

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 664 936**

51 Int. Cl.:

**G01B 21/04** (2006.01)

**B25J 9/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.02.2016 E 16154553 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.01.2018 EP 3088843**

54 Título: **Sistema y procedimiento para la alineación de un marco de referencia de una máquina de movimiento por coordenadas con un marco de referencia de un sistema de medición**

30 Prioridad:

**31.03.2015 US 201514674154**

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

**24.04.2018**

73 Titular/es:

**RECOGNITION ROBOTICS, INC. (100.0%)  
151 Innovation Drive  
Elyria, OH 44035, US**

72 Inventor/es:

**CRISTIANO, STEFANO**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 664 936 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

Sistema y procedimiento para la alineación de un marco de referencia de una máquina de movimiento por coordenadas con un marco de referencia de un sistema de medición

5

## ANTECEDENTES

Las máquinas de movimiento por coordenadas, tales como los robots industriales, se utilizan para colocar y sostener una herramienta, por ejemplo, un soldador, un captador, una pistola de pintura o la punta de una broca, para trabajar en piezas. Los robots convencionales tienen limitaciones en la precisión para colocar una herramienta con respecto a la pieza de trabajo.

En un sistema conocido para la colocación de una herramienta de robot, se requiere que muchos sensores sean montados en diferentes ubicaciones alrededor del área en la cual está trabajando el robot. Otros sistemas de colocación de robots utilizan láseres o bien otra luz estructurada para determinar la posición de la herramienta del robot con respecto a la pieza de trabajo. Otros sistemas de colocación de robots alinean la herramienta del robot a través de la utilización de un tablero de ajedrez de dos dimensiones en donde se requiere que sean tomadas mediciones exteriores. Cada uno de los sistemas anteriormente mencionados puede requerir un tiempo largo para calibrar el robot de modo que la colocación de la herramienta en el robot con respecto a la pieza de trabajo sea conocida. Muchos de los sistemas anteriormente mencionados requieren un operario del robot altamente cualificado para calibrar el robot para trabajar en la pieza de trabajo particular de interés.

Los documentos US 6,618,633 B1, US2011/0280472 A1 y US2015/0025683 A1 revelan la alineación de un marco de referencia de una máquina de movimiento por coordenadas con un marco de referencia del sistema de medición.

25

## RESUMEN

En vista de lo anterior, se proporciona un procedimiento para la alineación de un marco de referencia de una herramienta de una máquina de movimiento por coordenadas con un marco de referencia del sistema de medición.

30

El procedimiento incluye la aplicación de por lo menos dos movimientos lineales de la máquina a una herramienta de la máquina en una máquina de movimiento por coordenadas. Cada lineal movimiento de la máquina es a partir de una posición cero de la herramienta de la máquina en un marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas inicial y los por lo menos dos movimientos lineales de la máquina no son co-lineales uno con el otro. El procedimiento adicionalmente incluye la medición de por lo menos dos lineales movimientos de la cámara, de una cámara montada en la máquina de movimiento por coordenadas para el movimiento con la herramienta de la máquina utilizando la cámara y un procesador en comunicación con la cámara. Cada medición es de un movimiento lineal de la cámara desde una posición cero de la cámara en un marco de referencia del sistema de medición con respecto a un objeto aprendido, el cual está fijo en el espacio y en un campo de visión de la cámara. Las mediciones de la cámara anteriormente mencionadas se toman después de o durante cada movimiento lineal de la cámara. El procedimiento adicionalmente incluye la determinación de una desalineación angular de una herramienta de la máquina en el plano xy con respecto a un plano xy de la cámara sobre la base de vectores de la máquina definidos mediante por lo menos dos movimientos lineales de la cámara desde la posición cero de la herramienta de la máquina y vectores de la cámara definidos por los por lo menos dos movimientos lineales de la cámara desde la posición cero de las cámara. El procedimiento adicionalmente incluye la transformación en forma giratoria del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas inicial para proporcionar un marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria sobre la base de la desalineación angular determinada de plano xy de la herramienta de la máquina con respecto al plano xy de la cámara. El procedimiento adicionalmente incluye el giro de la herramienta de la máquina alrededor de por lo menos dos ejes z no co-lineales, los cuales son cada uno normales al marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria. El procedimiento adicionalmente incluye la medición de los movimientos de la cámara con respecto al objeto aprendido después de o durante cada giro de la herramienta de la máquina alrededor de los por lo menos dos ejes z. El procedimiento adicionalmente incluye la determinación de una desalineación x y una desalineación y entre un origen de la herramienta de la máquina del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria y un origen de la cámara. La desalineación x y la desalineación y se basan en una desalineación lineal entre los por lo menos dos ejes z y los movimientos medidos de la cámara con respecto al objeto aprendido después de o durante cada giro alrededor de los por lo menos dos ejes z. El procedimiento adicionalmente incluye la transformación en forma de traslación del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas en forma giratoria para proporcionar un marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación sobre la base de la desalineación x determinada y una desalineación y. El procedimiento adicionalmente incluye el giro de la herramienta de la máquina alrededor de por lo menos dos ejes x o por lo menos dos ejes y del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación. El procedimiento adicionalmente incluye la medición del movimiento de la cámara con respecto al objeto aprendido después de o durante cada giro de la herramienta de la máquina alrededor de los por lo menos dos ejes x o alrededor de los por lo menos dos ejes y. El

