidos de la sub etapa (C) de la etapa (e), para cada imagen y el algoritmo de reconstrucción 3D del sistema de visión estéreo de la sub etapa (a);

C) interpolar por mínimos cuadrados una línea en el espacio, y determinar el vector unitario que define su orientación con las coordenadas 3D de las posiciones centrales de franjas no negras calculadas en la sub etapa (A);

D) calcular la coordenada 3D del extremo perforante (6) del elemento de perforación (2) con las coordenadas 3D del centro de la franja no negra de la mitad del patrón regular de franjas (3c) calculado en la sub etapa (B) y el vector unitario calculado en la sub etapa (C);

RESUMEN

La presente invención corresponde a un dispositivo y método para determinar la orientación y posición de un elemento de perforación que comprende un sistema de visión estéreo conformado por dos cámaras, una unidad de cómputo al sistema de visión, un elemento de perforación en el campo de visión de la primera cámara y de la segunda cámara y un mecanismo de marcación invariante a la rotación. Donde las cámaras conforman un sistema de visión estéreo y la unidad de cómputo establece la orientación y posición del extremo perforante del elemento de perforación.

Un método para determinar la orientación y posición de un elemento de perforación que comprende las etapas: una etapa a) que consiste en adquirir imágenes de cada una de las cámaras que conforman un sistema de visión estéreo y almacenarlas en un registro de memoria, una etapa b) que consiste en calcular al menos dos centroides y al menos dos áreas superficiales de un mecanismo de marcación invariante a la rotación de las imágenes almacenadas en la etapa (a) por medio de una unidad de cómputo, una etapa c) que consiste en extraer el perfil en intensidad del mecanismo de marcación invariante a la rotación con base en el resultado de la etapa (b), una etapa d) que consiste en calcular la fase del perfil en intensidad extraído en la etapa (c), en una etapa e) se calculan las posiciones centrales del mecanismo de marcación invariante a la rotación con el valor de fase del perfil en intensidad calculado en la etapa (d) y una etapa f) que consiste en determinar orientación y posición del extremo perforante de un elemento de perforación con el valor de las posiciones centrales calculado en la etapa (e).

