



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 267 612**

51 Int. Cl.:
G01B 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01104224 .9**

86 Fecha de presentación : **22.02.2001**

87 Número de publicación de la solicitud: **1143221**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **10.10.2001**

54 Título: **Procedimiento para determinar la posición de un sistema de coordenadas de una pieza de trabajo en el espacio 3D.**

30 Prioridad: **06.04.2000 DE 100 16 963**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.03.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.03.2007

73 Titular/es: **VMT Vision Machine Technic GmbH
Thaddenstrasse 10
69469 Weinheim, DE
TECMEDIC GmbH**

72 Inventor/es: **Mikeska, Harald Manfred Günter;
Grünewald, Dirk;
Grünewald, Frank;
Neddemeyer, Werner;
Schnell, Michael y
Lilienthal, Angela**

74 Agente: **Roeb Díaz-Álvarez, María**

ES 2 267 612 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 la posición de un sistema de coordenadas de una pieza de trabajo en el espacio 3D.

5 Ámbito técnico

La invención se refiere a un procedimiento para determinar la posición de una pieza de trabajo y la posición de características de la pieza de trabajo en el espacio 3D usando al menos dos cámaras electrónicas y un procesamiento digital de imágenes, según el cual las cámaras son calibradas a un sistema de coordenadas global común y, a continuación, la pieza de trabajo se sitúa en el espacio entre las cámaras, según el preámbulo de la reivindicación 1.

Estado de la técnica

La medición 3D rápida y sin contacto de un cuerpo tridimensional posee una función clave en el camino hacia una mayor automatización y la vigilancia total de la calidad en muchos procesos de fabricación. Tras la introducción exitosa de la adquisición y el procesamiento de imágenes 2D en prácticamente cualquier ámbito industrial y social, la adquisición y el procesamiento de imágenes 3D se encuentran al principio de un desarrollo de importancia obviamente comparable. Especialmente en la producción industrial, la adquisición rápida y sin contacto de posiciones 3D y formas 3D adquiere una gran importancia, de forma que, por ejemplo para el control de precisión de medidas, la comprobación de integridad, la visión robótica en el montaje automático, la comprobación de estructuras superficiales, la ingeniería de reserva, la vigilancia de zonas de seguridad, el reconocimiento de objetos 3D y la navegación en el espacio. La detección de formas 3D proporciona las medidas geométricas absolutas de objetos, independientemente del estado superficial, de la distancia, del giro y de la iluminación, es decir que varían en función de la rotación, del desplazamiento y la iluminación. No obstante, el gasto es incomparablemente más elevado que en la proyección 2D, en la que se pierde la información de profundidad de las escenas 3D. La adquisición de posiciones 3D proporciona el conocimiento exacto de la posición de objetos en el espacio y su posición unos respecto a otros. Por tanto, es de importancia elemental para una multitud de procedimientos técnicos.

La calibración de cámaras electrónicas es un tema estudiado en muchas ocasiones. Este ámbito es liderado por procedimientos dedicados a la evaluación de muestras conocidas en la imagen de vídeo, estando basados todos los procedimientos conocidos en el modelo de la cámara con diafragma perforado. Los parámetros son la distancia focal óptima, la posición del orificio de entrada de luz en el espacio y los parámetros de registro de lente, así como los parámetros que se refieren a la posición del chip CCD con respecto al sistema de coordenadas de agujeros. Todos los procedimientos conocidos para determinar estos parámetros se basan en la evaluación de imágenes de vídeo. En estas imágenes de vídeo se intenta averiguar los parámetros de los modelos de cámara mediante la observación de cuerpos o placas de calibración.

Especialmente la medición sin contacto de coordenadas 3D mediante cámaras CCD entraña el mayor potencial de posibilidades, pero al mismo tiempo exige los requisitos más altos en cuanto a la metódica y la técnica. Para el análisis de complejas escenas 3D han de emplearse métodos y procedimientos del reconocimiento de muestras, del procesamiento clásico de imágenes y de la fotogrametría, con el objetivo de adquirir las posiciones de determinados objetos y su relación mutua. Con la complejidad de la escena aumenta la cantidad de la información que ha de ser procesada y, por consiguiente, la necesidad de emplear métodos y procedimientos eficientes. En caso contrario, se produce un aumento desproporcionado de los requisitos de capacidad del hardware de ordenadores empleados.