65

procedimiento adicionalmente incluye la determinación de una desalineación z entre un origen de la herramienta de la máquina del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación y el origen de la cámara sobre la base de una desalineación lineal entre los por lo menos dos ejes x o ejes y y los movimientos de la cámara medidos con respecto al objeto aprehendido después de o durante cada giro de la herramienta de la máquina alrededor de los por lo menos dos ejes x o ejes y. El procedimiento adicionalmente incluye la transformación en forma de traslación del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas en forma de traslación sobre la base de la desalineación z determinada.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es una descripción esquemática de una máquina de movimiento por coordenadas, tal como un robot, y un sistema de medición que incluye una cámara conectada con el robot.

La figura 2 es un diagrama de flujo que describe un procedimiento para la alineación de un marco de referencia de la herramienta de una máquina de movimiento por coordenadas con un marco de referencia del sistema de medición.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

La figura 1 describe un ejemplo de una máquina de movimiento por coordenadas, el cual es un robot 10, y un ejemplo de un sistema de medición que es capaz de medir seis grados de libertad sin una calibración anterior. El sistema de medición descrito en la figura 1 incluye una cámara 12 en comunicación con un conjunto de procesamiento de imágenes 14 a través de un vínculo de comunicación 16, el cual puede ser una conexión con hilos o sin hilos. Un visualizador 18 también puede estar provisto y en comunicación con el conjunto de procesamiento de imágenes 14 de modo que se visualicen imágenes capturadas por la cámara. La cámara 12 puede ser una cámara CCD convencional.

El robot 10 incluye un control del robot 20, un brazo del robot 22 y un ejecutor extremo 24, por ejemplo, un soldador, un captador, una pistola de pintura o bien otra herramienta similar. El control del robot 20 controla el movimiento del robot 10 que incluye el brazo del robot 22 y el ejecutor extremo 24. El brazo del robot 22 es móvil en múltiples direcciones (x, y, z) y en múltiples ejes (x, y, z) que proporcionan seis grados de libertad. El ejecutor extremo 24 está montado en la parte extrema distante del brazo del robot 22. La cámara 12 está montada adyacente a una parte extrema distante del brazo del robot 22 de modo que cuando se mueve el ejecutor extremo 24 también se mueve la cámara 12.

Un marco de referencia de la herramienta de la máquina de movimiento por coordenadas es un sistema de coordenadas para una herramienta en la máquina de movimiento por coordenadas. Es la herramienta en la máquina de movimiento por coordenadas la que realiza el trabajo. Por ejemplo, para el robot 10 descrito en la figura 1, un marco de referencia de la herramienta del robot 26, el cual es un sistema de coordenadas en la parte extrema distante del brazo del robot 22 en donde está unido el ejecutor extremo 24, es análogo al marco de referencia de la herramienta de la máquina de movimiento por coordenadas anteriormente mencionado. Un marco de referencia de la cámara 28 es un sistema de coordenadas para la cámara 12, el cual está desalineado del marco de referencia de la herramienta del robot 26. La cámara 12 y el conjunto de procesamiento de imágenes 14 funcionan como un sistema de medición por lo que el movimiento de la cámara 12 puede ser medido con respecto a un objeto 32 que esté fijo en el espacio y en el campo de visión de la cámara 12 cuando la cámara se mueve. La cámara 12 se mueve junto con el ejecutor extremo 24 de modo que el marco de referencia de la cámara 28, el cual también puede ser referido como un marco de referencia del sistema de medición, se mueve junto con el marco de referencia de la herramienta del robot 26.

Un procesador 34, el cual puede estar colocado en el conjunto de procesamiento de imágenes 14, el control del robot 20 (como se describe) o en otro lugar, está programado para transformar el marco de referencia de la cámara 28 en el marco de referencia de la herramienta del robot 26. En otras palabras, a través de la manipulación matemática, el marco de referencia de la herramienta del robot 26 puede coincidir con el marco de referencia de la cámara 28. Transformando el marco de referencia de la cámara 28 en el marco de referencia de la herramienta del robot 26, cuando la ubicación en el espacio (x, y, z, Rx, Ry y Rz) de la cámara 12 es conocida, entonces la ubicación en el espacio (x, y, z, Rx, Ry y Rz) del ejecutor extremo 24, el cual transporta la herramienta del robot, es conocida. Una ventaja sobre otros sistemas de guía de robots es que la transformación del marco de referencia de la cámara 28 al marco de referencia de la herramienta del robot 26 puede ocurrir sin una calibración previa con un sistema exterior.

