

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 711 651**

(51) Int. Cl.:
G01B 11/25
(2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.01.2012 E 12000475 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2018 EP 2489977**

(54) Título: **Procedimiento para determinar las coordenadas 3D de un objeto y para calibrar un robot industrial**

(30) Prioridad:

16.02.2011 DE 102011011360

(73) Titular/es:

**CARL ZEISS OPTOTECHNIK GMBH (100.0%)
Georg-Wiesböck-Ring 12-14
83115 Neubeuern, DE**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.05.2019

(72) Inventor/es:

**STEINBICHLER, MARCUS, DR.;
MAYER, THOMAS;
DAXAUER, HERBERT;
THAMM, CHRISTIAN y
OBERNDORFNER, SEBASTIAN**

(74) Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 711 651 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 para determinar las coordenadas 3D de un objeto y para calibrar un robot industrial

5 La invención se refiere a un procedimiento según la definición de la reivindicación 1, para determinar las
 10 coordenadas 3D de un objeto y para calibrar un robot industrial. En un procedimiento conocido para determinar las
 15 coordenadas 3D de un objeto se hace una captura del objeto con un sistema de proyección de franjas. El sistema de
 proyección de franjas comprende un proyector para proyectar un patrón de franjas sobre el objeto y una cámara
 20 para capturar el patrón de franjas reflejado por el objeto. La captura se evalúa por un sistema de evaluación, que
 comprende un ordenador, en particular un PC.

Como por regla general para determinar las coordenadas 3D del objeto no es suficiente con una única captura para cumplir con los requisitos de medición y/o registrar el objeto por completo, es necesario colocar el sistema de proyección de franjas en el espacio en diferentes posiciones de captura y transferir las capturas aquí obtenidas a un sistema de coordenadas común, superior, que también puede denominarse sistema de coordenadas absoluto. Este proceso denominado a menudo "registro global" requiere una elevada precisión.

En un procedimiento conocido de este tipo se obtienen capturas que se solapan parcialmente. Estas capturas
 25 pueden orientarse entre sí mediante una optimización de las zonas de solapamiento. No obstante, posiblemente el
 procedimiento no es lo suficientemente preciso con objetos más grandes con poca estructura de superficie. El uso
 adicional de marcas de medición, que se aplican en las zonas de solapamiento sobre el objeto y que forman los
 30 puntos de unión, a menudo tampoco aporta una mejora suficiente.

Además se conocen procedimientos en los que se utilizan marcas de medición que se ponen sobre el objeto y/o
 35 sobre una o varias correderas que rodean el objeto. En primer lugar se miden las marcas de medición. Esto se produce preferiblemente según el procedimiento de la fotogrametría. Con ayuda de las marcas de medición, que se registran mediante un sistema de proyección de franjas, es posible transformar las diferentes capturas del objeto en los puntos medidos, de modo que es posible un registro global.

30 Por el documento EP 2 273 229 A1 se conoce un procedimiento en el que para determinar las coordenadas 3D de un objeto un proyector proyecta un patrón de franjas sobre el objeto. El patrón de franjas reflejado por el objeto se captura por una cámara que comprende un sistema óptico y un sensor de superficie, en particular un sensor CCD o
 35 sensor CMOS. El proyector y la cámara forman un sistema de proyección de franjas. Cerca del objeto están dispuestas varias correderas de referencia que en cada caso presentan varias marcas de referencia. En primer lugar se miden las correderas de referencia. A continuación se determinan las coordenadas 3D del objeto mediante el sistema de proyección de franjas.

Por regla general en la determinación de las coordenadas 3D de un objeto según el procedimiento del documento
 40 EP 2 273 229 A1 tampoco es suficiente con hacer una única captura porque el objeto o la zona de interés del objeto son más grandes que el campo de visión de la cámara. Por consiguiente es necesario colocar el sistema de proyección de franjas compuesto por el proyector y la cámara en diferentes posiciones. A continuación se transfieren las capturas obtenidas en la respectiva posición a un sistema de coordenadas común, superior.