El uso de aparatos de manejo y robots, generalmente, está sujeto a que la posición del objeto a manejar esté definido dentro de estrechos márgenes. En muchos procesos de producción, esto o bien no puede garantizarse, o bien, se tiene que lograr mediante una unidad de posicionamiento aparatosa, cara y al mismo tiempo inflexible. Esto último es contrario al deseo de trenes de producción flexibles.

Así, por ejemplo, en determinadas secciones de la producción, las carrocerías de automóviles se mueven suspendidas de un sistema de transporte capaz de posicionar una carrocería tan sólo con una precisión de +/- 30 mm. De esta forma es imposible un mecanizado por un robot, si para el proceso de trabajo mismo se requiere una mayor precisión.

En la fabricación en masas de piezas estampadas o curvadas, éstas, frecuentemente, son conducidas, sin clasificar, en cajas a las siguientes estaciones de trabajo. Generalmente, la separación de las piezas es posible de una manera sencilla. Sin embargo, el posicionamiento exacto respecto a un sistema robótico debe realizarse frecuentemente con complicadas disposiciones mecánicas, adaptadas exactamente al producto.

Por el documento EP0763406A1 se ha conocido un procedimiento para determinar la posición de un cuerpo en el espacio, para realizar manipulaciones en éste, con varias cámaras electrónicas con procesamiento de imágenes, separadas en el espacio, que cooperan con éste. Cada una de al menos tres cámaras electrónicas con procesamiento de imágenes, separadas en el espacio, graba durante su medición una tabla de calibración asignada a ella, con muestras de puntos, procesando sus imágenes y la muestra de puntos para la determinación de la posición de las distintas cámaras en el espacio y almacenando su posición. Una medición de las tablas de calibración unas respecto a otras se realiza de forma separada de ello, siendo almacenados también estos valores. A continuación, el cuerpo que ha de medirse se pone en el espacio entre las cámaras electrónicas. Respectivamente un punto característico en el cuerpo puesto en

el espacio se reproduce en respectivamente una cámara electrónica asignada a éste, de modo que su posición en la imagen sea procesada con su posición constructiva predeterminada del punto característico en el cuerpo puesto en el espacio, junto con los valores almacenados; todos los valores procesados caracterizan la posición del cuerpo puesto en el espacio en los seis grados de libertad espaciales. Un inconveniente fundamental de este procedimiento es que para determinar la posición de un cuerpo en el espacio han de utilizarse tablas de calibración que deben manejarse cuidadosamente y que no deben dañarse, ocupando además espacio de almacenamiento. La desventaja esencial es que las tablas de calibración tienen que posicionarse con un gran aparato mecánico en el campo visual de las cámaras y que la posicionabilidad tiene que ser repetible con la máxima precisión posible. Garantizar esta reproducibilidad conlleva frecuentemente considerables gastos, porque frecuentemente son difíciles las condiciones de espacio, por ejemplo, en la técnica de transporte.

Por el documento EP0473010A2 se conoce un procedimiento para la medición sin contacto de coordenadas de superficies de objetos, según el que con una cámara se graban imágenes del objeto desde varias posiciones distintas. Para ello, la cámara está colocada en el brazo de medición de un aparato de medición de coordenadas, siendo desplazado el brazo de medición a al menos dos posiciones distintas y siendo visado el objeto que ha de medirse, con la ayuda de un dispositivo de giro y orientación. Las imágenes grabadas en dos posiciones se almacenan y se evalúan con respecto a las coordenadas de puntos características. Para el cálculo de las coordenadas del objeto a partir de las coordenadas de imágenes de la cámara se recurre a los valores de posición obtenidos por las escalas del aparato de medición de coordenadas y los transductores angulares del dispositivo de giro y orientación.

Como estado de la técnica cabe mencionar, además, a R. Gerdes, R. Otterbach, R. Kammüller: "Kalibrierung eines digitalen Bildverarbeitungssystems mit CCD-Kamera" - parte I y parte II, en: "tm Technisches Messen 60", 1993, 6, pág. 255-261 (parte I) y 60, 7/8, pág. 283-288 (parte II).