Como se ha mencionado antes en este documento, la cámara 12 y el conjunto de procesamiento de imágenes 14 funcionan como un dispositivo de medición y el movimiento de la cámara 12 puede ser medido con respecto a un objeto 32 que esté fijo en el espacio. El robot 10 y la cámara 12 ilustrados en la figura 1 no necesitan ser calibrados antes de la utilización. No existe la necesidad de relacionar el marco de referencia de la cámara 28 con el marco de referencia de la herramienta del robot 26 antes de preparar o de la utilización debido a la programación de guía visual y reconocimiento descrita más adelante. Además no existe la necesidad de conocer la desalineación del marco de referencia de la cámara 28 con respecto al marco de referencia de la herramienta del robot 26. La

capacidad de proceder sin calibración reduce de forma significativa el tiempo de preparación requerido para el robot 10 y reduce la cantidad de destreza requerida por un operario del robot 10. Eliminando la necesidad de conocer la desalineación entre el marco de referencia de la cámara 28 y el marco de referencia de la herramienta del robot 26, la cámara 12 puede ser montada en significativamente más ubicaciones con respecto al ejecutor extremo 24, en tanto en cuanto la cámara 12 se mueva junto con el ejecutor extremo 24 y el objeto aprendido se mantenga dentro del campo de visión de la cámara 12 durante este movimiento.

Más específicamente, el movimiento de la cámara 12 se puede medir con respecto a un objeto "aprendido" 32 que está fijo en el espacio. El aprendizaje por el conjunto de procesamiento de imágenes 14 del objeto 32 se puede realizar utilizando el sistema y el procedimiento revelado en la patente americana US No. 8,150,165 de Melikian presentada el 11 abril 2008 y titulada SISTEMA Y PROCEDIMIENTO PARA EL RECONOCIMIENTO VISUAL. Según el sistema y el procedimiento anteriormente mencionados, una imagen de un objeto, tal como el objeto 32, es aprendido o reconocido mediante la extracción de puntos únicos que son invariables a las presentaciones del objeto. Los puntos únicos se obtienen por correlación cruzada de la imagen con una estructura. Generalmente, la estructura y/o el tamaño de la estructura pueden variar para detectar información extremal asociada con el objeto. Se extrae un icono que corresponde a cada uno de los puntos únicos. El tamaño del icono corresponde a la escala del punto único. Después de la extracción de los diversos iconos, un objeto se convierte en una colección de iconos. Cada uno de estos iconos es girado y normalizado o redimensionado hasta un tamaño constante de modo que pueda ser comparado con otros iconos. Una de las propiedades únicas de estos iconos es su estabilidad sobre la escala y el ángulo.

Un procedimiento para la alineación de un marco de referencia de la herramienta de una máquina de movimiento por coordenadas con un marco de referencia del sistema de medición será descrito con referencia al robot 10, la cámara 12 y un conjunto de procesamiento de imágenes 14 descrito en la figura 1. La figura 1 describe únicamente un ejemplo de una máquina de movimiento por coordenadas, esto es el robot 10; sin embargo el procedimiento para la alineación de un marco de referencia de la herramienta de una máquina de movimiento por coordenadas con un marco de referencia del sistema de medición se puede utilizar con otras máquinas de movimiento por coordenadas tal como máquinas de fresar de control numérico y similares. Además, el procedimiento para la alineación de un marco de referencia de la herramienta de una máquina de movimiento por coordenadas con un marco de referencia del sistema de medición es capaz de ser utilizado con otros sistemas de medición que no necesiten calibración previa. El procedimiento para la alineación del marco de referencia de la herramienta del robot 26 con el marco de referencia de la cámara 28 será descrito como una distribución de etapas. Aunque las etapas pueden estar descritas en un orden particular, el orden en el cual se realizan las etapas no necesariamente es el mismo orden de aquellas descritas o representadas en la figura 2. Las etapas serán descritas en un orden lógico; sin embargo, el orden en el cual se describen las etapas no deberá limitar en modo alguno el orden de las etapas a un orden particular.

El procedimiento para la alineación del marco de referencia de la herramienta del robot 26 con el marco de referencia de la cámara 28 puede empezar, en la etapa 100 en la figura 2, con el aprendizaje del objeto 32 que está fijo en el espacio. Este proceso de aprendizaje del objeto 32 ha sido escrito antes en este documento diferencia de otros procedimientos de calibración de la cámara de un robot, no existe la necesidad de un tablero de ajedrez de dos dimensiones para alinear el marco de referencia de la cámara 28 con respecto al marco de referencia de la herramienta del robot 26. En cambio, cualquier clase de objeto, por ejemplo una pieza de un automóvil tal como una puerta o un parachoques, puede ser "aprendida" para alinear el marco de referencia de la herramienta del robot 26 con el marco de referencia de la cámara 28.

Con referencia a la etapa 102 en la figura 2, la posición de la cámara se puede establecer a cero, el cual es un punto arbitrario en el espacio ocupado por la cámara en el cual todas las coordenadas (x, y, z, Rx, Ry y Rz) miden cero. Por motivos de claridad, esta posición de la cámara en la cual todas las coordenadas miden cero será referida como la posición cero de la cámara, la cual también podrá ser referida como "CP0". No es absolutamente necesario que todas las coordenadas de la cámara 12 midan cero en la posición cero de la cámara, en tanto en cuanto sean conocidas las coordenadas, pero teniendo todos las coordenadas igual a cero se simplifican los cálculos. La ubicación del ejecutor extremo 24 con la cámara 12 en CP0 podrá ser referida como la posición cero de la herramienta de la máquina o la posición cero del robot, la cual también será referida como RP0. Puede ser deseable que sean cero todas las coordenadas (x, y, z, Rx, Ry y Rz) para el centro (o bien otro punto deseado) del ejecutor extremo 24 cuando la cámara 12 esté en CP0 para simplificar los cálculos. La posición cero de la herramienta de la máquina RP0 se puede establecer como el origen de un marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas inicial. De forma similar a la posición cero de la cámara, sin embargo, no es absolutamente necesario que todas las coordenadas del centro (o bien otro punto deseado) del ejecutor extremo 24 midan cero en la posición cero del robot, en tanto en cuanto las coordenadas sean conocidas.