FIGURAS

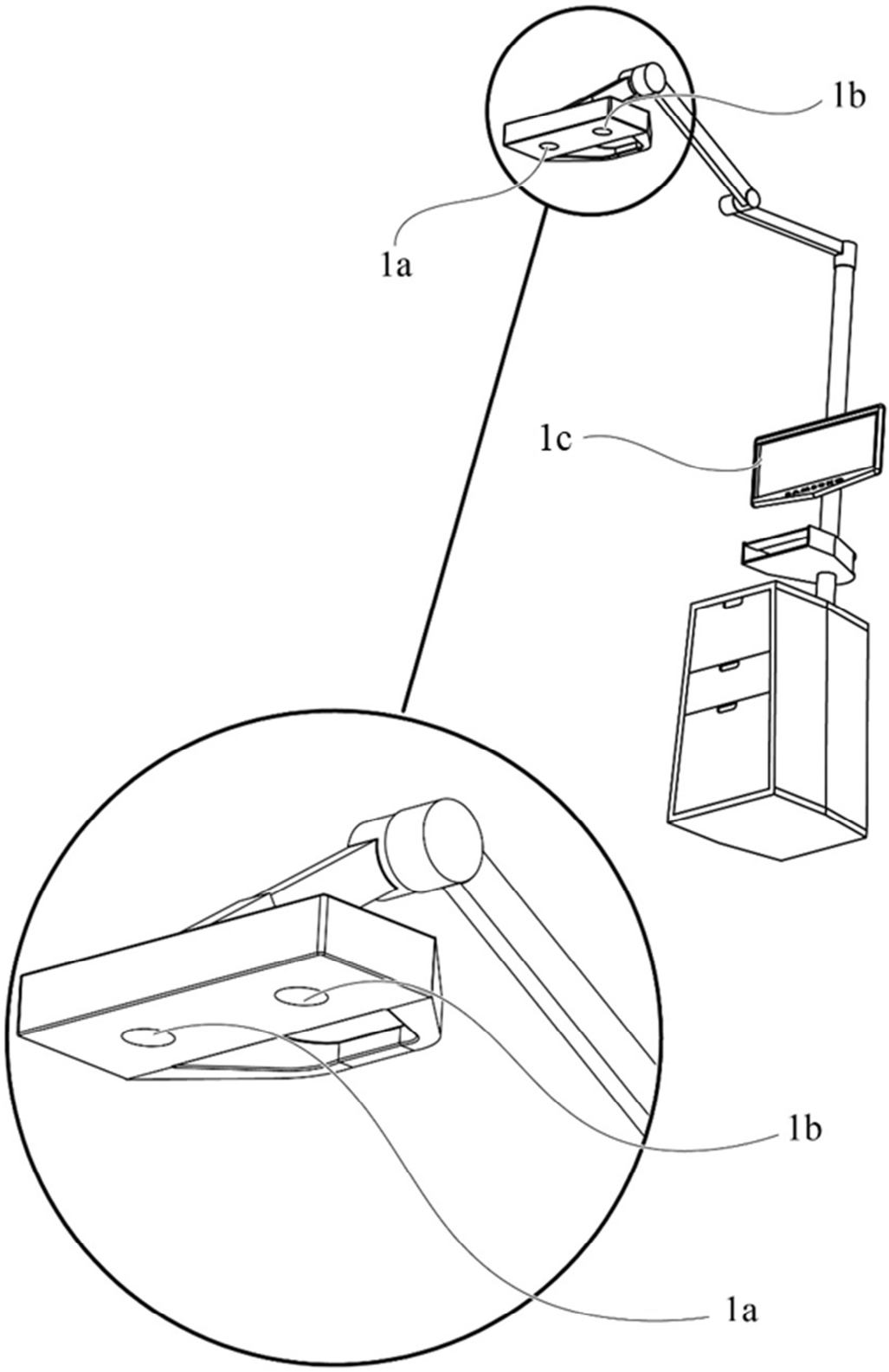

FIG. 1

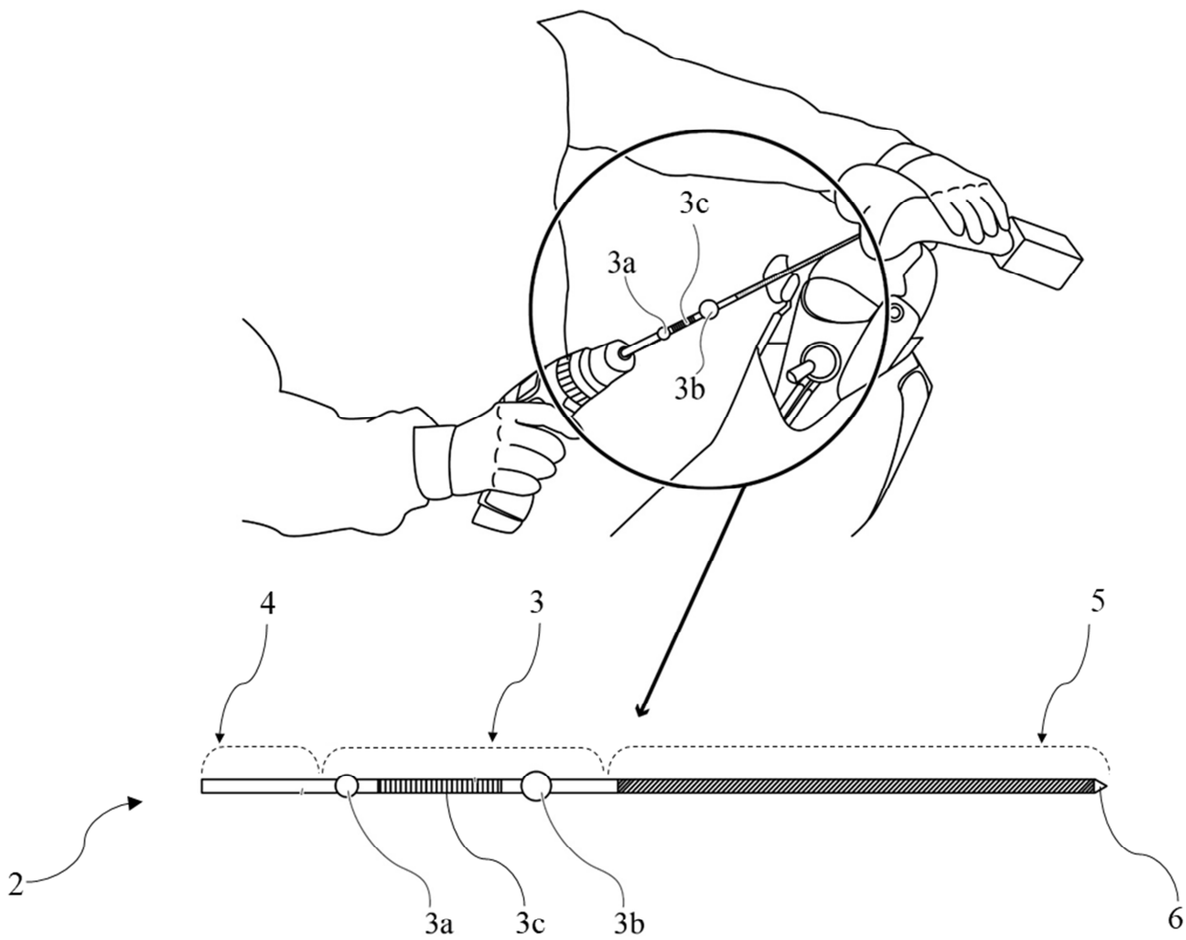

FIG. 2

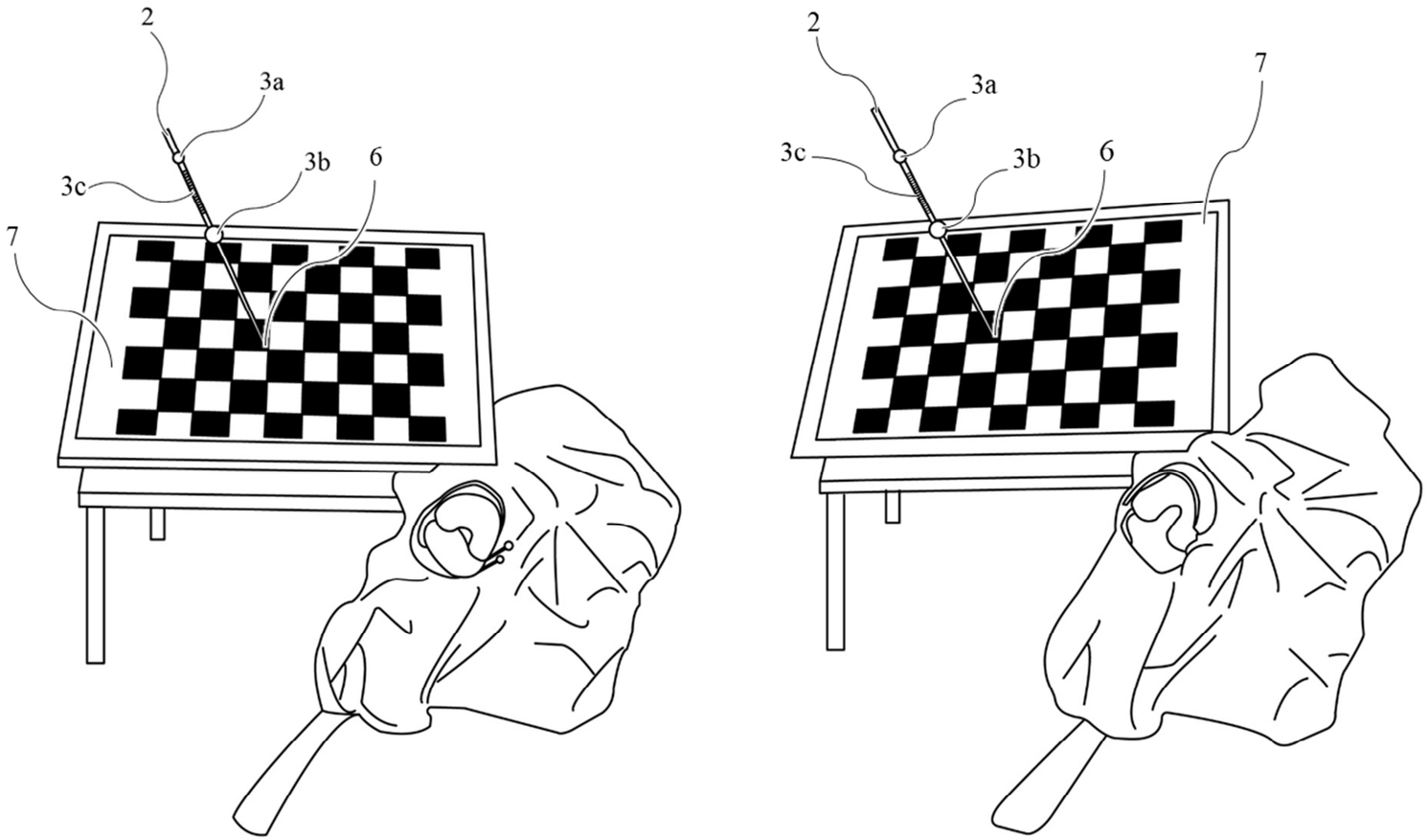

FIG. 3