45 No obstante, el procedimiento según el documento EP 2 273 229 A1 a menudo conlleva un esfuerzo considerable, en particular, cuando este procedimiento tiene que llevarse a cabo en una instalación de medición automatizada, integrada en un proceso de fabricación. En este tipo de instalaciones es ventajoso utilizar un robot industrial para colocar el sistema de proyección de franjas compuesto por proyector y cámara. La información de posición del robot
 50 puede utilizarse entonces como valor aproximado para la determinación de la posición y orientación del sistema de proyección de franjas. No obstante, por regla general, la precisión de esta información de posición de robot no es suficiente para el registro global.

55 Se produce otro inconveniente cuando con el procedimiento según el documento EP 2 273 229 A1 tienen que determinarse las coordenadas 3D de objetos de diferentes tipos. En este caso, para cada tipo de objeto es necesario colocar y medir diferentes correderas adaptadas al tamaño respectivo del objeto.

60 Además puede ocurrir que debido a la colocación de las correderas de referencia el objeto, cuyas coordenadas 3D deben determinarse, ya no esté accesible o no lo esté en una medida suficiente. Mediante las correderas de referencia pueden limitarse las trayectorias de movimiento del robot. Además, mediante las correderas de referencia pueden taparse partes del objeto. La disposición de objetos nuevos a determinar en la zona que rodea las correderas de referencia también puede resultar complicada.

65 Por el documento EP 2 273 229 A1 se conoce un procedimiento para determinar las coordenadas 3D de un objeto, en el que el objeto está rodeado por varias correderas de referencia con marcas de referencia codificadas. El objeto da lugar a varias capturas de tal modo que éstas incluyen en cada caso una parte del objeto y una parte de una corredera de referencia.

Por el documento US 2006/265177 A1 se conoce un procedimiento para determinar las coordenadas 3D de la superficie de un objeto, que puede realizarse por medio de un aparato de medición 3D óptico. La posición del aparato de medición 3D se determina por un sistema de seguimiento.

- 5 Por el documento US 5.198.877 A se conoce un procedimiento similar para determinar las coordenadas 3D de la superficie de un objeto.

Por los documentos US 2009/323121 A1, US 2009/067706 A1 y US 2003/025788 A1 se conocen procedimientos de medición 3D ópticos que utilizan cámaras de referencia y campos de marcas de referencia.

- 10 En el documento US4753569 A se utilizan cámaras de referencia y campos de marcas de referencia para calibrar un brazo de robot.

- 15 Un objetivo de la invención es proponer un procedimiento mejorado para determinar las coordenadas 3D de un objeto. El dispositivo, que se hace funcionar en este procedimiento y que no se reivindica como tal, comprende un proyector para proyectar un patrón sobre el objeto, una cámara unida con el proyector para hacer una captura del objeto y una cámara de referencia unida con el proyector y la cámara para hacer una captura de una o varias marcas de referencia de un campo de marcas de referencia. El patrón proyectado por el proyector es en particular un patrón de franjas. Es particularmente adecuada una proyección de franjas de luz blanca. La cámara comprende preferiblemente un sensor de superficie, en particular un sensor CCD, un sensor CMOS u otro sensor de superficie. Resulta ventajoso que la cámara comprenda un sistema óptico. La cámara puede estar unida con el proyector directa o indirectamente. Está orientada de tal modo que puede capturar el patrón irradiado por el objeto. La cámara de referencia está unida directa o indirectamente con el proyector y la cámara. Su posición y orientación es fija con respecto al proyector y la cámara. El proyector, la cámara y la cámara de referencia forman un sistema de medición para determinar las coordenadas 3D del objeto.

- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- El dispositivo comprende una o varias cámaras de referencia adicionales. La una o varias cámaras de referencia adicionales están fijadas en su posición y orientación con respecto al proyector, la cámara y la primera cámara de referencia. Pueden estar unidas directa o indirectamente con el proyector y/o la cámara y/o la cámara de referencia. Resulta ventajoso que la dirección del eje óptico de la cámara de referencia adicional o de las cámaras de referencia adicionales sea diferente de la dirección del eje óptico de la cámara y/o de la (primera) cámara de referencia y/o de las cámaras de referencia adicionales. En general la precisión que puede alcanzarse es mayor cuantas más cámaras de referencia se utilicen y/o cuanto más diferente sea la distribución de sus ejes ópticos y con ello de sus direcciones visuales. En casos determinados puede resultar ventajoso que los ejes ópticos de las cámaras de referencia sean perpendiculares entre sí. Por ejemplo puede haber tres cámaras de referencia, cuyos ejes ópticos sean perpendiculares entre sí. No obstante también son posibles otras configuraciones.

Las cámaras de referencia pueden estar previstas en un módulo de cámara. Pueden estar fijadas al módulo de cámara de manera separable o inseparable.

El dispositivo comprende además una unidad de evaluación para determinar la posición y/o la orientación del proyector y/o de la cámara y/o de la o de las varias cámaras de referencia. La unidad de evaluación puede estar formada por un ordenador, en particular un PC. La determinación de la posición o posiciones y/o de la orientación u orientaciones puede llevarse a cabo mediante el ajuste de bloque por haces.

El dispositivo para determinar las coordenadas 3D de un objeto comprende también un robot industrial para colocar este dispositivo.

El dispositivo comprende además un campo de marcas de referencia. Las marcas de referencia pueden estar colocadas en una o varias paredes. No obstante también es posible colocar las marcas de referencia de otro modo. Las paredes, en las que están colocadas las marcas de referencia, pueden formar una celda de medición para el objeto. La celda de medición puede estar cerrada o abierta.

En un procedimiento para determinar las coordenadas 3D de un objeto el objetivo de la invención se alcanza por que el objeto se coloca delante de un campo de marcas de referencia, se hace una captura completa o parcial del objeto con el dispositivo y se hace una captura de una o varias marcas de referencia de un campo de marcas de referencia por una o varias cámaras de referencia.

Resulta ventajoso que se hacen capturas de partes adicionales del objeto. Preferiblemente se solapan algunas o todas las capturas de las partes del objeto.

En el procedimiento de la reivindicación 1 el campo de marcas de referencia se mide por fotogrametría al menos una vez.

- 65 En el procedimiento según la reivindicación 1 también se produce una calibración del robot industrial. A este respecto, se trata preferiblemente de un robot industrial multiaxial.

Un objetivo adicional de la invención es proponer un procedimiento mejorado para calibrar un robot industrial.

Según la invención este objetivo también se alcanza mediante las características de la reivindicación 1. Según el procedimiento el robot industrial coloca un dispositivo para determinar las coordenadas 3D de un objeto en varias posiciones preestablecidas. Estas posiciones pueden estar preestablecidas según su posición y/u orientación. En estas posiciones se capturan una o varias o todas las marcas de referencia de un campo de marcas de referencia por el dispositivo. A partir de estas capturas se determinan las posiciones del robot industrial. Las posiciones del robot industrial pueden determinarse según su posición y/u orientación. En el caso de las posiciones preestablecidas y determinadas del robot industrial puede tratarse de las posiciones del brazo más externo del robot industrial. Las posiciones del robot industrial, que se han determinado a partir de las capturas, se comparan con las posiciones preestablecidas del robot industrial. Esta comparación proporciona una medida para las desviaciones de las posiciones reales del robot industrial con respecto a las posiciones preestablecidas. Esta medida puede tenerse en cuenta como valor de corrección para posiciones del robot industrial que se preestablecerán en un futuro. También es posible formar una matriz de corrección a partir de varios valores de corrección para diferentes posiciones preestablecidas, que también proporciona valores de corrección para posiciones intermedias, por ejemplo debido a una interpolación. La interpolación puede realizarse con diferentes funciones adecuadas.