La desalineación giratoria del marco de referencia de la herramienta del robot 26 con respecto al marco de referencia de la cámara 28 se puede determinar entonces. Con referencia a la etapa 104 en la figura 2, dos movimientos de traslación puros no co-lineales (esto es, no giratorios) del ejecutor extremo 24 desde la posición cero del robot se aplican al robot y en la etapa 106 se mide el movimiento de la cámara 12. Por ejemplo, el brazo del robot 22 se dirige para mover el centro del ejecutor extremo 24 desde RP0 hasta el punto RP1, el cual es un número conocido de unidades (por ejemplo, centímetros o pulgadas) en la dirección x desde RP0. Puesto que el ejecutor

extremo 24 ha sido movido, la cámara 12, la cual está conectada al brazo del robot 22 también es movida desde la posición cero de la cámara (CP0) hasta un nuevo punto, más adelante en este documento CP1, en el espacio. El movimiento de la cámara 12 desde CP0 hasta CP1 (en donde el centro del ejecutor extremo del robot está en el punto RP1) se puede medir en el conjunto de procesamiento de imágenes 14 sobre la base de la comparación de la imagen del objeto aprendido 32 tomada cuando la cámara estaba en CP0 con la imagen del objeto aprendido 32 cuando la cámara está en CP1. Colocando puntos únicos en cada imagen, lo cual ha sido escrito antes en este documento, y sobre la base del tamaño de los píxeles en cada imagen, el tamaño de la matriz de un sensor CCD (no representado) para la cámara 12 y la longitud focal de las lentes (no representado) para la cámara 12 se puede medir la distancia entre CP0 y CP1. Después del movimiento en la dirección x, el brazo del robot 22 puede ser dirigido para mover el centro del ejecutor extremo 24 desde RP0 al punto RP2, el cual es un número previamente determinados de unidades (por ejemplo, centímetros o pulgadas) desde RP0 en la dirección y. Este segundo movimiento del ejecutor extremo 24 no necesita ser perpendicular, esto es, puede tener un componente x y un componente y, sin embargo, el segundo movimiento no es co-lineal con el primer movimiento de modo que se define un plano entre un primer vector desde RP0 hasta RP1 y un segundo vector desde RP0 hasta RP2. El movimiento de la cámara 12 desde CP0 hasta su nueva ubicación CP2 (en donde el centro del ejecutor extremo del robot está en el punto RP2) también se puede medir en el conjunto de procesamiento de imágenes 14 de la manera descrita antes en este documento.

En la etapa 108 se determina la desalineación angular de un plano xy del robot con respecto a un plano xy de la cámara, lo cual permite una transformación giratoria del marco de referencia de la herramienta del robot 26 con respecto al marco de referencia de la cámara 28. El primer vector del robot,  $RP0 \rightarrow RP1$  y el segundo vector del robot  $RP0 \rightarrow RP2$ , definen un plano xy del robot con un origen en la posición cero del robot, esto es RP0. El primer vector de la cámara  $CP0 \rightarrow CP1$  y el segundo vector de la cámara  $CP0 \rightarrow CP2$ , definen un plano xy de la cámara con un origen en la posición cero de la cámara, esto es CP0. La desalineación angular del plano del robot xy con respecto al plano xy de la cámara correlaciona la desalineación giratoria del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas inicial con respecto al marco de referencia de la cámara 28. En la etapa 110, el marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas inicial es transformado en forma giratoria para proporcionar un nuevo marco de referencia, más adelante en este documento un marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria por la desalineación angular del plano xy del robot con respecto al plano xy de la cámara de modo que el plano xy del robot es paralelo al plano xy de la cámara.

La magnitud del primer vector del robot,  $RP0 \rightarrow RP1$ , es conocida sobre la base de la instrucción proporcionada antes a través del control del robot 20 para mover el centro (o bien otro punto deseado) del ejecutor extremo 24 desde RP0 hasta RP1. De forma similar, la magnitud del segundo vector del robot,  $RP0 \rightarrow RP2$ , es conocida sobre la base de la instrucción proporcionada antes a través del control del robot 20 para mover el centro (o bien otro punto deseado) del ejecutor extremo 24 desde RP0 hasta RP2. Una vez ha ocurrido la transformación giratoria entre el plano xy del robot con respecto al plano xy de la cámara, la magnitud del primer vector del robot,  $RP0 \rightarrow RP1$ , deberá ser igual a la magnitud del primer vector de la cámara,  $CP0 \rightarrow CP1$ , y la magnitud de segundo vector del robot,  $RP0 \rightarrow RP2$ , deberá ser igual a la magnitud de segundo vector de la cámara,  $CP0 \rightarrow CP2$ . En otras palabras, si el brazo del robot 22 fue instruido para moverse 10 centímetros en la dirección x positiva para el primer movimiento,  $RP0 \rightarrow RP1$ , entonces la cámara 12 y el conjunto de procesamiento de imágenes 14, deberá medir un movimiento de 10 centímetros en la dirección x positiva una vez haya ocurrido la transformación giratoria entre el plano xy del robot con respecto al plano xy de la cámara.

