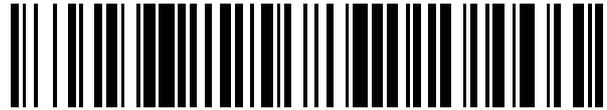


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 754 039**

51 Int. Cl.:

G05B 19/402 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.04.2014 PCT/CN2014/076578**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.11.2015 WO15165062**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2014 E 14890545 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2019 EP 3137954**

54 Título: **Procedimiento para calibrar un punto central de una herramienta para un sistema de robot industrial**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.04.2020

73 Titular/es:
**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:
**LI, JINSONG;
GU, HAO;
CHI, YONGLIN y
XU, YAN**

74 Agente/Representante:
CONTRERAS PÉREZ, Yahel

ES 2 754 039 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 calibrar un punto central de una herramienta para un sistema de robot industrial

5 Campo técnico

La invención se refiere a un procedimiento para calibrar un punto central de una herramienta y, más concretamente, para calibrar un punto central de una herramienta para un sistema de robot industrial.

10 Estado de la técnica

La calibración es la manera típica de garantizar la precisión de la posición entre el robot industrial y su herramienta o entre el robot industrial y su objeto de trabajo en la célula de robot industrial. En particular, la herramienta y el objeto de trabajo pueden definirse con datos cinemáticos inexactos. De este modo, una buena calibración hace posible alinear el programa fuera de línea con el en línea, y también puede recuperar la célula una vez que se varía la posición relativa entre el robot y la herramienta o el objeto de trabajo.

Actualmente, la calibración manual de la célula por parte del ingeniero de campo es relativamente lenta e inexacta. Para aplicaciones que requieren una elevada precisión, puede tardar fácilmente un esfuerzo de días para la puesta en marcha o recuperación de una célula en el sitio del cliente.

La patente americana 7.684.898 describe un procedimiento para la calibración de un punto de trabajo (TCP) para herramientas en robots industriales con un dispositivo de calibración que incluye el uso de por lo menos dos barreras de luz con un ángulo de acimut mayor de cero en un ángulo entre sí y que se cruzan en un punto de intersección. El procedimiento incluye fijar coordenadas posicionales TCP establecidas para un punto de trabajo establecido para la herramienta, en relación con un punto de referencia de la herramienta y un sistema de coordenadas TCP en relación con el punto de trabajo, mover la herramienta hacia el punto de trabajo establecido en relación con el sistema de coordenadas TCP a través de las barreras de luz, de modo que la punta de la herramienta interrumpa las barreras de luz, registrar coordenadas posicionales TCP reales que determinan la diferencia entre las coordenadas posicionales TCP establecidas para la interrupción de las barreras luminosas para un punto de trabajo establecido y las coordenadas posicionales TCP reales registradas correspondientes para punto de trabajo real, calcular el punto de trabajo real desde el punto de trabajo establecido para el número de niveles de barreras de luz a partir de las diferencias y la posición conocida y los ángulos de acimut (α) de las barreras de luz. Este procedimiento de calibración requiere el conocimiento de la posición y los ángulos de acimut de las barreras de luz. Este procedimiento requiere, sin embargo, datos de herramienta predefinidos y sólo puede funcionar con una posición sin cubrir una imprecisión posterior introducida por el manipulador.

DE 10 2007 020604 A1 describe un dispositivo que tiene un receptor de luz para capturar diferencias de intensidad de luz en un plano de medición. El receptor de luz está dispuesto en una carcasa, que tiene una abertura de paso perpendicular al plano de medición y en su longitud se forma un espacio en la carcasa, a través del cual la luz en el plano de medición se encuentra en el receptor de luz. También se incluye una reivindicación independiente para un procedimiento para el posicionamiento sin contacto de un objeto, en particular una herramienta de un robot industrial.

US 2008/234863 A1 describe un procedimiento para la calibración de un punto de trabajo (TCP) para herramientas en robots industriales con un dispositivo de calibración, que comprende por lo menos dos barreras de luz con un ángulo de acimut (α) mayor que cero en un ángulo entre sí y que se cruzan en un punto de intersección (R), que comprende las etapas: a) fijar coordenadas posicionales TCP establecidas para un punto de trabajo establecido para la herramienta, relativo a un punto de referencia de la herramienta (W) del robot industrial y un sistema de coordenadas TCP relativo al punto de trabajo (TCP), b) mover la herramienta directamente al punto de trabajo establecido con relación al sistema de coordenadas TCP a través de las barreras de luz, de modo que la punta de la herramienta, correspondiente al punto de trabajo (TCP), interrumpa las barreras de luz E, c) registrar las coordenadas posicionales reales del TCP al interrumpir una barrera de luz, d) determinación de la diferencia entre las coordenadas de posición TCP establecidas para la interrupción de las barreras de luz para un punto de trabajo establecido y las coordenadas de posición TCP reales registradas correspondientes para el punto de trabajo real, e); cálculo de la desviación del punto de trabajo real del punto de trabajo establecido para el número de niveles definidos por las barreras de luz de las diferencias y la posición conocida y los ángulos de acimut (α) de las barreras de luz.

60 Breve resumen de la invención

La presente invención se define por las características de las reivindicaciones adjuntas.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se dispone un procedimiento para calibrar un punto central de una herramienta para un sistema de robot industrial que comprende un sensor de haces cruzados que presenta un primer haz y un segundo haz que forman un ángulo entre sí con un ángulo de vértice mayor de cero y se cruzan entre sí en un punto de intersección, que incluye: (a) mover relativamente una primera parte de la citada herramienta y un sensor de haces cruzados mediante dicho robot industrial con un movimiento de traslación en una orientación para que dicha primera parte de la citada herramienta interrumpa respectivamente dicho primer haz y dicho segundo haz del citado sensor de haces cruzados; (b) registrar una primera posición y una segunda posición de dicho robot industrial durante las interrupciones de dicho primer haz y dicho segundo haz del citado sensor de haces cruzados mediante dicha primera parte de la citada herramienta; (c) mover relativamente una segunda parte de la citada herramienta y el citado sensor de haces cruzados mediante dicho robot industrial con un movimiento de traslación en dicha orientación de modo que dicha segunda parte de la citada herramienta interrumpa respectivamente dicho primer haz y dicho segundo haz del citado sensor de haces cruzados; (d) registrar una tercera posición y una cuarta posición de dicho robot industrial durante las interrupciones de dicho primer haz y dicho segundo haz del citado sensor de haces cruzados mediante dicha segunda parte de la citada herramienta; (e) calcular la orientación de la herramienta teniendo en cuenta dicha primera posición, segunda posición, tercera posición y cuarta posición del citado robot industrial, así como dicha primera dirección del haz y dicha segunda dirección del haz; y (f) mover relativamente la citada herramienta y el citado sensor de haces cruzados mediante dicho robot industrial de modo que dicho punto central de la citada herramienta interrumpa dicho punto de intersección del citado sensor de haces cruzados teniendo en cuenta dicha orientación de la herramienta y la primera y la segunda posición o la tercera y la cuarta posición de dicho robot industrial.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se dispone un procedimiento para calibrar un punto central de una herramienta para un sistema de robot industrial que comprende un sensor de haces cruzados que tiene un primer haz y un segundo haz que forman un ángulo entre sí con un ángulo de vértice mayor de cero y se cruzan entre sí en un punto de intersección, que incluye: (a) mover relativamente una primera parte de la citada herramienta y un sensor de haces cruzados mediante dicho robot industrial con un movimiento de traslación en una orientación para que dicha primera parte de la citada herramienta interrumpa dicho primer haz del citado sensor de haces cruzados, se mueva a lo largo de la primera dirección del haz desde el punto de interrupción, e interrumpa dicho segundo haz del citado sensor de haces cruzados en dicho punto de intersección del citado sensor de haces cruzados; (b) registrar una segunda posición de dicho robot industrial en la que dicha primera parte de la citada herramienta interrumpe dicho segundo haz del citado sensor de haces cruzados en dicho punto de intersección del citado sensor de haces cruzados; (c) mover relativamente una segunda parte de la citada herramienta y el citado sensor de haces cruzados mediante dicho robot industrial con un movimiento de traslación en dicha orientación de modo que dicha segunda parte de la citada herramienta interrumpa dicho primer/segundo haz del citado sensor de haces cruzados, se mueva a lo largo de la primera/segunda dirección del haz desde el punto de interrupción, e interrumpa dicho segundo/primer haz del citado sensor de haces cruzados en dicho punto de intersección del citado sensor de haces cruzados; (d) registrar una cuarta posición de dicho robot industrial donde dicha segunda parte de la citada herramienta interrumpe dicho segundo haz del citado sensor de haces cruzados en dicho punto de intersección del citado sensor de haces cruzados; (e) calcular la orientación de la herramienta teniendo en cuenta dicha segunda posición y dicha cuarta posición del citado robot industrial; y (f) mover relativamente la citada herramienta y el citado sensor de haces cruzados mediante dicho robot industrial de modo que dicho punto central de la citada herramienta interrumpa dicho punto de intersección del citado sensor de haces cruzados teniendo en cuenta dicha orientación de la herramienta y la segunda posición o bien la cuarta posición del citado robot industrial.