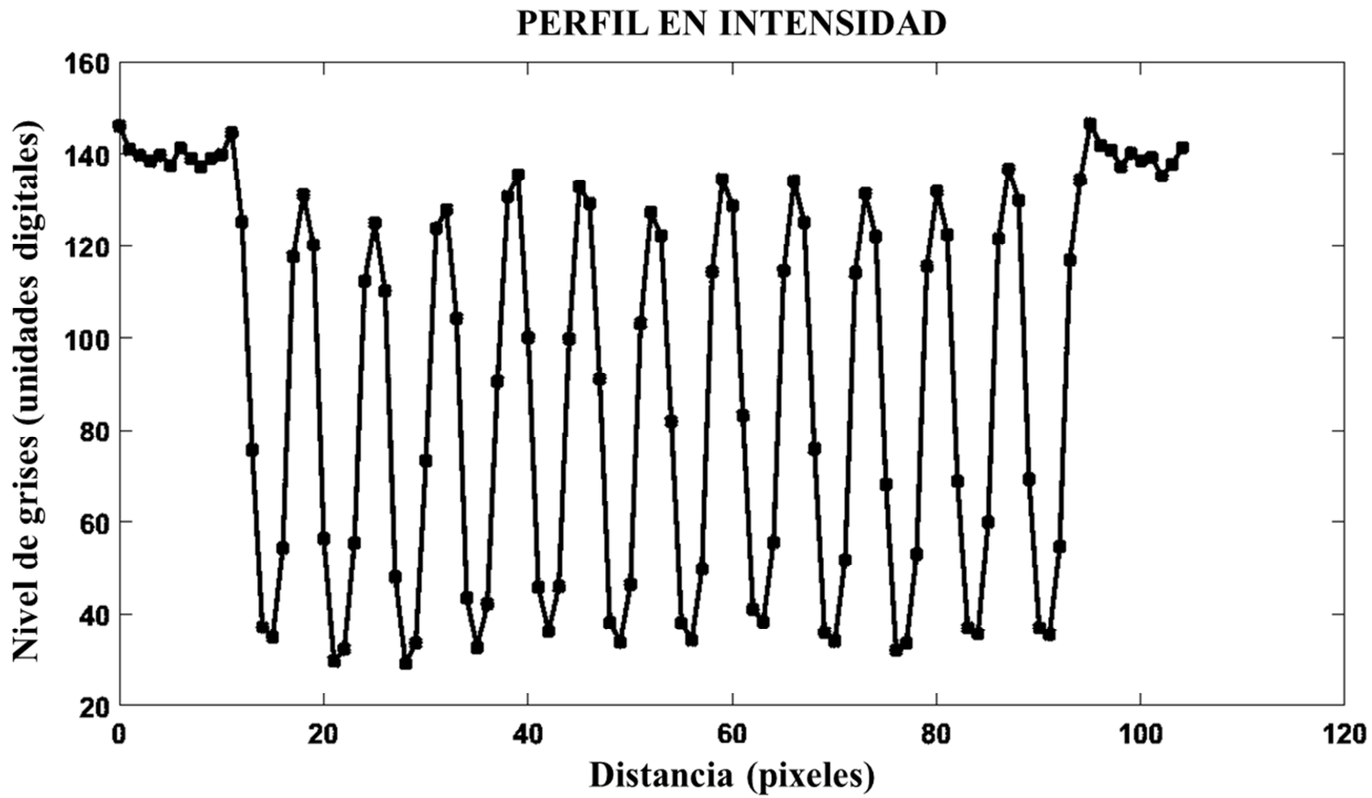
PERFIL EN INTENSIDAD
Nivel de grises (unidades digitales)
Distancia (pixeles)
160
140
120
100
80
60
40
20
0
20
40
60
80
100
120