Este procedimiento permite utilizar exclusivamente la posición del robot para el registro global de la respectiva captura. Esto resulta especialmente ventajoso cuando no es posible que la o las varias cámaras de referencia puedan capturar un número suficiente de marcas de referencia. Éste puede ser el caso en particular cuando las coordenadas 3D deben determinarse en el espacio interior de un objeto, por ejemplo una carrocería.

A continuación se explicará en detalle un ejemplo de realización de la invención mediante el dibujo adjunto. En el dibujo la única figura muestra un dispositivo para determinar las coordenadas 3D de un objeto en una representación en perspectiva.

La estructura de medición mostrada en el dibujo sirve para determinar las coordenadas 3D del lado anterior de un objeto 1, concretamente de una puerta de vehículo (puerta en bruto). El objeto 1 está colocado delante de una pared posterior 2 de una celda de medición 3. La celda de medición 3 comprende la pared posterior 2, la pared lateral izquierda 4 y la pared de suelo 5. La celda de medición 3 comprende además una pared lateral derecha, una pared trasera y una pared de techo (no representada en el dibujo).

En las paredes de la celda de medición 3 están dispuestas marcas de referencia 6, que en sí mismas están codificadas, y marcas de referencia 24, que no están codificadas en sí mismas, pero que están dispuestas espacialmente unas respecto a otras de tal modo que esta disposición espacial supone una codificación. Las marcas de referencia 6, 24 forman un campo 25 de marcas de referencia. Cada marca de referencia 6 codificada en sí misma comprende un elemento invariable, no codificador y un elemento variable, codificador. El elemento no codificador se forma por un círculo 7 que se encuentra en el centro de la marca de referencia codificada 6. El elemento codificador se forma por segmentos 8. A diferencia de la representación en el dibujo el elemento codificador 8 es diferente para cada marca de referencia codificada 6. Mediante los diferentes elementos codificadores 8 es posible una identificación única de cada marca de referencia codificada 6.

En la celda de medición 3 está dispuesto un sistema de proyección de franjas 9. El sistema de proyección de franjas 9 comprende un proyector 10 y una cámara 11. El proyector 10 proyecta un patrón, en particular un patrón de franjas, sobre el objeto 1, como se indica mediante la flecha 12. La cámara 11 captura el patrón de franjas reflejado por el objeto 1 según su superficie espacial, como se indica mediante la flecha 13. El proyector 10 y la cámara 11 están unidos entre sí mediante un sistema de barras 14. Están fijados con respecto a su posición y orientación entre sí.

Un módulo de cámara 15 está unido con el sistema de proyección de franjas 9. El módulo de cámara 15 comprende una primera cámara de referencia 16, una segunda cámara de referencia 17 y una tercera cámara de referencia 18. El eje óptico 19 y con ello la dirección visual de la primera cámara de referencia 16 se dirige hacia la pared trasera de la celda de medición 3, el eje óptico 20 y con ello la dirección visual de la segunda cámara de referencia 17 se dirige hacia la pared lateral derecha de la celda de medición 3 y el eje óptico 21 y con ello la dirección visual de la tercera cámara de referencia 18 se dirige hacia la pared de techo de la celda de medición 3. La pared lateral derecha, la pared trasera y la pared de techo de la celda de medición también están dotadas de marcas de referencia 6, 24. El módulo de cámara 15 está fijado con respecto a su posición y orientación con respecto al sistema de proyección de franjas 9. Está unido con el sistema de barras 14 del sistema de proyección de franjas 9 mediante un sistema de barras 22. El sistema de proyección de franjas 9 y el módulo de cámara 15 forman un sistema de medición 23.