Utilizando el procedimiento anterior, al ignorar la posición de la herramienta, el robot industrial puede guiar el sensor de haces cruzados para acercarse al TCP de la herramienta.

Breve descripción de los dibujos

La invención se explicará con más detalle en el siguiente texto con referencia a realizaciones preferidas de ejemplo que se ilustran en los dibujos, en los cuales:

La figura 1 muestra un sensor de haces cruzados de acuerdo con una realización de la presente invención;

Las figuras 2A y 2B muestran respectivamente un sistema de robot industrial para calibrar un punto central de una herramienta de acuerdo con realizaciones de la presente invención respecto a unos escenarios A y B;

La figura 3 ilustra el acercamiento del TCP al punto de intersección del sensor de haces cruzados de acuerdo con una realización de la presente invención; y

La figura 4 ilustra que la herramienta se acerca al punto de intersección del sensor de haces cruzados en cuatro orientaciones diferentes.

Los símbolos de referencia utilizados en los dibujos y sus significados se enumeran en manera resumida en la lista de símbolos de referencia. En principio, las partes idénticas llevan los mismos símbolos de referencia en las figuras.

Realizaciones preferidas de la invención

5 La figura 1 muestra un sensor de haces cruzados de acuerdo con una realización de la presente invención. El sensor de haces cruzados tiene por lo menos dos haces ópticos que forman un ángulo entre sí con un ángulo de vértice mayor de cero y se cruzan entre sí en un punto de intersección. Tal como se muestra en la figura 1, el sensor de haces cruzados 1 tiene un bloque plano 10 con un orificio 11 a través del mismo, y un primer transmisor 12a, un primer receptor 12b, un segundo transmisor 13a, un segundo receptor 13b. El orificio 11 tiene una superficie interior en forma de cilindro o hexágono. En la pared lateral de la superficie interna del orificio 11, hay dos pares de posiciones, por ejemplo, el primer par de posiciones incluye las posiciones P1, P2, y el segundo par de posiciones incluye las posiciones P3, P4. El primer transmisor 12a, el primer receptor 12b, el segundo transmisor 13a, y el segundo receptor 13b están fijos respectivamente en las posiciones P1, P2, P3 y P4 para que un primer haz 14a enviado por el primer transmisor 12a pueda llegar al primer receptor 12b, y un segundo haz 14b enviado por el segundo transmisor 13a pueda llegar al segundo receptor 13b, y el primer haz 14a y el segundo haz 14b están alineados diagonalmente al mismo; el primer haz 14a y el segundo haz 14b discurren uno hacia el otro en un ángulo de vértice alfa mayor de cero, por ejemplo 90 grados y se encuentran en un punto de intersección R en el espacio intermedio entre los haces 14a, 14b. Esto da como resultado la creación de un haz de luz de horquilla que está diseñado preferiblemente como un haz de luz infrarroja. El sensor de haces cruzados 1 puede montarse de manera fija en la célula de un robot industrial.

Un punto central (TCP) de una herramienta para un robot industrial, por ejemplo, la punta de la herramienta, se mueve con el fin de calibrar el punto central de la herramienta TCP para acercarse al punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1. En este caso, tanto el primer haz 14a como el segundo haz 14b son interrumpidos por la punta de la herramienta de modo que se genera una señal de conmutación.

El procedimiento de calibración se explica con más detalle a continuación.

30 Las figuras 2A y 2B muestran respectivamente un sistema de robot industrial para calibrar un punto central de una herramienta de acuerdo con realizaciones de la presente invención respecto a los escenarios A y B. El sistema de robot industrial 2 incluye un robot industrial 20, una herramienta 21, y el sensor de haces cruzados 1. La calibración de la herramienta consiste en identificar la posición de la herramienta 21 respecto a una parte del robot industrial 20, por ejemplo, su muñeca 200. En particular, existen dos escenarios de trabajo del robot típicos: A. con herramienta en movimiento sujeta por el robot industrial, y B. con herramienta fija en la célula del robot industrial, las cuales se describirán por separado a continuación.

Escenario A

40 Tal como se muestra en la figura 2A, la herramienta 21 va sujeta por el robot industrial 20 (por ejemplo, unida a una muñeca del robot industrial), y el sensor de haces cruzados 1 va montado en la célula del robot industrial de manera fija. La calibración de la herramienta para el escenario A es identificar la posición relativa fija de la herramienta 21 respecto a la muñeca 200 del robot industrial 20.

45 La calibración de cuatro puntos del TCP se realiza moviendo el robot realizando el punto TCP contra un punto fijo entorno al robot industrial. El punto fijo es, por ejemplo, la punta de un clavo. Moviendo el robot industrial, realizando el punto TCP contra la punta del punto fijo desde por lo menos cuatro orientaciones diferentes, se calcula la coordenada del TCP en relación con el sistema de coordenadas de la base del robot/coordenadas mundial. Esto se lleva a cabo formulando un problema de optimización de mínimos cuadrados insistiendo en que, si se encuentran las coordenadas correctas del puntero TCP, entonces la suma de las variaciones cuadradas en la ubicación calculada del puntero fijo es mínima, idealmente cero, pero permitiendo un pequeño error residual debido a imprecisiones en los movimientos y la cinemática del robot. Siguiendo los requisitos del algoritmo de cuatro puntos, en particular teniendo en cuenta la identificación de la relación espacial entre la parte del robot industrial 20 y la herramienta 21, el robot industrial 20 necesita realizar un movimiento relativo entre la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 para que el punto central de la herramienta 21 pueda acercarse al punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1.