FIG. 4

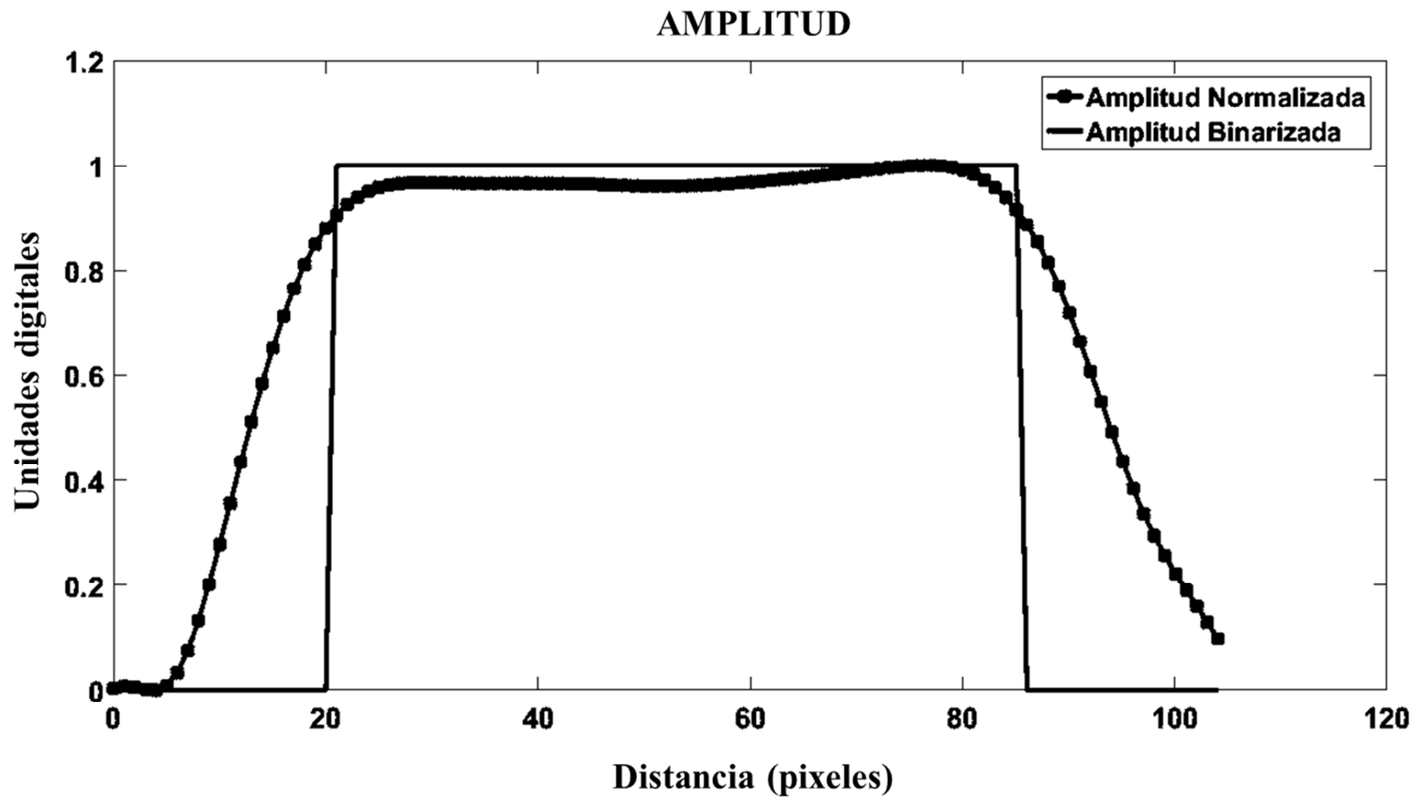
AMPLITUD
Amplitud Normalizada
Amplitud Binarizada
Unidades digitales
Distancia (pixeles)
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
20
40
60
80
100
120