Si las mediciones de la cámara están afectadas por un error no trivial, esta alineación puede no ser muy precisa. Si el error de la medición es proporcional (lineal o no) a la magnitud del desplazamiento medido, entonces las etapas 102 hasta 110 pueden ser repetidas, sin embargo, el marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria anterior es sustituido en cada interacción con un nuevo marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria. Las etapas 102 hasta 110 puede ser repetidas empezando cada vez con el nuevo marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria hasta que se alcance la precisión requerida en el paralelismo del plano xy o cuando el error de medición de la cámara se convierte en más grande que el error de paralelismo xy.

Empezando a partir del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria, el cual puede haber soportado una serie de interacciones, a continuación se determina una desalineación para cada uno de los componentes x e y de un origen de la herramienta de la máquina del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria y un origen de la cámara, el cual puede coincidir con la posición cero de la cámara (CP0). La diferencia en el componente x entre el origen de la herramienta de la máquina y CP0 es referido más abajo como Desalineación\_x y la diferencia en el componente y entre el origen de la herramienta de la máquina y CP0 es referido más abajo como Desalineación\_y. La determinación de estas desalineaciones se consigue girando el ejecutor extremo 24 alrededor de dos ejes z diferentes, en la etapa 112, y midiendo el movimiento de la cámara, en la etapa 114, durante o después de cada ciclo.

En la etapa 112, el brazo del robot 22 se puede controlar de modo que el ejecutor extremo 24 sea girado alrededor de un primer eje z, el cual es normal a un plano xy del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria. Por ejemplo, el centro del ejecutor extremo 24 puede residir en el

primer eje z y puesto que el ejecutor extremo 24 gira en el primer eje z, la cámara 12 orbita alrededor del primer eje z. El brazo del robot 22 puede ser dirigido para girar el ejecutor extremo 24 a un primer desplazamiento angular conocido, Rz1, con el centro del ejecutor extremo 24 estando en el primer eje z. Puesto que la cámara 12 está separada del centro del ejecutor extremo 24, cuando el ejecutor extremo 24 gira alrededor del primer eje z, la cámara 12 es movida desde una ubicación de arranque, esto es la ubicación previa al giro, hasta una ubicación final, esto es la ubicación después del giro.  $C\Delta x1$  y  $C\Delta y1$  son las mediciones desde la ubicación de arranque de la cámara hasta la ubicación final de la cámara después de girar alrededor del eje z. El ejecutor extremo 24 es instruido entonces para girar alrededor de un segundo eje z, paralelo al primer eje z, desalineado una cantidad distinta de cero conocida. El desplazamiento entre el primer eje z y el segundo eje z en la dirección x es referido más adelante como Desplazamiento\_x y el desplazamiento entre el primer eje z y el segundo eje z en la dirección y es referido más adelante como Desplazamiento\_y. El brazo del robot 22 es girado alrededor del segundo eje z la misma cantidad Rz1 dada en la etapa anterior. Cuando el ejecutor extremo 24 gira alrededor del segundo eje z, la cámara 12 es movida desde una ubicación de arranque en el plano xy de la cámara, esto es la ubicación previa al giro, hasta una ubicación final en el plano xy de la cámara, esto es, la ubicación después del giro. El cambio en el componente x entre la segunda ubicación de arranque de la cámara y la segunda ubicación final de la cámara puede ser expresado como  $C\Delta x2$  y el cambio en el componente y entre la segunda ubicación de arranque de la cámara y la segunda ubicación final de la cámara puede ser expresada como  $C\Delta y2$ .

Los dos giros del ejecutor extremo 24 definen las siguientes ecuaciones, las cuales en la etapa 116 pueden ser utilizadas para determinar la desalineación x e y entre el origen de la herramienta de la máquina del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria y el origen de la cámara, el cual puede coincidir con CP0:

$$\frac{\text{Desalineación}_x}{C\Delta y1} = \frac{(\text{Desalineación}_x + \text{Desplazamiento}_x)}{C\Delta y2}$$

y

$$\frac{\text{Desalineación}_y}{C\Delta x1} = \frac{(\text{Desalineación}_y + \text{Desplazamiento}_y)}{C\Delta x2}$$

La Desalineación\_x, la cual es la diferencia en el componente x entre el origen de la herramienta de la máquina del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria y CP0, y la Desalineación\_y, la cual es la diferencia en el componente y entre el origen de la herramienta de la máquina anteriormente mencionado y CP0, se pueden determinar porque los parámetros restantes en las dos fórmulas anteriores son conocidos. El Desplazamiento\_x y el Desplazamiento\_y son conocidos sobre la base de las instrucciones proporcionadas al brazo del robot 22 a través del control del robot 20 cuando se mueve desde el primer eje z hasta el segundo eje z. Los movimientos de la cámara, esto es,  $C\Delta x1$ ,  $C\Delta x2$ ,  $C\Delta y1$  y  $C\Delta y2$ , se miden de la misma manera en que fueron medidas la magnitud del primer vector de la cámara CP0 → CP1 y del segundo de vector de la cámara CP0 → CP2. Si las mediciones de la cámara no están afectadas por error, entonces una transformación exacta de los componentes x e y del CP0 con respecto al origen de la herramienta de la máquina resultará al resolver Desalineación\_x y Desalineación\_y. En la etapa 118, el marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria es entonces transformado mediante la desalineación de su centro, esto es, el origen de la herramienta de la máquina, mediante Desalineación\_x y Desalineación\_y, y más adelante en este documento será referido como un marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación.