60 Con el fin de guiar al TCP al punto de intersección R en el escenario A, se describe a continuación un procedimiento para calibrar un punto central de una herramienta para un sistema de robot industrial de acuerdo con una realización de la presente invención. En la etapa (a), el robot industrial 20 sujeta la herramienta 21 y mueve relativamente una primera parte 21a de la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 con un movimiento de traslación en una orientación O de modo que la primera parte 21a de la herramienta 21 interrumpe respectivamente el primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1. En particular, tras la interrupción del primer haz 14a, el

sensor de haces cruzados 1 envía una primera señal al sistema de robot industrial 2 que representa que se produce la interrupción del primer haz 14a y, tras la interrupción del segundo haz 14b, el sensor de haces cruzados 1 envía una segunda señal al sistema de robot industrial 2 que representa que se produce la interrupción del segundo haz 14b; la característica del movimiento de traslación hace que la herramienta 21 conserve la misma orientación cuando se mueve relativamente hacia el sensor de haces cruzados 1 y la primera parte 21 de la herramienta 21 interrumpe el primer haz 14a y el segundo haz 14b en el plano definido por los dos haces.

La etapa (b) registra una primera posición y una segunda posición del robot industrial 20 durante las interrupciones del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 mediante la primera parte 21a de la herramienta 21. En particular, tras la interrupción del primer haz 14a, se registra la primera posición del robot industrial 20 a partir de la cual pueden calcularse las coordenadas para cualquier parte del robot industrial 20 de acuerdo con varios sistemas de coordenadas, por ejemplo, las coordenadas de un TCP0 que representan la posición de la muñeca del robot industrial 200 respecto al sistema de coordenadas de la base del robot industrial/sistema de coordenadas mundial; la segunda posición del robot industrial 20 también se registra tras la interrupción del segundo haz 14b a través de la primera parte 21a de la herramienta 21. Dada la primera posición y la segunda posición del robot industrial 20 y la primera dirección del haz D₁ y la segunda dirección del haz D₂, puede resolverse la posición del robot industrial 20 para la primera parte 21a de la herramienta 21 que cruza con el punto de intersección R del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1. La primera dirección del haz D₁ y la segunda dirección del haz D₂ pueden representarse respecto al sistema de coordenadas de la base del robot/sistema de coordenadas mundial. En particular, dicha posición del robot industrial 20 son las coordenadas del TCP0 que representan la posición de la muñeca del robot industrial 200 respecto al sistema de coordenadas de la base del robot industrial/sistema de coordenadas mundial y se indica como TCP0₁.

En la etapa (c), el robot industrial 20 sujeta la herramienta 21 y mueve relativamente una segunda parte 21b de la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 con un movimiento de traslación en la misma orientación O que la que se utilizó en la etapa (a) de modo que la segunda parte 21b de la herramienta 21 interrumpe respectivamente el primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1. En particular, tras la interrupción del segundo haz 14a, el sensor de haces cruzados 1 envía una tercera señal al sistema de robot industrial 2 que representa que se produce la interrupción del primer haz 14a y, tras la interrupción del segundo haz 14b, el sensor de haces cruzados 1 envía una cuarta señal al sistema de robot industrial 2 que representa que se produce la interrupción del segundo haz 14b; la característica del movimiento de traslación hace que la herramienta 21 conserve la misma orientación cuando se mueve relativamente hacia el sensor de haces cruzados 1 y la primera parte 21 de la herramienta 21 interrumpe el primer haz 14a y el segundo haz 14b en el plano definido por los dos haces.

La etapa (d) registra una tercera posición y una cuarta posición del robot industrial 20 durante las interrupciones del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 a través de la segunda parte 21b de la herramienta 21. En particular, tras la interrupción del primer haz 14a, se registra la tercera posición del robot industrial 20 a partir de la cual pueden calcularse las coordenadas para cualquier parte del robot industrial 20 de acuerdo con varios sistemas de coordenadas utilizando cinemática industrial conocida del robot, por ejemplo las coordenadas para representar la posición de la muñeca del robot industrial respecto al sistema de coordenadas de la base del robot industrial/sistema de coordenadas mundial; la cuarta posición del robot industrial 20 también se registra tras la interrupción del segundo haz 14b mediante la segunda parte 21b de la herramienta 21. Dada la tercera posición y la cuarta posición del robot industrial 20 y la primera dirección del haz D₁ y la segunda dirección del haz D₂, puede resolverse la posición del robot industrial 20 para la segunda parte 21b de la herramienta 21 que se cruza con el punto de intersección R del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1. La primera dirección del haz D₁ y la segunda dirección del haz D₂ pueden representarse respecto al sistema de coordenadas de la base del robot/coordenadas mundial. En particular, dicha posición del robot industrial 20 son las coordenadas del TCP0 que representan la posición de la muñeca del robot industrial 200 respecto al sistema de coordenadas de la base del robot industrial/sistema de coordenadas mundial y se indica como TCP0₂.

La etapa (e) calcula la orientación de la herramienta Ω tal como se muestra a continuación:

La orientación Ω de la herramienta 21 está definida por la primera parte 21a y la segunda parte 21b, en el que la primera parte 21a y la segunda parte 21b de la herramienta 21 están dispuestas por separado en una parte lineal de la herramienta 21 que está fija en la muñeca 200 del robot industrial 20. Dado que el movimiento relativo del robot industrial 20 que sujeta la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 es de traslación y se mantiene la misma orientación en etapas anteriores (a) y (c), por el principio paralelo, la orientación Ω de la herramienta 21 es la misma que la orientación definida por dos posiciones TCP0 TCP0₁ y TCP0₂. Por lo tanto, la orientación de la herramienta puede calcularse de la siguiente manera:

$$\Omega = (\text{TCP0}_2 - \text{TCP0}_1) / |\text{TCP0}_2 - \text{TCP0}_1|$$

La orientación de la herramienta Ω puede representarse respecto al sistema de coordenadas de la muñeca del robot industrial.

5 En la etapa (f), el robot industrial 20 sujeta la herramienta 21 y mueve relativamente la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 de modo que el punto central (TCP) de la herramienta 21 interrumpe el punto de intersección R del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 teniendo en cuenta la orientación de la herramienta Ω y la posición de dicho TCP₀₁ o TCP₀₂ del robot industrial 20. Por ejemplo, en la etapa (f) el robot industrial 20 sujeta la herramienta 21 tomando la posición de dicho TCP₀₁ o TCP₀₂ y mueve relativamente la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 con un movimiento de traslación en la misma orientación O que se utilizó en la etapa (a) respecto al sistema de coordenadas de la base del robot/coordenadas mundial y en la dirección de la orientación de la herramienta Ω respecto al sistema de coordenadas de la base del robot/sistema de coordenadas mundial de modo que el punto central de la citada herramienta 21 interrumpe el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1. En particular, cuando dicho TCP de la citada herramienta 21 es la punta de la citada herramienta 21, el cambio de estado activo/inactivo tanto de dicha primera señal como de dicha segunda señal indica si dicho TCP de la citada herramienta 21 está interrumpiendo el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1.

20 La figura 3 ilustra el acercamiento del TCP al punto de intersección del sensor de haces cruzados de acuerdo con una realización de la presente invención. Tal como se muestra en la figura 3, al ignorar la posición del punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1, el robot industrial puede guiar el TCP de la citada herramienta 21 para acercarse al punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1.

25 Como alternativa al procedimiento descrito que implica las figuras 2A y 3, se describe a continuación un procedimiento para calibrar un punto central de una herramienta para un sistema de robot industrial.

30 En la etapa (a), el robot industrial 20 mueve relativamente una primera parte 21a de la herramienta 21 y un sensor de haces cruzados 1 con un movimiento de traslación en una orientación O de modo que la primera parte 21a de la herramienta 21 interrumpe el primer haz 14a del sensor de haces cruzados 1, se mueve a lo largo de la primera dirección de haz D₁ desde el punto de interrupción, e interrumpe el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 en el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1. En particular, el robot industrial 20 sujeta la herramienta 21 y mueve la herramienta 21 relativamente hacia el sensor de haces cruzados 1. Al interrumpir el primer haz 14a, el sensor de haces cruzados 1 envía una primera señal al sistema de robot industrial 2 que representa que se produce la interrupción del primer haz 14a. La característica del movimiento de traslación hace que la herramienta 21 conserve la misma orientación cuando se mueve relativamente hacia el sensor de haces cruzados 1.