FIG. 5

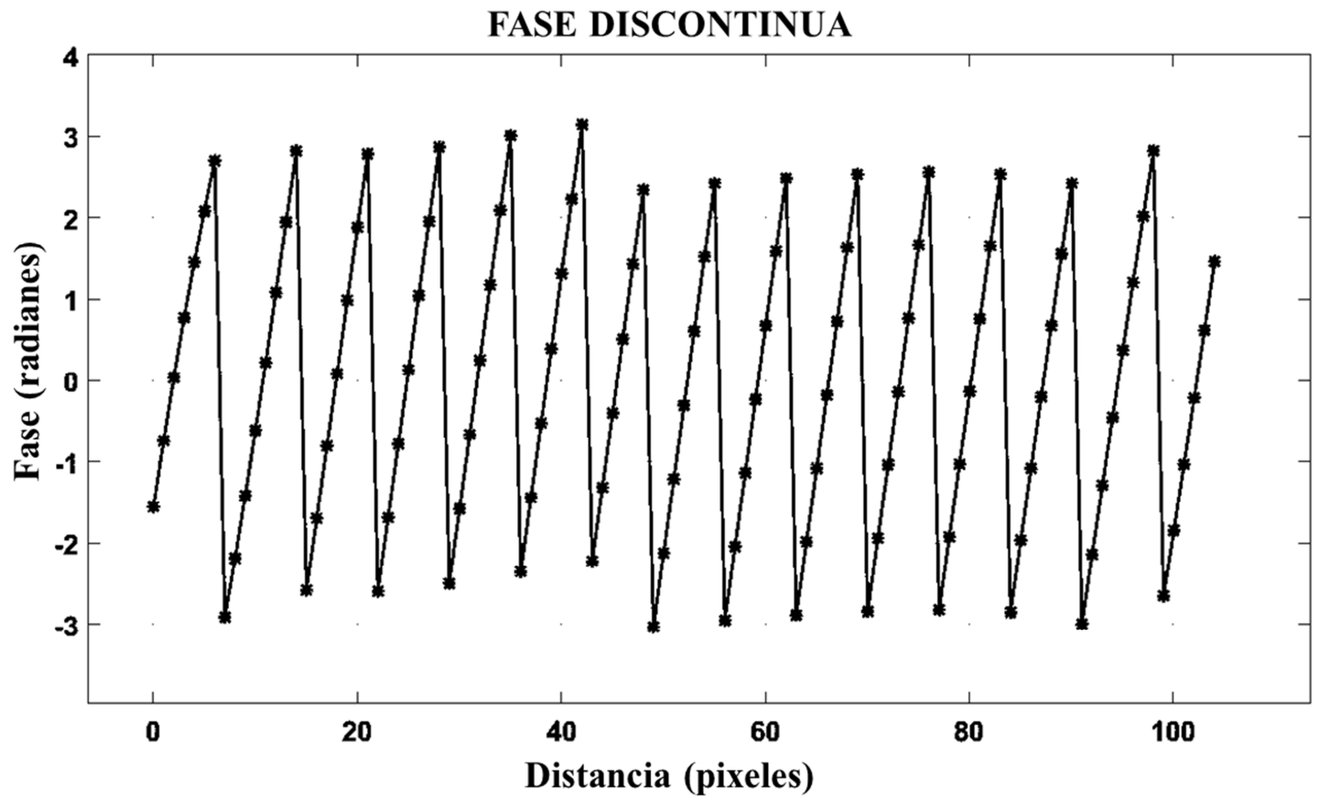
FASE DISCONTINUA
Fase (radianes)
Distancia (pixeles)
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
0
20
40
60
80
100

FIG. 6

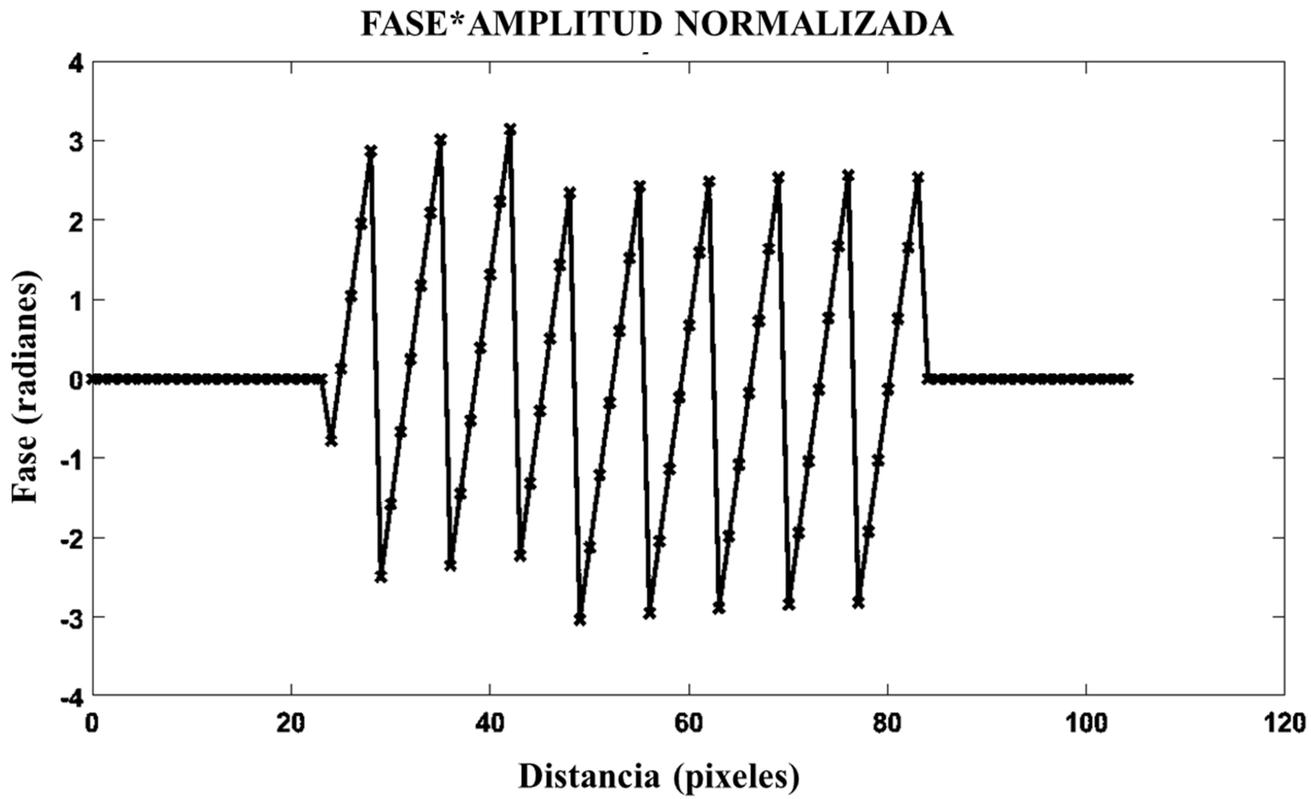
FASE*AMPLITUD NORMALIZADA
Fase (radianes)
Distancia (pixeles)
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0
20
40
60
80
100
120