Si las mediciones de la cámara están afectadas por un error no trivial, esta alineación puede no ser muy precisa. Si el error de medición es proporcional (lineal o no) a la magnitud del desplazamiento medido, entonces las etapas 112 hasta 116 puede ser repetidas, sin embargo, el marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación anterior será sustituido con un nuevo marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación. Las etapas 112 hasta 116 pueden ser repetidas cada vez empezando con el nuevo marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación hasta que se alcance la precisión requerida en el centro del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación xy o cuando el error de medición de la cámara se convierta en más grande que el error del centro del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación xy del robot.

A continuación se determina una desalineación z entre un origen de la herramienta de la máquina del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación y el origen de la cámara, también referido como la posición cero de la cámara (CP0). La diferencia en el componente z entre el origen de la herramienta de la máquina del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación y CP0 es referido más adelante como la Desalineación\_z. La determinación de la desalineación z se consigue girando el ejecutor extremo 24 alrededor de dos ejes x diferentes o dos ejes y diferentes, en la etapa 120, y midiendo el movimiento de la cámara, en la etapa 122, durante cada giro. Los ejes x y

los ejes y son perpendiculares a los ejes z. Con la excepción de girar ejecutor extremo 24 alrededor de diferentes ejes, la determinación de la Desalineación<sub>z</sub> se puede realizar de la misma manera que la determinación de la Desalineación<sub>x</sub> y la Desalineación<sub>y</sub>.

- 5 En la etapa 124, cuando el giro del ejecutor extremo 24 ocurre alrededor de dos ejes x, la determinación de la desalineación z entre el origen de la herramienta de la máquina del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación y la posición cero de la cámara (CP0) se puede calcular sobre la base de la siguiente fórmula:

$$10 \quad \frac{\text{Desalineación}_{z}}{C\Delta y1} = \frac{(\text{Desalineación}_{z} + \text{Desplazamiento}_{z})}{C\Delta y2}$$

De forma similar a lo anterior, CΔy1 se refiere al cambio en el componente y entre la ubicación de arranque de la cámara antes del giro del ejecutor extremo 24 y la ubicación final de la cámara después del giro del ejecutor extremo 24 alrededor del primer eje x. CΔy2 se refiere al cambio en el componente y entre la ubicación de arranque de la cámara antes del giro del ejecutor extremo 24 y la ubicación final de la cámara después del giro del ejecutor extremo 24 alrededor del segundo eje x. El Desplazamiento<sub>z</sub> es la distancia entre el primer eje x y el segundo eje x en la dirección z.

20 En la etapa 124, cuando el giro del ejecutor extremo 24 ocurre alrededor de dos ejes y, la determinación de la desalineación z entre el origen de la herramienta de la máquina del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación y la posición cero de la cámara (CP0) se puede calcular sobre la base de la siguiente fórmula:

$$25 \quad \frac{\text{Desalineación}_{z}}{C\Delta x1} = \frac{(\text{Desalineación}_{z} + \text{Desplazamiento}_{z})}{C\Delta x2}$$

De forma similar a lo anterior, CΔx1 se refiere al cambio en el componente x entre la ubicación de arranque de la cámara antes del giro del ejecutor extremo 24 y la ubicación final de la cámara después del giro del ejecutor extremo 24 alrededor primer eje y. CΔx2 se refiere al cambio en el componente y entre la ubicación de arranque de la cámara y la ubicación final de la cámara para el giro alrededor del segundo eje y. El Desplazamiento<sub>z</sub> es la distancia entre el primer eje y y el segundo eje y en la dirección z.

35 En la etapa 126, el marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación es entonces transformado mediante la desalineación de su centro, esto es, el origen de la herramienta de la máquina, por Desalineación<sub>z</sub> y más adelante en este documento será referido como un marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación del eje z.

Si las mediciones de la cámara están afectadas por un error no trivial, esta alineación puede no ser muy precisa. Si el error de medición es proporcional (lineal o no) a la magnitud del desplazamiento medido, entonces las etapas 120 hasta 124 puede ser repetidas, sin embargo, el marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación del eje z anterior será sustituido con un nuevo marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación del eje z. Las etapas 120 hasta 124 pueden ser repetidas cada vez empezando con el nuevo marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación del eje z hasta que se alcance la precisión requerida en el centro del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación en el eje z o cuando el error de medición de la cámara se convierta en más grande que el error del centro del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación del eje z.

50 Mediante la alineación en forma giratoria del marco de referencia de la herramienta del robot 26 con el marco de referencia de la cámara 28 cuando la ubicación de la cámara 12 es conocida en el espacio, la ubicación del ejecutor extremo 24 (puesto que la herramienta del robot está sobre el mismo) también es conocida.