Por el documento US-A-5285397 se conoce un aparato de medición de coordenadas para la medición sin contacto de objetos mediante varias cámaras que están fijadas a transductores de posición angular giratorios y orientables y ajustables en altura por motor y que están colocadas a una distancia mutua al lado del objeto y cuyas señales de vídeo se suministran, junto con los datos angulares de los transductores, a un ordenador para determinar los valores de coordenadas. Los transductores están montados con las cámaras en una mesa prevista con una amortiguación de vibraciones, prevista para el objeto que ha de medirse, sobre la cual están colocados varios cuerpos de calibración en el campo visual de las cámaras. Al lado, están previstos uno o varios proyectores de marcas de puntería que se pueden fijar de forma recambiable a una placa de alojamiento, en lugar de una cámara. En la mesa para piezas de trabajo está integrada una mesa giratoria, siendo suministrados asimismo al ordenador los datos angulares del sistema de medición asignado a la mesa giratoria. El procedimiento de medición aplicado aquí está basado en el principio de visión estereó y trabaja con cámaras movidas.

Por la publicación de TSAI, Roger Y.: "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-shelf TV Cameras and Lenses", en IEEE Inc. New York, US, tomo RA-3, n° 4, agosto de 1987 (1987-08), páginas 323, 344, XP000891213, se conoce un aparato de medición de coordenadas similar al que se ha mencionado anteriormente para la medición sin contacto de objetos mediante varias cámaras. Asimismo, por la publicación de TSAI, Roger Y. y LENZ Raimar K.: "Technique for Calibration of the Scale Factor and Image Center for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology" se ha conocido un aparato de medición de coordenadas similar al que se ha mencionado anteriormente para la medición sin contacto de objetos.

Objetivo técnico

La invención tiene el objetivo de proporcionar un procedimiento genérico mencionado al principio, que para determinar la posición de un cuerpo en el espacio no precise de tablas de calibración y que mejore la determinación de la posición de un cuerpo en el espacio.

Descripción de la invención y sus ventajas

La solución del objetivo en un procedimiento genérico mencionado al principio consiste en que

- para elaborar el sistema de coordenadas global común, las cámaras se tratan individualmente como modelos de cámaras con diafragma perforado,
- se realiza una medición directa de la posición del orificio de entrada de luz y de la orientación de cada cámara, midiendo la posición del orificio de entrada de luz y la orientación de cada cámara en su estado pasivo con un sistema de medición separado, en concreto, palpando el orificio de entrada de luz mediante un sistema de medición 3D por láser o un teodolito, lo que proporciona la posición del orificio de entrada de luz y la orientación de cada cámara en el sistema de coordenadas global,
- en donde, para la medición del orificio de entrada de luz de cada cámara (c) en el estado pasivo, el orificio de entrada de luz de la cámara (c) es provisto de un cuerpo de medición (b) que presenta una relación (7) dada, fija, respecto al orificio de entrada de luz de cada cámara (c) y respecto al elemento sensible a la luz,

ES 2 267 612 T3

por ejemplo un chip CCD, de la cámara (c), y la posición y la orientación (6) del cuerpo de medición (b) se determina mediante el sistema de medición (a) separado,

- la pieza de trabajo dispuesta en el espacio entre las cámaras es representada ópticamente por las cámaras ahora activas y las imágenes de vídeo se evalúan con un ordenador para hallar características de la pieza de trabajo,
- por el conocimiento de la posición de las cámaras respecto al sistema de coordenadas global, las imágenes de vídeo y las coordenadas de las características de la pieza de trabajo en un sistema de coordenadas de la pieza de trabajo por un ordenador, según el método de la compensación de haz, se calculan la posición de la pieza de trabajo en coordenadas globales, así como la posición de las características de la pieza de trabajo en coordenadas globales.

Otras formas de realización ventajosas de la invención se indican en las reivindicaciones subordinadas.

Para la medición, el orificio de entrada de luz de cada cámara puede ser provisto, por ejemplo, de una cruz que se pueda visar ópticamente y por cuyo punto de cruce se extienda el eje óptico que asimismo se extienda por el elemento sensible a la luz de la cámara, por ejemplo, un chip CCD o la superficie activa del mismo.

El procedimiento según la invención tiene la ventaja de que, para determinar la posición de un cuerpo en el espacio no precisa de tablas de calibración y las cámaras sólo sirven de objetos pasivos o soportes pasivos de los cuerpos de medición. Para la medición del orificio de entrada de luz de cada cámara en el estado pasivo, el orificio de entrada de luz es provisto de un cuerpo de medición que presenta una relación dada, fija, respecto al orificio de entrada de luz de cada cámara y al elemento sensible a la luz de la cámara, por ejemplo, un chip CCD, siendo determinadas entonces la posición y la orientación del cuerpo de medición mediante un sistema de medición separado. Durante el procedimiento de medición, las cámaras pasivas sirven sólo de soporte de los cuerpos de medición.