FIG. 7

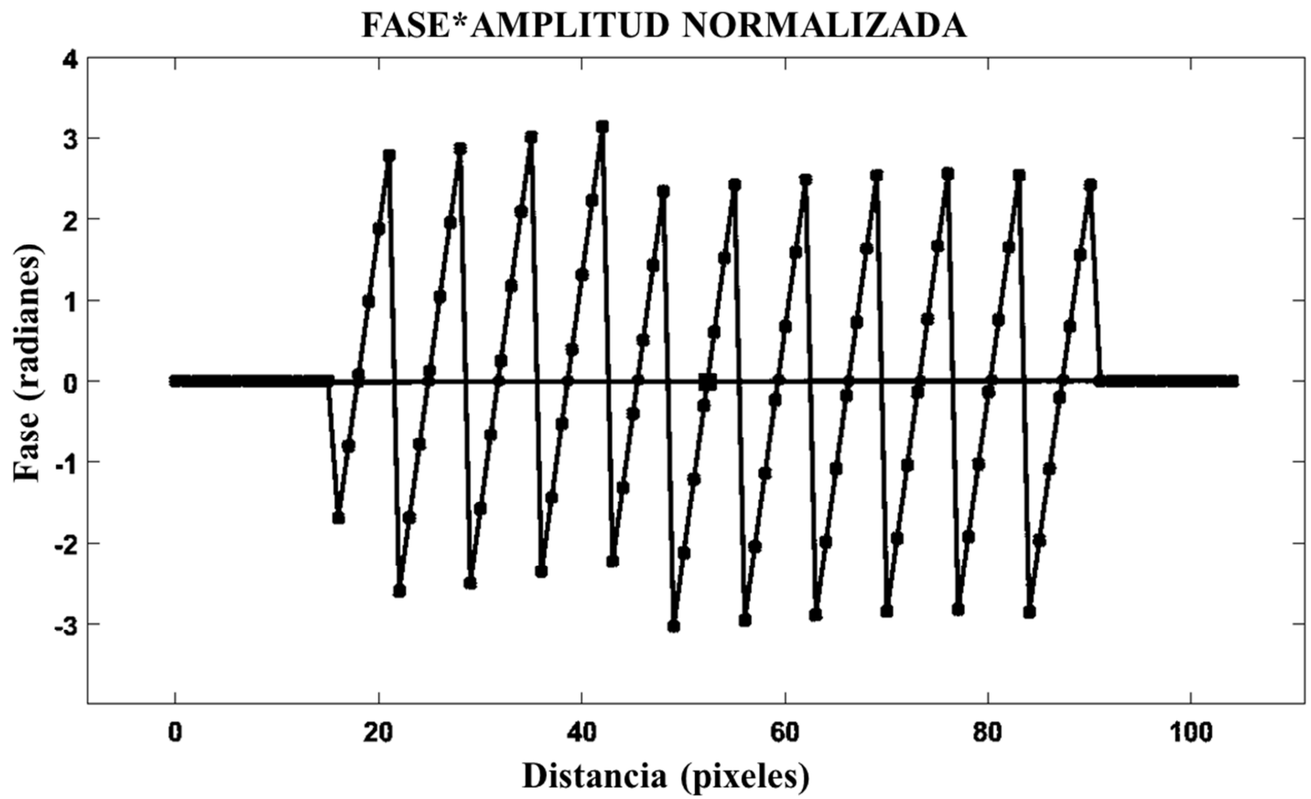
FASE*AMPLITUD NORMALIZADA
Fase (radianes)
Distancia (pixeles)
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
0
20
40
60
80
100