40 En la etapa (b), el sistema de robot industrial 2 registra una segunda posición del robot industrial 20 en la que la primera parte 21a de la herramienta 21 interrumpe el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 en el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1. En particular, tras la interrupción del segundo haz 14b, el sensor de haces cruzados 1 envía una segunda señal al sistema de robot industrial 2 que representa que se produce la interrupción del segundo haz 14b. El sistema de robot industrial 2 registra una segunda posición del robot industrial 20 durante la interrupción del segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 mediante la primera parte 21a de la herramienta 21. Al completarse con éxito las etapas (a) y (b), la primera parte 21a de la herramienta 21 interrumpe el punto de intersección R del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 y se conoce la segunda posición del robot industrial 20.

50 En la etapa (c), el robot industrial 20 mueve relativamente una segunda parte 21b de la herramienta 21 y un sensor de haces cruzados 1 con un movimiento de traslación en la orientación O, de modo que la segunda parte 21b de la herramienta 21 interrumpe el primer/segundo haz 14a/14b del sensor de haces cruzados 1, se mueve a lo largo de la primera/segunda dirección del haz D₁/D₂ desde el punto de interrupción, e interrumpe el segundo/primer haz 14b/14a del sensor de haces cruzados 1 en el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1. En particular, el robot industrial 20 sujeta la herramienta 21 y mueve la herramienta 21 relativamente hacia el sensor de haces cruzados 1. Tras la interrupción del primer/segundo haz 14a/14b, el sensor de haces cruzados 1 envía una tercera señal al sistema de robot industrial 2 que representa la interrupción del primer/segundo haz 14a/14b. La característica del movimiento de traslación hace que la herramienta 21 conserve la misma orientación cuando se mueve relativamente hacia el sensor de haces cruzados 1.

60 En la etapa (d), el sistema de robot industrial 2 registra una cuarta posición del robot industrial 20 en la que la segunda parte 21b de la herramienta 21 interrumpe el segundo/primer haz 14b/14a del sensor de haces cruzados 1 en el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1. En particular, tras la interrupción del segundo/primer haz 14b/14a, el sensor de haces cruzados 1 envía una cuarta señal al sistema de robot industrial 2 que representa que se produce la interrupción del segundo/primer haz 14b/14a. El sistema de robot industrial 2 registra una cuarta posición del robot industrial 20 durante la interrupción del segundo/primer haz 14b/14a del sensor de haces cruzados

1 mediante la segunda parte 21b de la herramienta 21. Al completarse con éxito las etapas(c) y (d), la segunda parte 21b de la herramienta 21 interrumpe el punto de intersección R del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 y se conocen las cuatro posiciones del robot industrial 20.

5 La etapa (e) calcula la orientación de la herramienta Ω teniendo en cuenta la segunda posición y la cuarta posición del robot industrial 20. En particular, dado que el movimiento relativo del robot industrial 20 que sujeta la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 es de traslación y se mantiene la misma orientación en las etapas anteriores, según el principio paralelo, la orientación de la herramienta definida por la primera parte 21a y la segunda parte 21b es la misma que la orientación definida por dos posiciones TCP0: TCP0₁ y TCP0₂ cuando la primera parte 21a y la segunda parte 21b se cruzan con el punto de intersección R respectivamente, en el que la primera parte 21a y la segunda parte 21b de la herramienta 21 se disponen por separado en una parte lineal de la herramienta. Por lo tanto, la orientación de la herramienta puede calcularse de la siguiente manera:

$$\Omega = (\text{TCP0}_2 - \text{TCP0}_1) / |\text{TCP0}_2 - \text{TCP0}_1|$$

15 donde TCP0₁ es la segunda posición registrada del robot industrial 20 en la etapa (b). En particular, tal como se ha mencionado anteriormente, las coordenadas para la muñeca del robot industrial pueden calcularse conforme a las posiciones del robot industrial 20.

20 TCP0₂ es la cuarta posición registrada del robot industrial 20 en la etapa (d). En particular, tal como se ha mencionado anteriormente, las coordenadas para la muñeca del robot industrial pueden calcularse conforme a las posiciones del robot industrial 20.

25 La etapa (f) el robot industrial 20 mueve relativamente la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 21 de modo que el punto central de la herramienta de la herramienta 21 interrumpe el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1 teniendo en cuenta la orientación de la herramienta Ω y la segunda posición o bien la cuarta posición del robot industrial 20.

30 La primera dirección del haz D₁ y la segunda dirección del haz D₂ pueden predeterminarse respecto al sistema de coordenadas de la base del robot/coordenadas mundial.

De acuerdo con el principio del algoritmo de cuatro puntos, para obtener la posición del TCP se necesitan cuatro conjuntos de coordenadas para la misma parte del robot industrial 20, en el que el TCP cruza el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1 de cuatro orientaciones diferentes, O₁, O₂, O₃ y O₄.

35 La figura 4 ilustra que la herramienta se acerca al punto de intersección del sensor de haces cruzados en cuatro orientaciones diferentes. Tal como se muestra en la figura 4, el procedimiento de calibración incluye cuatro rondas. En particular, en cuanto a la primera ronda, se realizan etapas (a) a (f) en las que la herramienta 21 adopta la primera orientación O₁ de las cuatro orientaciones diferentes O₁, O₂, O₃ y O₄ respecto al sensor de haces cruzados 1. Cuando el TCP cruza el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1, se registra una quinta posición del robot industrial 20 a partir de la cual, tal como se ha mencionado anteriormente, pueden calcularse las coordenadas para la muñeca del robot industrial y la orientación de la herramienta. En cuanto a cada una de la segunda a la cuarta ronda, donde la herramienta 21 adopta respectivamente la segunda, tercera y cuarta orientación O₂, O₃ y O₄ de las cuatro orientaciones diferentes O₁, O₂, O₃ y O₄, la orientación de la herramienta se hereda de la que se calculó en la primera ronda y las etapas que se repiten (a), (b), (c), (d) y (f). Del mismo modo, se registra respectivamente una sexta, una séptima y una octava posición del robot industrial 20 durante las interrupciones del punto de intersección R del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 por el punto central de la herramienta 21. Volver a utilizar el valor para la orientación de la herramienta es útil para reducir el cálculo. Los resultados del cálculo para las cuatro rondas tienen la quinta, sexta, séptima, y octava posición del robot industrial 20 y, teniendo en cuenta las mismas, puede calcularse la posición del punto central de la herramienta 21 aplicando el principio de cuatro puntos calibración.

Escenario B

55 Tal como se muestra en la figura 2B, la herramienta 21 va fijada en la célula del robot industrial y el robot industrial 20 sujeta el sensor de haces cruzados 1 (por ejemplo, unido a una muñeca del robot industrial). Por lo tanto, en una forma más específica, la calibración de la herramienta para el escenario B es identificar la posición relativa de la herramienta 21 respecto a un punto fijo en la célula del robot industrial.

60 Siguiendo los requisitos del algoritmo de cuatro puntos, en particular teniendo en cuenta la identificación de la relación espacial entre la parte del robot industrial 20 y la herramienta 21, es necesario que el robot industrial 20 realice un movimiento relativo entre la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 para que el punto central de la herramienta 21 pueda acercarse al punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1.