El procedimiento para la alineación del marco de referencia de la herramienta de una máquina de movimiento por coordenadas con un marco de referencia del sistema de medición ha sido descrita con referencia al robot 10, la cámara 12, el conjunto de procesamiento de imágenes 14, el marco de referencia de la herramienta del robot 26 y el marco de referencia de la cámara 28 descritos en la figura 1. En donde una cámara similar a la cámara 12 se montada adyacente a una herramienta de la máquina, por ejemplo una herramienta de fresar, en una máquina de movimiento por coordenadas, por ejemplo, una máquina de fresar de control numérico, el procedimiento descrito antes podría también ser utilizado para alinear el marco de referencia de la herramienta de la máquina con el marco de referencias de la cámara.

60

Se apreciará que diversas de las características y funciones anteriormente reveladas y otras, o alternativas o variedades de las mismas, puede ser combinadas de forma deseable en muchos otros sistemas o aplicaciones diferentes.



**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para la alineación de un marco de referencia de la herramienta de una máquina de movimiento por coordenadas con un marco de referencia del sistema de medición, el procedimiento comprendiendo:

5 la aplicación de por lo menos dos movimientos lineales de la máquina a una herramienta de la máquina en una máquina de movimiento por coordenadas, en el que cada movimiento lineal de la máquina es a partir de una posición cero de la herramienta de la máquina en un marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas inicial y los por lo menos dos movimientos lineales de la máquina no son co-lineales;

10 la medición de por lo menos dos movimientos lineal de la cámara de una cámara montada en una máquina de movimiento por coordenadas para el movimiento con la herramienta de la máquina utilizando una cámara y un procesador en comunicación con la cámara, cada movimiento lineal de la cámara es desde una posición cero de la cámara en un marco de referencia del sistema de medición con respecto a un objeto aprendido, el cual está fijo en el espacio y en el campo de visión de la cámara, después de o durante cada movimiento lineal de la máquina;

15 la determinación de una desalineación angular de un plano xy de la herramienta de la máquina con respecto a un plano xy de la cámara sobre la base de vectores de la máquina definidos mediante por lo menos dos movimientos lineales de la máquina desde la posición cero de la herramienta de la máquina y vectores de la cámara definidos mediante por lo menos dos movimientos lineales de la cámara desde la posición cero de la cámara;

20 la transformación en forma giratoria del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas inicial para proporcionar un marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria sobre la base de la desalineación angular determinada del plano xy de la herramienta de la máquina con respecto al plano xy de la cámara;

25 el giro de la herramienta de la máquina alrededor de por lo menos dos ejes z no co-lineales, los cuales son cada uno normales a un plano xy del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria;

30 la medición de los movimientos de la cámara con respecto al objeto aprendido después de o durante cada giro de la herramienta de la máquina alrededor de los por lo menos dos ejes z no co-lineales;

35 la determinación de una desalineación x y una desalineación y entre un origen de la herramienta de la máquina del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria y un origen de la cámara sobre la base de una desalineación lineal entre los por lo menos dos ejes z no co-lineales y los movimientos de la cámara medidos con respecto al objeto aprendido después de o durante cada giro alrededor de los por lo menos dos ejes z no co-lineales;

40 la transformación en forma de traslación del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas en forma giratoria para proporcionar un marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación sobre la base de la desalineación x y la desalineación y determinadas;

45 el giro de la herramienta de la máquina alrededor de por lo menos dos ejes x no co-lineales o por lo menos dos ejes y no co-lineales del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación;

50 la medición del movimiento de la cámara con respecto al objeto aprendido después de o durante cada giro de la herramienta de la máquina alrededor de los por lo menos dos ejes x no co-lineales o alrededor de los por lo menos dos ejes y no co-lineales;

55 la determinación de una desalineación z entre el origen de la herramienta de la máquina del marco de referencia de la máquina del movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación y el origen de la cámara sobre la base de una desalineación lineal entre los por lo menos dos ejes x o ejes y no co-lineales y los movimientos medidos de la cámara con respecto al objeto aprendido después de o durante cada giro de la herramienta de la máquina alrededor de los por lo menos dos ejes x o ejes y no co-lineales; y

60 la transformación en forma de traslación del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma de traslación sobre la base de la desalineación z determinada.
2. El procedimiento de la reivindicación 1 en el que la herramienta de la máquina es un ejecutor extremo en un brazo de un robot.
3. El procedimiento de la reivindicación 1 en el que la posición cero de la cámara es un punto en el espacio ocupado por la cámara en el cual todas las coordenadas (x, y, z, Rx, Ry y Rz) miden cero.