FIG. 8

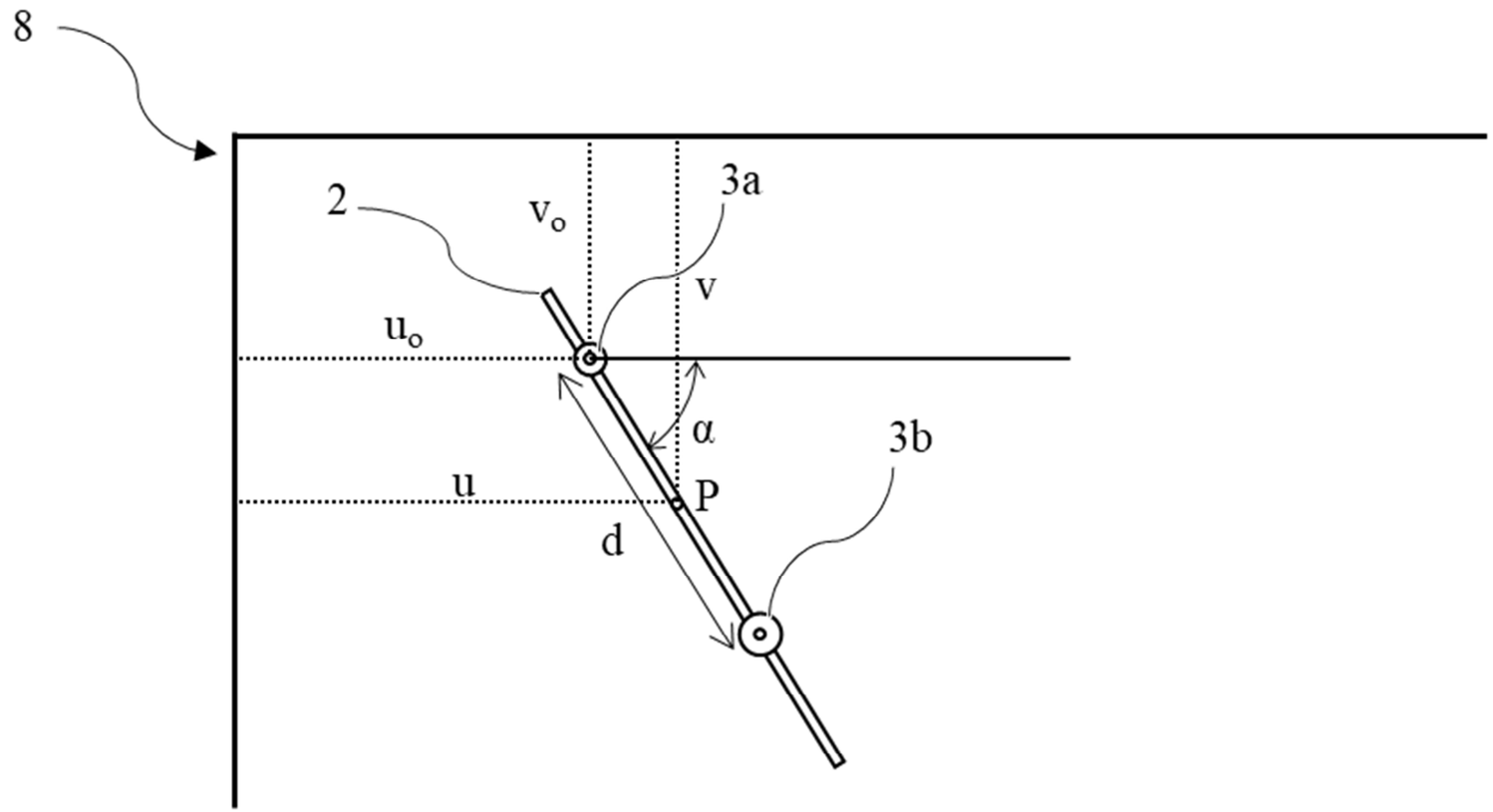

FIG. 9

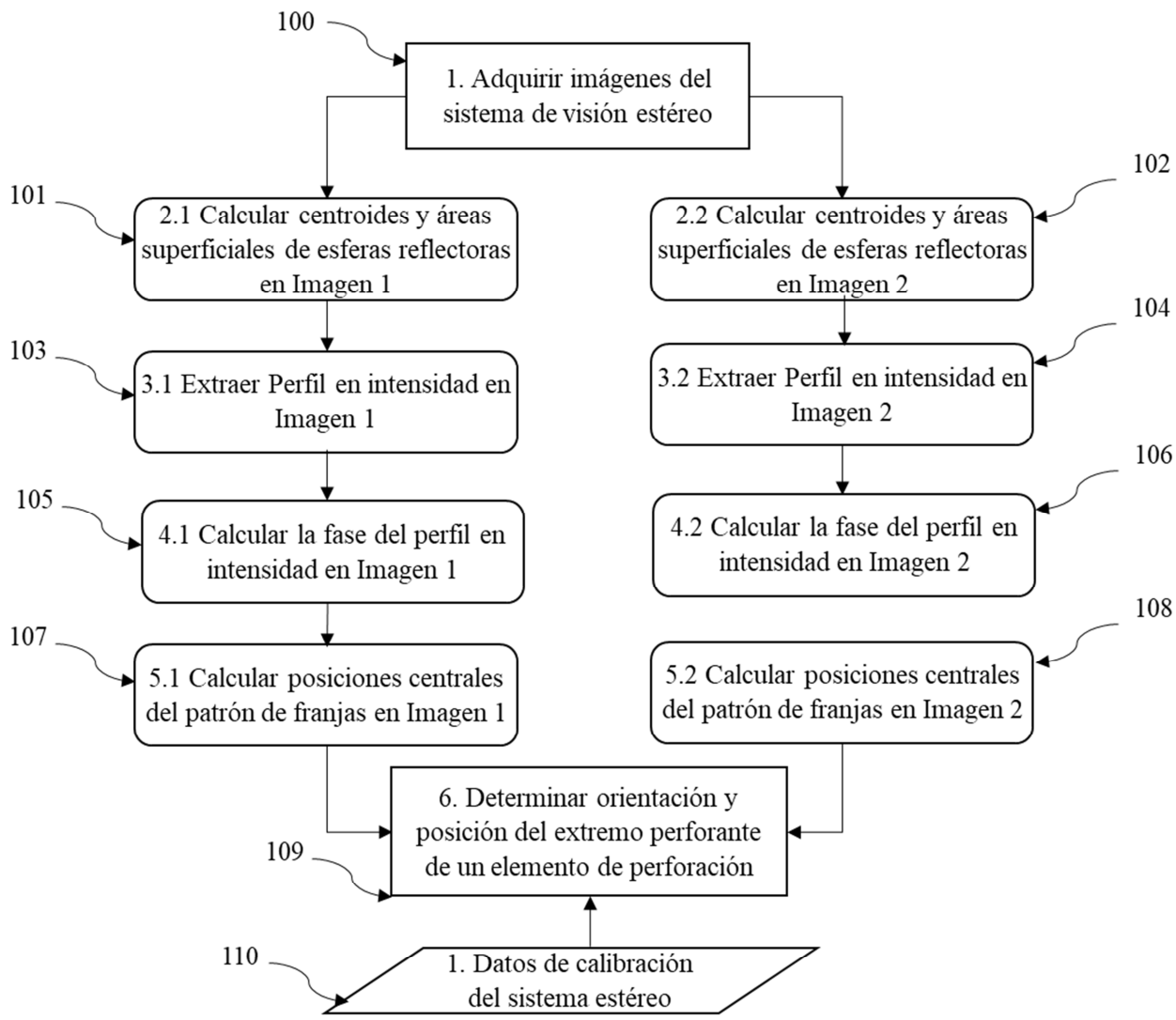
100
1. Adquirir imágenes del sistema de visión estéreo
101
2.1 Calcular centroides y áreas superficiales de esferas reflectoras en Imagen 1
102
2.2 Calcular centroides y áreas superficiales de esferas reflectoras en Imagen 2
103
3.1 Extraer Perfil en intensidad en Imagen 1
104
3.2 Extraer Perfil en intensidad en Imagen 2
105
4.1 Calcular la fase del perfil en intensidad en Imagen 1
106
4.2 Calcular la fase del perfil en intensidad en Imagen 2
107
5.1 Calcular posiciones centrales del patrón de franjas en Imagen 1
108
5.2 Calcular posiciones centrales del patrón de franjas en Imagen 2
109
6. Determinar orientación y posición del extremo perforante de un elemento de perforación
110
1. Datos de calibración del sistema estéreo