Con el fin de guiar el TCP al punto de intersección R en el escenario B, se describe, a continuación, un procedimiento para calibrar un punto central de una herramienta para un sistema de robot industrial de acuerdo con una realización de la presente invención. En la etapa (a), el robot industrial 20 sujeta el sensor de haces cruzados 1 y mueve relativamente una primera parte 21a de la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 con un movimiento de traslación en una orientación O de modo que la primera parte 21a de la herramienta 21 respectivamente interrumpe el primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1. En particular, tras la interrupción del primer haz 14a, el sensor de haces cruzados 1 envía una primera señal al sistema de robot industrial 2 que representa que se produce la interrupción del primer haz 14a y, tras la interrupción del segundo haz 14b, el sensor de haces cruzados 1 envía una segunda señal al sistema de robot industrial 2 que representa que se produce la interrupción del segundo haz 14b; la característica del movimiento de traslación hace que la herramienta 21 conserve la misma orientación cuando se mueve relativamente hacia el sensor de haces cruzados 1 y la primera parte 21 de la herramienta 21 interrumpe el primer haz 14a y el segundo haz 14b en el plano definido por los dos haces.

La etapa (b) registra, mediante la primera parte 21a de la herramienta 21, una primera posición y una segunda posición del robot industrial 20 durante las interrupciones del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1. En particular, tras la interrupción del primer haz 14a, se registra la primera posición del robot industrial 20 a partir de la cual pueden calcularse las coordenadas para cualquier parte del robot industrial 20 de acuerdo con varios sistemas de coordenadas, por ejemplo, las coordenadas para representar la posición de la muñeca del robot industrial respecto al sistema de coordenadas de la base del robot industrial/sistema de coordenadas mundial; la segunda posición del robot industrial 20 también se registra tras la interrupción del segundo haz 14b mediante la primera parte 21a de la herramienta 21. Dada la primera posición y la segunda posición del robot industrial 20 y la primera dirección del haz D_1 y la segunda dirección del haz D_2 , puede resolverse la posición del robot industrial 20 para la segunda parte 21a de la herramienta 21 que se cruza con el punto de intersección R del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1. La primera dirección del haz D_1 y la segunda dirección del haz D_2 pueden predeterminarse y representarse respecto al sistema de coordenadas de la muñeca del robot. En particular, dicha posición del robot industrial 20 son las coordenadas del TCP0 que representan la posición de la muñeca del robot industrial 200 respecto al sistema de coordenadas de la base del robot industrial/sistema de coordenadas mundial y se indica como TCP0₁. En la etapa (c), el robot industrial 20 sujeta el sensor de haces cruzados 1 y mueve relativamente una segunda parte 21b de la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 con un movimiento de traslación en la misma orientación O que se utilizó en la etapa (a) para que la segunda parte 21b de la herramienta 21 interrumpa respectivamente el primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1. En particular, tras la interrupción del primer haz 14a, el sensor de haces cruzados 1 envía una tercera señal al sistema de robot industrial 2 que representa que se produce la interrupción del primer haz 14a y, tras la interrupción del segundo haz 14b, el sensor de haces cruzados 1 envía una cuarta señal al sistema de robot industrial 2 que representa que se produce la interrupción del segundo haz 14b; la característica del movimiento de traslación hace que la herramienta 21 conserve la misma orientación a medida que se mueve relativamente hacia el sensor de haces cruzados 1 y la primera parte 21a de la herramienta 21 interrumpe el primer haz 14a y el segundo haz 14b en el plano definido por los dos haces.

La etapa (d) registra, mediante la segunda parte 21b de la herramienta 21, una tercera posición y una cuarta posición del robot industrial 20 durante las interrupciones del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1. En particular, tras la interrupción del primer haz 14a, se registra la tercera posición del robot industrial 20 a partir de la cual pueden calcularse las coordenadas para cualquier parte del robot industrial 20 de acuerdo con varios sistemas de coordenadas utilizando cinemática industrial conocida del robot, por ejemplo las coordenadas para representar la posición de la muñeca del robot industrial respecto al sistema de coordenadas de la base del robot industrial/sistema de coordenadas mundial; la cuarta posición del robot industrial 20 también se registra tras la interrupción del segundo haz 14b mediante la segunda parte 21b de la herramienta 21. Dada la tercera posición y la cuarta posición del robot industrial 20 y la primera dirección del haz D_1 y la segunda dirección del haz D_2 , puede resolverse la posición del robot industrial 20 para la segunda parte 21b de la herramienta 21 que se cruza con el punto de intersección R del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1. La primera dirección del haz D_1 y la segunda dirección del haz D_2 pueden representarse respecto al sistema de coordenadas de la muñeca del robot. En particular, dicha posición del robot industrial 20 son las coordenadas TCP0 que representan la posición de la muñeca del robot industrial 200 respecto al sistema de coordenadas de la base del robot industrial/sistema de coordenadas mundial y se indica como TCP0₂.

La etapa (e) calcula la orientación de la herramienta Ω . Por el principio paralelo, la orientación de la herramienta definida por la primera parte 21a y la segunda parte 21b es la misma que la orientación definida por dos posiciones del TCP0 cuando la primera parte 21a y la segunda parte 21b se cruzan con el punto de intersección R respectivamente, en el que la primera parte 21a y la segunda parte 21b de la herramienta 21 se disponen por separado en una parte lineal de la herramienta. Por lo tanto, la orientación de la herramienta puede calcularse de la siguiente manera:

La orientación Ω de la herramienta 21 está definida por la primera parte 21a y la segunda parte 21b, en el que la primera parte 21a y la segunda parte 21b de la herramienta 21 se disponen por separado en una parte lineal de la herramienta 21 que está fijada en célula del robot industrial. Dado que el movimiento relativo del robot industrial 20 que sujeta la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 es de traslación y se mantiene la misma orientación en las etapas anteriores (a) y (c), de acuerdo con el principio paralelo, la orientación Ω de la herramienta 21 es igual que la orientación definida por dos posiciones TCP0, TCP0₁ y TCP0₂. Por lo tanto, la orientación de la herramienta puede calcularse de la siguiente manera:

$$\Omega = (\text{TCP0}_2 - \text{TCP0}_1) / |\text{TCP0}_2 - \text{TCP0}_1|$$

La orientación de la herramienta Ω puede representarse respecto al sistema de coordenadas de la base del robot industrial/sistema de coordenadas mundial.

En la etapa (f), el robot industrial 20 sujeta el sensor de haces cruzados 1 y mueve relativamente la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 para que el punto central de la herramienta (TCP) de la herramienta 21 interrumpa el punto de intersección R del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 teniendo en cuenta la orientación de la herramienta Ω y la posición de dicho TCP0₁ o TCP0₂ del robot industrial 20. En la etapa (f), el robot industrial 20 sujeta el sensor de haces cruzados 1 reanudando la posición de dicho TCP0₁ o TCP0₂ y mueve relativamente la herramienta 2 y el sensor de haces cruzados 1 con un movimiento de traslación en la misma orientación O que la utilizada en la etapa (a) respecto a la coordenada base del robot/sistema de coordenadas mundial y en la dirección de la orientación de la herramienta Ω respecto al sistema de coordenadas de la base del robot/sistema de coordenadas mundial de modo que el punto central de la citada herramienta 21 interrumpe el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1. En particular, cuando dicho TCP de la citada herramienta 21 es la punta de la citada herramienta 21, el cambio de estado activo/inactivo tanto de dicha primera señal como de dicha segunda señal indica si dicho TCP de la citada herramienta 21 está interrumpiendo el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1.

Por lo tanto, al ignorar la posición de la herramienta, el robot industrial puede guiar el sensor de haces cruzados para acercarse al TCP de la herramienta.