En un primer ciclo de medición se registran y almacenan las posiciones de las marcas de referencia 6, 24 de la celda de medición 3. Preferiblemente en este ciclo de medición no hay ningún objeto 1 en la celda de medición 3. La determinación de las posiciones de las marcas de referencia 6, 24 se produce mediante fotogrametría. A este respecto, se obtienen capturas de las marcas de referencia 6, 24 desde diferentes posiciones de cámara. Esto puede realizarse mediante la cámara 11. No obstante también es posible realizar la fotogrametría de las marcas de

referencia 6, 24 independientemente del sistema de proyección de franjas 9. En ambos casos es posible, pero no obligatorio, colocar la cámara mediante un robot industrial.

- 5 Tras la determinación de las posiciones de las marcas de referencia 6, 24 es posible determinar las coordenadas 3D de objetos. Para ello se coloca el objeto 1 en la celda de medición 3 como resulta evidente por el dibujo. El proyector 10 proyecta un patrón de franjas sobre la superficie del objeto 1, la cámara 11 captura el patrón de franjas reflejado y una o varias o todas las cámaras de referencia 16, 17, 18 capturan las marcas de referencia 6, 24 del campo 25 de marcas de referencia.
- 10 Cuando se utiliza sólo una cámara de referencia en general es necesario registrar en una captura al menos tres marcas de referencia codificadoras 6. Cuando se utilizan tres cámaras de referencia en general es necesario que cada cámara de referencia registre al menos una marca de referencia codificadora 6.
- 15 En una unidad de evaluación, en particular en un ordenador, en particular en un PC (no representado en el dibujo), a partir de la o las capturas de las marcas de referencia 6, 24, obtenidas por la o las cámaras de referencia 16, 17, 18, se determina la posición y orientación del sistema de medición 23. De este modo es posible determinar las coordenadas 3D del objeto 1 a partir de las capturas de la cámara 11.
- 20 Cuando el objeto 1 es más grande que el campo de visión de la cámara 11, es necesario obtener varias capturas del objeto 1. Estas capturas pueden solaparse parcialmente entre sí. Gracias a las capturas de las marcas de referencia 6, 24 mediante una o varias cámaras de referencia 16, 17, 18 es posible determinar, para cada captura individual de una parte del objeto 1 mediante la cámara 11, las coordenadas 3D de la superficie parcial correspondiente del objeto 1 como coordenadas absolutas.
- 25 El dispositivo comprende además una unidad de evaluación para determinar la posición y orientación del sistema de medición 23, es decir, del proyector 10, de la cámara 11 y de las cámaras de referencia 16, 17, 18. También esta unidad de evaluación puede formarse por un ordenador, en particular un PC (no representado en el dibujo).
- 30 El sistema de medición 23 se coloca según la invención por un robot industrial (no representado en el dibujo).
- 35 Mediante la invención se proporciona un procedimiento para el registro global de un objeto. Una celda de medición, en la que puede operar un sistema de robot, está dotada de marcas de referencia. El campo de marcas de referencia se mide una vez por fotogrametría. Las capturas de medición individuales para determinar las coordenadas 3D del objeto pueden transferirse al sistema de coordenadas de las marcas de referencia.
- 40 Una o varias cámaras de referencia 16, 17, 18 orientadas en diferentes direcciones del espacio se fijan mecánicamente con el sistema de proyección de franjas 9 y por medio de una calibración adecuada se disponen en un sistema de coordenadas común con el mismo. Esta calibración puede producirse porque el sistema de proyección de franjas 9 y el módulo de cámara 15 miden simultáneamente, preferiblemente repetidas veces, en cada caso una cantidad parcial de las marcas de referencia. Entonces, con un ajuste de bloque por haces por fotogrametría pueden determinarse en conjunto las orientaciones externas o relativas de las cámaras de referencia 16, 17, 18 del módulo de cámara 15 así como del proyector 10 y la cámara 11 del sistema de proyección de franjas 9.
- 45 En la medición del objeto 1, es decir, la determinación de las coordenadas 3D del objeto 1, la determinación exacta de la posición y orientación del sistema de proyección de franjas 9 se produce mediante el módulo de cámara 15 y las marcas de referencia 6, 24, preferiblemente con el procedimiento de ajuste de bloque por haces por fotogrametría. Con ayuda de esta información es posible transferir las capturas de medición individuales del objeto 1 a un sistema de coordenadas común.