4. El procedimiento de la reivindicación 3 en el que la posición cero de la herramienta de la máquina es un punto en el espacio ocupado por la herramienta de la máquina cuando la cámara está en la posición cero de la cámara.
- 5 5. El procedimiento de la reivindicación 1 en el que los por lo menos dos movimientos lineales de la máquina incluyen un primer movimiento lineal y un segundo movimiento lineal, el cual es perpendicular al primer movimiento lineal.
- 10 6. El procedimiento de la reivindicación 1 adicionalmente comprendiendo la comparación de los vectores de la máquina con los vectores de la cámara después de la determinación de la desalineación angular del plano xy de la herramienta de la máquina con respecto al plano xy de la cámara.
- 15 7. El procedimiento de la reivindicación 6 en el cual si hay un error inaceptable entre los vectores de la máquina y los vectores de la cámara el procedimiento adicionalmente comprendiendo: la repetición de la aplicación por lo menos dos etapas de movimientos lineales de la máquina, la medición de por lo menos dos etapas de movimientos lineales de la cámara y la determinación de una etapa de desalineación angular hasta que se consiga una precisión deseada en el paralelismo entre el plano xy de la herramienta de la máquina y el plano xy de la cámara.
- 20 8. El procedimiento de la reivindicación 1 adicionalmente comprendiendo la comparación de un origen del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas en forma giratoria con el origen de la cámara después de la transformación en forma de traslación del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas en forma giratoria.
- 25 9. El procedimiento de la reivindicación 8 en el cual si hay un error inaceptable entre el origen del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas en forma giratoria y el origen de la cámara de procedimiento adicionalmente comprendiendo: la repetición del giro de la herramienta de la máquina alrededor de por lo menos dos ejes z no co-lineales, la repetición de los movimientos de medición de la cámara con respecto al objeto aprendido después de o durante cada giro de la herramienta de la máquina alrededor de los por lo menos dos ejes z no co-lineales y la determinación de la desalineación x y una desalineación y entre el origen de la herramienta de la máquina del marco de referencia de la máquina de movimiento por coordenadas transformado en forma giratoria y el origen de la cámara hasta que se consiga una precisión deseada.
- 30

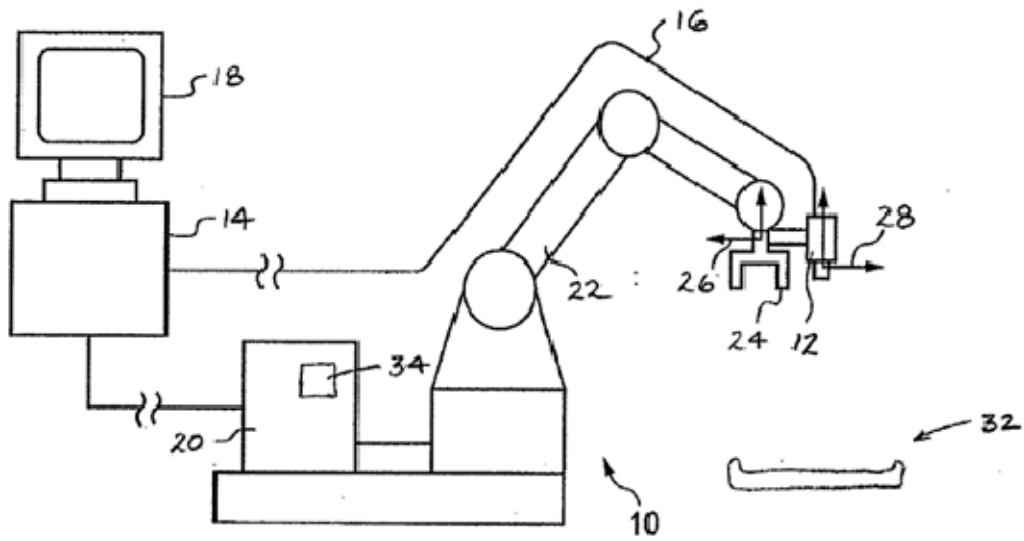


FIG. 1

- 100 APRENDER EL OBJETO
- 102 DISPOSITIVO DE MEDICIÓN CERO
- 104 MOVER LA MÁQUINA DE MOVIMIENTO POR COORDENADAS EN DIRECCIÓN X E Y
- 106 MEDIR EL MOVIMIENTO DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN
- 108 DETERMINAR LA DESALINEACIÓN GIRATORIA DEL PLANO XY DE LA MÁQUINA DE MOVIMIENTO POR COORDENADAS CON RESPECTO AL PLANO XY DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN
- 110 MARCO DE REFERENCIA DE LA MÁQUINA DE MOVIMIENTO POR COORDENADAS TRANSFORMADO EN FORMA GIRATORIA
- 112 GIRAR LA MÁQUINA DE MOVIMIENTO POR COORDENADAS ALREDEDOR DE DOS EJES Z
- 114 MEDIR EL MOVIMIENTO DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN
- 116 DETERMINAR DESALINEACIÓN X E Y
- 118 MARCO DE REFERENCIA DE LA MÁQUINA DE MOVIMIENTO POR COORDENADAS TRANSFORMADO EN FORMA DE TRANSLACIÓN
- 120 GIRAR LA MÁQUINA DE MOVIMIENTO POR CCOORDENADAS ALREDEDOR DE DOS EJES X O DOS EJES Y NO CO-LINEALES
- 122 MEDIR EL MOVIMIENTO DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN
- 124 DETERMINAR LA DESALINEACIÓN
- 126 MARCO DE REFERENCIA DE LA MÁQUINA DE MOVIMIENTO POR COORDENADAS TRANSFORMADO EN FORMA DE TRANSLACIÓN

## FIG. 2