Como alternativa al procedimiento descrito que implica la figura 2B, se describe, a continuación, un procedimiento para calibrar un punto central de una herramienta para un sistema de robot industrial.

En la etapa (a), el robot industrial 20 mueve relativamente una primera parte 21a de la herramienta 21 y un sensor de haces cruzados 1 con un movimiento de traslación en una orientación O de modo que la primera parte 21a de la herramienta 21 interrumpe el primer haz 14a del sensor de haces cruzados 1, se mueve a lo largo de la primera dirección de haz D₁ desde el punto de interrupción, e interrumpe el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 en el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1. En particular, el robot industrial 20 sujeta el sensor de haces cruzados 1 y mueve el sensor de haces cruzados 1 relativamente hacia la herramienta 21. Tras la interrupción del primer haz 14a, el sensor de haces cruzados 1 envía una primera señal al sistema de robot industrial 2 que representa que se produce la interrupción del primer haz 14a. La característica del movimiento de traslación hace que la herramienta 21 conserve la misma orientación cuando se mueve relativamente hacia el sensor de haces cruzados 1.

En la etapa (b), el sistema de robot industrial 2 registra una segunda posición del robot industrial 20 en la que la primera parte 21a de la herramienta 21 interrumpe el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 en el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1. En particular, tras la interrupción del segundo haz 14b, el sensor de haces cruzados 1 envía una segunda señal al sistema de robot industrial 2 que representa la interrupción del segundo haz 14b. El sistema de robot industrial 2 registra una segunda posición del robot industrial 20 durante la interrupción del segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 mediante la primera parte 21a de la herramienta 21. Tras completarse con éxito las etapas (a) y (b), la primera parte 21a de la herramienta 21 interrumpe el punto de intersección R del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 y se conoce la segunda posición del robot industrial 20.

En la etapa (c), el robot industrial 20 mueve relativamente una segunda parte 21b de la herramienta 21 y un sensor de haces cruzados 1 con un movimiento de traslación en la orientación O, de modo que la segunda parte 21b de la herramienta 21 interrumpe el primer/segundo haz 14a/14b del sensor de haces cruzados 1, se mueve a lo largo de la primera/segunda dirección del haz D₁/D₂ desde el punto de interrupción e interrumpe el segundo/primer haz 14b/14a del sensor de haces cruzados 1 en el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1. En particular, el robot industrial 20 sujeta el sensor de haces cruzados 1 y mueve el sensor de haces cruzados 1 relativamente respecto a la herramienta 21. Tras la interrupción del primer/segundo haz 14a/14b, el sensor de haces cruzados 1 envía una tercera señal al robot industrial 20 que representa que se produce la interrupción del

primer/segundo haz 14a/14b. La característica del movimiento de traslación hace que la herramienta 21 conserve la misma orientación cuando se mueve relativamente hacia el sensor de haces cruzados 1.

5 En la etapa (d), el sistema de robot industrial 2 registra una cuarta posición del robot industrial 20 en la que la segunda parte 21b de la herramienta 21 interrumpe el segundo/primer haz 14b/14a del sensor de haces cruzados 1 en el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1. En particular, tras la interrupción del segundo/primer haz 14b/14a, el sensor de haces cruzados 1 envía una cuarta señal al robot industrial 20 que representa que se produce la interrupción del segundo/primer haz 14b/14a. El sistema de robot industrial 2 registra una cuarta posición del robot industrial 20 durante la interrupción del segundo/primer haz 14b/14a del sensor de haces cruzados 1 mediante la segunda parte 21b de la herramienta 21. Al completarse con éxito las etapas (c) y (d), la segunda parte 21b de la herramienta 21 interrumpe el punto de intersección R del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 y se conocen las cuatro posiciones del robot industrial 20.

15 La etapa (e) calcula la orientación de la herramienta Ω teniendo en cuenta la segunda posición y la cuarta posición del robot industrial 20. En particular, dado que el movimiento relativo del robot industrial 20 que sujeta la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 1 es de traslación y se mantiene la misma orientación en las etapas anteriores, por el principio paralelo, la orientación de la herramienta definida por la primera parte 21a y la segunda parte 21b es la misma que la orientación definida por dos posiciones TCP0: TCP0₁ y TCP0₂ cuando la primera parte 21a y la segunda parte 21b se cruzan con el punto de intersección R respectivamente, en el que la primera parte 21a y la segunda parte 21b de la herramienta 21 se disponen por separado en una parte lineal de la herramienta. Por lo tanto, la orientación de la herramienta puede calcularse de la siguiente manera:

$$\Omega = (\text{TCP0}_2 - \text{TCP0}_1) / |\text{TCP0}_2 - \text{TCP0}_1|$$

25 donde TCP0₁ es la segunda posición registrada del robot industrial 20 en la etapa (b). En particular, tal como se ha mencionado anteriormente, las coordenadas para la muñeca del robot industrial pueden calcularse conforme a las posiciones del robot industrial 20.

30 TCP0₂ es la cuarta posición registrada del robot industrial 20 en la etapa (d). En particular, tal como se ha mencionado anteriormente, las coordenadas para la muñeca del robot industrial pueden calcularse conforme a las posiciones del robot industrial 20.

35 La etapa (f) mueve relativamente la herramienta 21 y el sensor de haces cruzados 21 mediante el robot industrial 20 de modo que el punto central de la herramienta 21 interrumpe el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1 teniendo en cuenta la orientación de la herramienta Ω y la segunda posición o la cuarta posición del robot industrial 20.

40 De acuerdo con el principio del algoritmo de cuatro puntos, para obtener la posición TCP se necesitan cuatro conjuntos de coordenadas para la misma parte del robot industrial 20, donde el TCP cruza el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1 desde cuatro orientaciones diferentes, O1, O2, O3 y O4.

45 El procedimiento de calibración incluye cuatro rondas. En particular, en cuanto a la primera ronda, se llevan a cabo las etapas (a) a (f) en las que la herramienta 21 adopta la primera orientación O1 de las cuatro orientaciones diferentes O1, O2, O3 y O4 respecto al sensor de haces cruzados 1. Cuando el TCP cruza el punto de intersección R del sensor de haces cruzados 1, se registra una quinta posición del robot industrial 20 a partir de la cual, tal como se ha mencionado anteriormente, pueden calcularse las coordenadas para la muñeca del robot industrial y la orientación de la herramienta. En cuanto a cada una de la segunda a la cuarta ronda, en las que la herramienta 21 adopta respectivamente la segunda, tercera y cuarta orientación O2, O3 y O4 de las cuatro orientaciones diferentes O1, O2, O3 y O4, la orientación de la herramienta se hereda de la que se calculó en la primera ronda y las etapas que se repiten (a), (b), (c), (d) y (f). Del mismo modo, se registra respectivamente una sexta, una séptima y una octava posición del robot industrial 20 durante las interrupciones del punto de intersección R del primer haz 14a y el segundo haz 14b del sensor de haces cruzados 1 por el punto central de la herramienta 21. Volver a utilizar el valor para la orientación de la herramienta es útil para reducir el cálculo. Los resultados del cálculo para las cuatro rondas tienen la quinta, sexta, séptima, y octava posición del robot industrial 20 y, teniendo en cuenta las mismas, puede calcularse la posición del punto central de la herramienta 21 aplicando el principio de cuatro puntos calibración.

60 De acuerdo con una realización de la presente invención, cada una de la primera, segunda, tercera y cuarta posición del robot industrial 20 se determina promediando la posición de la respectiva en el instante de la interrupción del haz y en de la liberación posterior del haz. Como alternativa, cada una de la primera, segunda, tercera y cuarta posición del robot industrial 20 se determina promediando la posición de la respectiva en el instante de la interrupción del haz desde un lado y la desde el lado opuesto. Como alternativa, cada una de la primera, segunda, tercera y cuarta posición del robot industrial 20 se determina promediando la posición de la respectiva en el instante de liberación del haz desde un lado y la desde el lado opuesto.