- 50 Además es posible una medición posterior del campo 25 de marcas de referencia dentro de la celda de medición 3. Esto puede producirse con ayuda de un programa de robot y del sistema de medición 23. A este respecto, las coordenadas de las marcas de referencia 6, 24 conocidas de la primera medición se incluyen como valores aproximados en el ajuste de bloque por haces.
- 55 Según la invención el sistema de medición 23 se emplea también para calibrar un robot industrial. Cuando se han registrado y almacenado las posiciones de las marcas de referencia 6, 24, es posible registrar de manera muy exacta la posición del robot industrial con ayuda del campo 25 de marcas de referencia y con ayuda del sistema de medición 23.
- 60 La información de calibración necesaria del robot se obtiene a partir de una comparación de las transformaciones de las mediciones de referencia con las posiciones preestablecidas manualmente en el sistema de coordenadas del robot.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para hacer funcionar un dispositivo, que comprende un sistema de medición para determinar las coordenadas 3D de un objeto (1) con un proyector (10) para proyectar un patrón sobre el objeto (1), una cámara (11) unida de manera fija con el proyector (10) en cuanto a su posición y orientación para hacer una captura del objeto (1) y al menos una cámara de referencia (16) unida de manera fija con el proyector (10) y la cámara (11) en cuanto a su posición y orientación para hacer una captura de una o varias marcas de referencia (6, 24) de un campo (25) de marcas de referencia, una unidad de evaluación para determinar la posición y la orientación del sistema de medición a partir de una o varias capturas de la cámara de referencia y un robot industrial para colocar el sistema de medición, en el que según el procedimiento
- 5 - se mide el campo de marcas de referencia al menos una vez por fotogrametría y
- 10 - se emplea el sistema de medición para calibrar el robot industrial, registrándose la posición del robot industrial con ayuda del campo de marcas de referencia y del sistema de medición.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el sistema de medición comprende una o varias cámaras de referencia adicionales (17, 18).
- 20 3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que las cámaras de referencia (16, 17, 18) están previstas en un módulo de cámara (15).
- 25 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se emplea el sistema de medición para determinar las coordenadas 3D de un objeto (1), caracterizado por que el objeto (1) se coloca delante de un campo de marcas de referencia (6, 24), se hace una captura total o parcial del objeto (1) con el sistema de medición y se hace una captura de una o varias marcas de referencia (6, 24) de un campo (25) de marcas de referencia por una o varias cámaras de referencia (16, 17, 18).
- 30 5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que se hace una captura de partes adicionales del objeto (1) con el sistema de medición.
- 35 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la medición del campo de marcas de referencia (6, 24) se realiza colocándose el sistema de medición por el robot industrial en varias posiciones, captándose una o varias o todas las marcas de referencia (6, 24) por el sistema de medición en estas posiciones y por que se determinan las posiciones de las marcas de referencia (6, 24) a partir de estas capturas.
- 40 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema de medición para calibrar el robot industrial se coloca en varias posiciones preestablecidas, se capturan una o varias o todas las marcas de referencia (6, 24) de un campo (25) de marcas de referencia por el sistema de medición en estas posiciones y se determinan las posiciones del robot industrial a partir de estas capturas y se comparan con las posiciones preestablecidas.
- 45 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se emplea el sistema de medición para determinar las coordenadas 3D de un objeto, caracterizado por que el sistema de medición se coloca con el proyector (10) para proyectar un patrón sobre el objeto (1) y la cámara (11) unida con el proyector para hacer una captura del objeto (1) por el robot industrial y el objeto se capture por el sistema de medición.