La medición de la instalación de las cámaras puede realizarse ya mientras las cámaras sólo estén montadas, sin que esté operativo o puesto en servicio el sistema de procesamiento de imágenes en sí como el PC, el cableado, las conexiones.

La determinación de la posición de las características en la imagen de vídeo se realiza con algoritmos del procesamiento de imágenes, por ejemplo, mediante una correlación graduada de valores de gris o el cálculo de punto de gravedad de agujeros o el palpado de cantos o una combinación de éstos.

De una manera ventajosa, se usan cámaras CCD con rosca exterior para el objetivo, presentando los cuerpos de medición una rosca correspondiente a juego con las roscas exteriores de las cámaras, enrosquándose en las cámaras CCD. En lugar de las roscas exteriores pueden usarse también cierres de bayoneta o de enchufe en las cámaras y los cuerpos de medición.

Forma de realización preferible de la invención

En el dibujo está representado un ejemplo para la realización de la secuencia del procedimiento según la invención.

Para determinar la posición de cámaras c en el sistema de coordenadas global común, las cámaras c, de las cuales se emplean al menos dos, se tratan individualmente como modelos de cámara con diafragma perforado, realizándose la medición directa de la posición del orificio de entrada de luz de cada cámara c. Para ello, la posición del orificio de entrada de luz de cada cámara c se mide en su estado pasivo con un sistema de medición "a" separado, capaz de palpar directamente el orificio de entrada de luz, siendo el sistema de medición "a" un sistema de medición 3D por láser o un teodolito. El sistema de medición separado "a" determina la posición del orificio de entrada de luz y la orientación de las cámaras c pasivas. A continuación, una pieza de trabajo d se sitúa en el espacio entre las cámaras c siendo representada ópticamente por las cámaras c que ahora están activas. A continuación, las imágenes de vídeo de las cámaras c se evalúan con un ordenador para hallar características e de la pieza de trabajo d. Por el conocimiento de la posición de las cámaras o del sistema de coordenadas 2 de la cámara respecto al sistema de medición "a" o el sistema de coordenadas 5 del sistema de medición "a", las imágenes de vídeo 9 y las coordenadas 4 de la pieza de trabajo d o las coordenadas 8 de características e de la pieza de trabajo, el ordenador calcula, según el método de la compensación de haz, la posición 11 de la pieza de trabajo d en coordenadas globales 1 y, por tanto, también la posición de las características e de la pieza de trabajo de en coordenadas globales 1.

El desarrollo de una medición se realiza mediante la observación de características e de la pieza de trabajo d con al menos dos cámaras c, siendo representadas en cada imagen de cámara otras características e. Las imágenes de cámara se digitalizan y se procesan en un ordenador. El ordenador conoce la posición 2 de las cámaras en el espacio 10, es decir, en el sistema de coordenadas global 1, al igual que conoce las coordenadas 8 de las características e en el sistema de coordenadas 4 de la pieza de trabajo d. A base de estas informaciones, el ordenador determina la posición 11 de la pieza de trabajo d en el sistema de coordenadas global 1 fijo.

ES 2 267 612 T3

Por lo tanto, la determinación sin contacto de la posición de piezas de trabajo puede dividirse, sustancialmente, en tres pasos.

- 5 1. La calibración de las cámaras o sistemas de cámaras empleados en un sistema de coordenadas global 1 común.
2. La evaluación de imágenes de vídeo de las cámaras con un ordenador para hallar características e de una pieza de trabajo d.
- 10 3. El cálculo de la posición de piezas de trabajo 11 por el conocimiento de la posición 10 de las cámaras, las imágenes de vídeo 9 y las coordenadas 8 de la pieza de trabajo.

El procedimiento según la invención se refiere a la medición directa de la posición del orificio de entrada de luz de la cámara y todos los demás parámetros geométricos de un modelo de cámara con diafragma perforado por el palpado directo del orificio de entrada de luz con un sistema de medición "a" separado, un sistema de medición 3D por láser o un teodolito, sin que estén activas las cámaras c. Para ello, las cámaras c son provistas de un cuerpo de medición b. Dicho cuerpo de medición tiene una relación fija 7 respecto al orificio de entrada de luz del modelo de cámara y al chip CCD. La posición y la orientación 6 del cuerpo de medición se determinan a través de un sistema de medición 3D "a" separado. No se precisa ninguna calibración adicional con la ayuda de imágenes de vídeo usando placas de calibración o similares.