De acuerdo con una realización de la presente invención, la herramienta 21 es un sensor de desplazamiento lineal. Como alternativa, la herramienta 21 es un elemento de forma lineal que va montado en un periférico del sistema de robot industrial 2.

5 Aunque la presente invención se ha descrito en base a algunas realizaciones preferidas, los expertos en la materia deberían apreciar que esas realizaciones no deberían limitar de ninguna manera el alcance de la presente invención. Sin apartarse del concepto de la presente invención, los expertos en la materia percibirán cualquier variación y modificación de las realizaciones y, por lo tanto, éstas se encuentran dentro del alcance de la presente invención, el
10 cual viene definido en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para calibrar un punto central de una herramienta (21) para un sistema de robot industrial (2) que comprende un sensor de haces cruzados (1) que tiene un primer haz (14a) y un segundo haz (14b) que forman un ángulo entre sí con un ángulo de vértice mayor de cero y se cruzan entre sí en un punto de intersección (R), que incluye:

(a) mover relativamente una primera parte (21a) de la citada herramienta y un sensor de haces cruzados (1) mediante dicho robot industrial (20) con un movimiento de traslación en una orientación (O) de modo que dicha primera parte (21a) de la citada herramienta (21) interrumpe respectivamente dicho primer haz (14a) y dicho segundo haz (14b) del citado sensor de haces cruzados (1);

(b) registrar una primera posición y una segunda posición de dicho robot industrial (20) durante las interrupciones de dicho primer haz (14a) y dicho segundo haz (14b) del citado sensor de haces cruzados (1) mediante dicha primera parte (21a) de la citada herramienta (21);

(c) mover relativamente una segunda parte (21b) de la citada herramienta (21) y el citado sensor de haces cruzados (1) mediante dicho robot industrial (20) con un movimiento de traslación mientras se mantiene dicha orientación (O) de modo que dicha segunda parte (21b) de la citada herramienta (21) interrumpe respectivamente dicho primer haz (14a) y dicho segundo haz (14b) del citado sensor de haces cruzados (1);

(d) registrar una tercera posición y una cuarta posición de dicho robot industrial (20) durante las interrupciones de dicho primer haz (14a) y dicho segundo haz (14b) del citado sensor de haces cruzados (1) mediante dicha segunda parte (21b) de la citada herramienta (21);

(e) calcular la orientación de la herramienta (Ω) teniendo en cuenta dicha primera posición, segunda posición, tercera posición y cuarta posición de dicho robot industrial (20), así como dicha dirección del primer haz (D_1) y dicha dirección del segundo haz (D_2); y

(f) mover relativamente la citada herramienta (21) y el citado sensor de haces cruzados (1) mediante dicho robot industrial (20) de modo que dicho punto central de la citada herramienta (21) interrumpe dicho punto de intersección (R) del citado sensor de haces cruzados (1) teniendo en cuenta dicha orientación de la herramienta (Ω) y la primera y la segunda posición o bien la tercera y la cuarta posición de dicho robot industrial (20).

2. Procedimiento para calibrar un punto central de una herramienta (21) para un sistema de robot industrial (2) que comprende un sensor de haces cruzados (1) que tiene un primer haz (14a) y un segundo haz (14b) que forman un ángulo entre sí con un ángulo de vértice mayor de cero y se cruzan entre sí en un punto de intersección (R), en el que una primera dirección del haz (D_1) y una segunda dirección del haz (D_2) están predeterminadas respecto a un sistema de coordenadas de la base del robot/mundial, incluyendo el procedimiento:

(a) mover relativamente una primera parte (21a) de la citada herramienta (21) y un sensor de haces cruzados (1) mediante dicho robot industrial (20) con un movimiento de traslación en una orientación (O) de modo que dicha primera parte (21a) de la citada herramienta (21) interrumpe dicho primer haz (14a) del citado sensor de haces cruzados (1), se mueve a lo largo de la primera dirección del haz (D_1) desde el punto de interrupción, e interrumpe dicho segundo haz (14b) del citado sensor de haces cruzados (1) en dicho punto de intersección (R) del citado sensor de haces cruzados (1);

(b) registrar una segunda posición de dicho robot industrial (20) en la que dicha primera parte (14a) de la citada herramienta (21) interrumpe dicho segundo haz (14b) del citado sensor de haces cruzados (1) en dicho punto de intersección (R) del citado sensor de haces cruzados (1);

(c) mover relativamente una segunda parte de la citada herramienta (21) y el citado sensor de haces cruzados (1) mediante dicho robot industrial (20) con un movimiento de traslación mientras se mantiene dicha orientación (O) de modo que dicha segunda parte (21b) de la citada herramienta (21) interrumpe dicho primer (14a)/segundo (14b) haz del citado sensor de haces cruzados (1), se mueve a lo largo de la primera (D_1)/segunda (D_2) dirección del haz desde el punto de interrupción e interrumpe dicho segundo (14b)/primer (14a) haz del citado sensor de haces cruzados (1) en dicho punto de intersección (R) del citado sensor de haces cruzados (1);

(d) registrar una cuarta posición de dicho robot industrial (20) en la que dicha segunda parte (21b) de la citada herramienta (21) interrumpe dicho segundo haz (14b) del citado sensor de haces cruzados (1) en dicho punto de intersección (R) del citado sensor de haces cruzados (1);

(e) calcular la orientación de la herramienta (Ω) teniendo en cuenta dicha segunda posición y dicha cuarta posición de dicho robot industrial (20); y

(f) mover relativamente la citada herramienta (21) y el citado sensor de haces cruzados (1) mediante dicho robot industrial (20) de modo que dicho punto central de la citada herramienta (21) interrumpe dicho punto de intersección (R) del citado sensor de haces cruzados (1) teniendo en cuenta dicha orientación de la herramienta (Ω) y la segunda posición o bien la cuarta posición de dicho robot industrial (20).

3. Procedimiento para calibrar un punto central de una herramienta (21) para un sistema de robot industrial (2), que incluye:

realizar dicho procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 para una primera ronda donde la citada herramienta (21) adopta una primera orientación de cuatro orientaciones diferentes respecto al citado sensor de haces cruzados;

5 repetir dicho procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, excepto la etapa (e) para una segunda, una tercera y una cuarta ronda donde la citada herramienta (21) adopta respectivamente una segunda, una tercera y una cuarta orientación (O2, O3, O4) de dichas cuatro orientaciones diferentes respecto al citado sensor de haces cruzados (1) y, respecto a la segunda, la tercera y la cuarta ronda de dicha orientación de la herramienta (Ω) considerada en la etapa (f) es igual que la calculada por la etapa (e);

10 para cada una de dichas cuatro rondas, registrar una quinta, una sexta, una séptima y una octava posición de dicho robot industrial (20) respectivamente durante las interrupciones de dicho punto de intersección (R) del primer haz (14a) y el segundo haz (14b) del citado sensor de haces cruzados (1) por dicho punto central de la citada herramienta (21); y

15 calcular la posición del punto central de la herramienta teniendo en cuenta la quinta, la sexta, la séptima y la octava posición de dicho robot industrial (20);

en el que:

la citada herramienta (21) está acoplada a la muñeca (200) de dicho robot industrial (20); y

el citado sensor de haces cruzados (1) se fija respecto a dicho robot industrial (20) durante dicho movimiento relativo entre el citado sensor de haces cruzados (1) y la citada herramienta (21).