FIG. 10

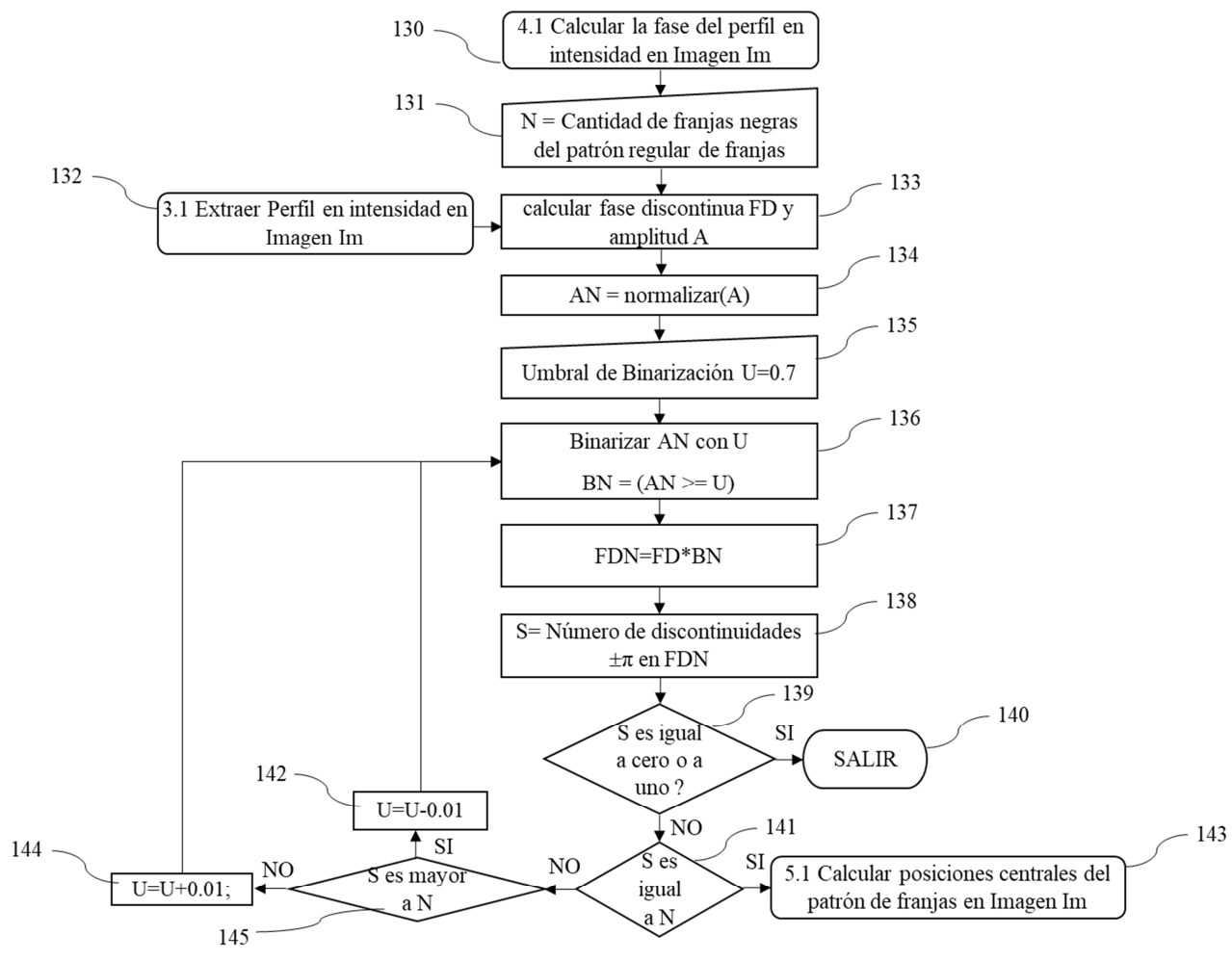
130
4.1 Calcular la fase del perfil en intensidad en Imagen Im
131
N = Cantidad de franjas negras del patrón regular de franjas
132
3.1 Extraer Perfil en intensidad en Imagen Im
133
calcular fase discontinua FD y amplitud A
134
AN = normalizar(A)
135
Umbral de Binarización U=0.7
136
Binarizar AN con U
BN = (AN >= U)
137
FDN=FD*BN
138
S= Número de discontinuidades ±π en FDN
139
S es igual a cero o a uno ?
SI
140
SALIR
NO
141
S es igual a N
SI
143
5.1 Calcular posiciones centrales del patrón de franjas en Imagen Im
NO
145
S es mayor a N
SI
142
U=U-0.01
NO
144
U=U+0.01;

FIG. 11