La captación de características e de la pieza de trabajo d preferentemente tridimensional se realiza mediante cámaras electrónicas c. La determinación de la posición 9 de las características en la imagen de vídeo se realiza, por ejemplo, mediante la correlación de valores de gris graduada o el cálculo del punto de gravedad de agujeros o el palpado de cantos o combinaciones de éstos.

A base de los datos obtenidos de esta forma, junto con las coordenadas 8 de la pieza de trabajo d se calcula la posición 11 del cuerpo d en coordenadas globales 1 con el método de la compensación de haz.

30 Las cámaras c pueden medirse con el método descrito en una ubicación fija. De la misma manera es posible montar una o varias de las cámaras c en una máquina con control numérico o en un robot.

Aplicabilidad comercial

35 El procedimiento según la invención resulta especialmente adecuado para determinar la posición de una pieza de trabajo y la posición de características de la pieza de trabajo en el espacio 3D, por ejemplo, para medir carrocerías de automóviles.

40 Lista de referencias

- a Sistema de medición separado
- 45 b Cuerpo de medición
- c Cámara
- d Cuerpo
- 50 e Características del cuerpo
- 1 Sistema de coordenadas global
- 55 2 Sistema de coordenadas de cámara
- 3 Sistema de coordenadas del cuerpo de medición
- 4 Sistema de coordenadas del cuerpo
- 60 5 Sistema de coordenadas sistema de medición separado
- 6 Posición de (3) en (5)
- 65 7 Posición (3) en (2)
- 8 Posición (e) en (4)

ES 2 267 612 T3

9 Posición (e) en coordenadas de imagen de (c)

10 Posición (2) en (1)

5 11 Posición (4) en (1)

-----> Vector 3D (x, y, z, A, B, C)

-----> Coordenada 3D (x, y, z)

10 - .. - .. - ..> Coordenada 2D (x, y)

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 267 612 T3

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar la posición de una pieza de trabajo (D) y la posición de características de la pieza de trabajo en el espacio 3D usando al menos dos cámaras electrónicas (c) y un procesamiento digital de imágenes, según el cual las cámaras (c) son calibradas a un sistema de coordenadas global (1) común y, a continuación, la pieza de trabajo (d) se sitúa en el espacio entre las cámaras (c), **caracterizado** porque

- para elaborar el sistema de coordenadas global común, las cámaras (c) se tratan individualmente como modelos de cámaras con diafragma perforado,
- se realiza una medición directa de la posición del orificio de entrada de luz y de la orientación de cada cámara, midiendo la posición del orificio de entrada de luz y la orientación de cada cámara en su estado pasivo con un sistema de medición separado, en concreto, palpando el orificio de entrada de luz mediante un sistema de medición 3D por láser o un teodolito, lo que proporciona la posición del orificio de entrada de luz y la orientación de cada cámara en el sistema de coordenadas global,
- en donde, para la medición del orificio de entrada de luz de cada cámara (c) en el estado pasivo, el orificio de entrada de luz de la cámara (c) es provisto de un cuerpo de medición (b) que presenta una relación (7) dada, fija, respecto al orificio de entrada de luz de cada cámara (c) y respecto al elemento sensible a la luz, por ejemplo un chip CCD, de la cámara (c), y la posición y la orientación (6) del cuerpo de medición (b) se determina mediante el sistema de medición (a) separado,
- la pieza de trabajo dispuesta en el espacio entre las cámaras (c) es representada ópticamente por las cámaras ahora activas y las imágenes de vídeo se evalúan con un ordenador para hallar características (e) de la pieza de trabajo (d),
- por el conocimiento de la posición de las cámaras (10) respecto al sistema de coordenadas global (1), las imágenes de vídeo (9) y las coordenadas (8) de las características de la pieza de trabajo (d) en un sistema de coordenadas de la pieza de trabajo por un ordenador, según el método de la compensación de haz, se calculan la posición (11) de la pieza de trabajo (d) en coordenadas globales, así como la posición de las características (e) de la pieza de trabajo (d) en coordenadas globales (1).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la determinación de la posición (9) de las características en la imagen de vídeo se realiza con algoritmos del procesamiento de imágenes, por ejemplo, mediante una correlación graduada de valores de gris o el cálculo de punto de gravedad de agujeros o el palpado de cantos o una combinación de éstos.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque se usan cámaras CCD (c) con rosca exterior para el objetivo, presentando los cuerpos de medición (b) una rosca correspondiente a juego con las roscas exteriores de las cámaras, enroscándose en las cámaras CCD.