20 4. Procedimiento para calibrar un punto central de una herramienta (21) para un sistema de robot industrial (2), que incluye:

25 realizar dicho procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 para una primera ronda donde la citada herramienta (21) adopta una primera orientación (O1) de cuatro orientaciones diferentes (O1, O2, O3, O4) respecto al citado sensor de haces cruzados (1);

30 repetir dicho procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, excepto para la etapa (e) para una segunda, una tercera y una cuarta ronda donde la citada herramienta (21) adopta respectivamente una segunda, una tercera y una cuarta orientación (O2, O3, O4) de dichas cuatro orientaciones diferentes (O1, O2, O3, O4) respecto al citado sensor de haces cruzados (1) y, respecto a la segunda, la tercera y la cuarta ronda, dicha orientación de la herramienta (Ω) considerada en la etapa (f) es igual que la calculada por la etapa (e);

35 para cada una de dichas cuatro rondas, registrar una quinta, una sexta, una séptima y una octava posición de dicho robot industrial (20) respectivamente durante las interrupciones de dicho punto de intersección (R) del primer haz (14a) y el segundo haz (14b) del citado sensor de haces cruzados (1) por dicho punto central de la citada herramienta (21); y

calcular la posición del punto central de la herramienta teniendo en cuenta la quinta, la sexta, la séptima y la octava posición de dicho robot industrial (20);

en el que:

el citado sensor de haces cruzados (1) está acoplado a la muñeca (200) de dicho robot industrial (20);

40 la citada herramienta (21) se fija respecto a dicho robot industrial (20) durante dicho movimiento relativo entre el citado sensor de haces cruzados (1) y la citada herramienta (21).

5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por el hecho de que:

45 dicha orientación de la herramienta (Ω) se representa respecto a dicho sistema de coordenadas de la muñeca del robot industrial;

dicha primera, segunda, tercera y cuarta posición de dicho robot industrial (20) se representan respecto a dicho sistema de robot industrial (2); y

50 dichas quinta, sexta, séptima y octava posición de dicho robot industrial (20) se representan respecto a dicho sistema de robot industrial (2).

6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado por el hecho de que:

55 dicha orientación de la herramienta (Ω) se representa respecto a dicho sistema de coordenadas de robot industrial;

dicha primera, segunda, tercera y cuarta posición de dicho robot industrial (20) se representan respecto a dicho sistema de robot industrial (2); y

dicha quinta, sexta, séptima y octava posición de dicho robot industrial (20) se representan respecto a dicho sistema de robot industrial (2).

60 7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 o 3, caracterizado por el hecho de que:

la primera parte (21a) y la segunda parte (21b) de la citada herramienta (21) se disponen por separado en una parte lineal de la citada herramienta (21).

8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 o 3, caracterizado por el hecho de que:
cada una de dicha primera, segunda, tercera y cuarta posición de dicho robot industrial (20) se determina promediando la posición de la respectiva en el instante de la interrupción del haz y en de la liberación posterior del haz.

5
9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 o 3, caracterizado por el hecho de que:
cada una de dicha primera, segunda, tercera y cuarta posición de dicho robot industrial (20) se determina promediando la posición de la respectiva en el instante de la interrupción del haz desde un lado y la desde el lado opuesto.

10
10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 o 3, en el que:
cada una de dicha primera, segunda, tercera y cuarta posición de dicho robot industrial (20) se determina promediando la posición de la respectiva en el instante de liberación del haz desde un lado y la desde el lado opuesto.

15
11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 o 3, caracterizado por el hecho de que:
la citada herramienta (21) es un sensor de desplazamiento lineal.

20
12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 o 3, caracterizado por el hecho de que:
la citada herramienta (21) se reemplaza por un elemento de forma lineal que va montado en un periférico de dicho sistema de robot industrial (2).

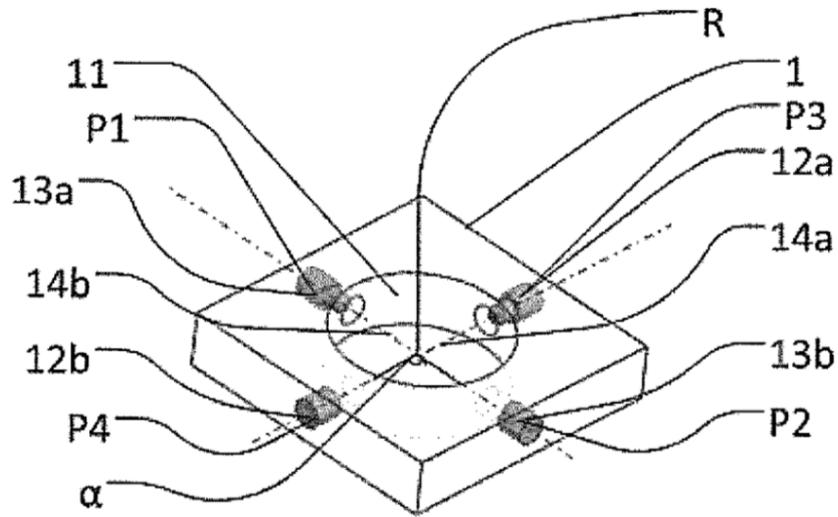


Figura 1

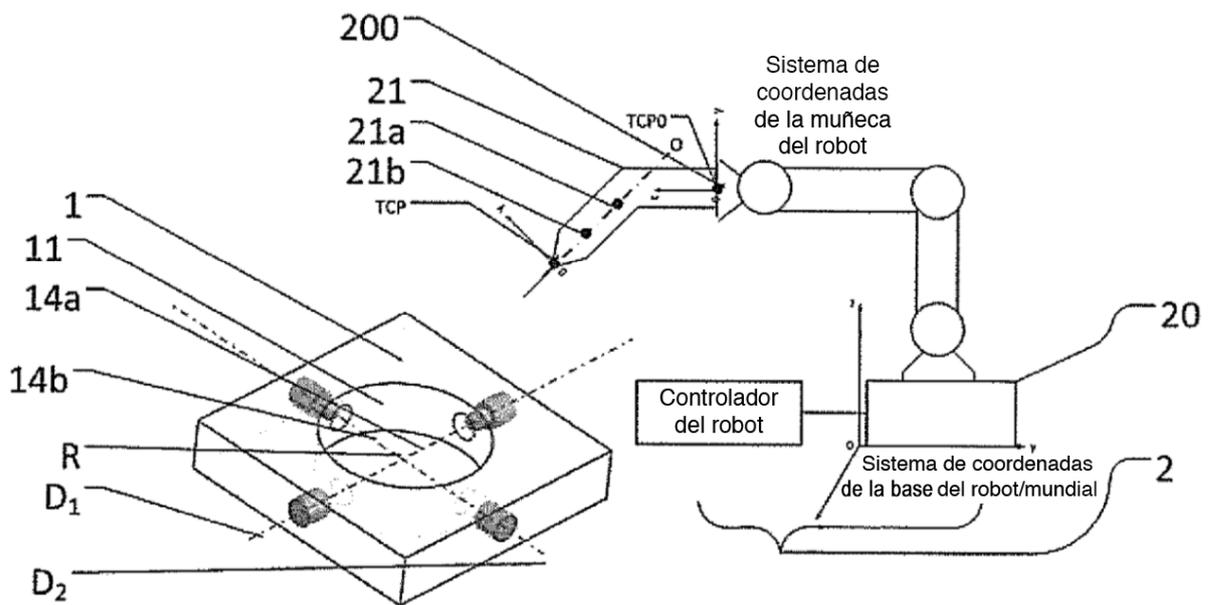


Figura 2A

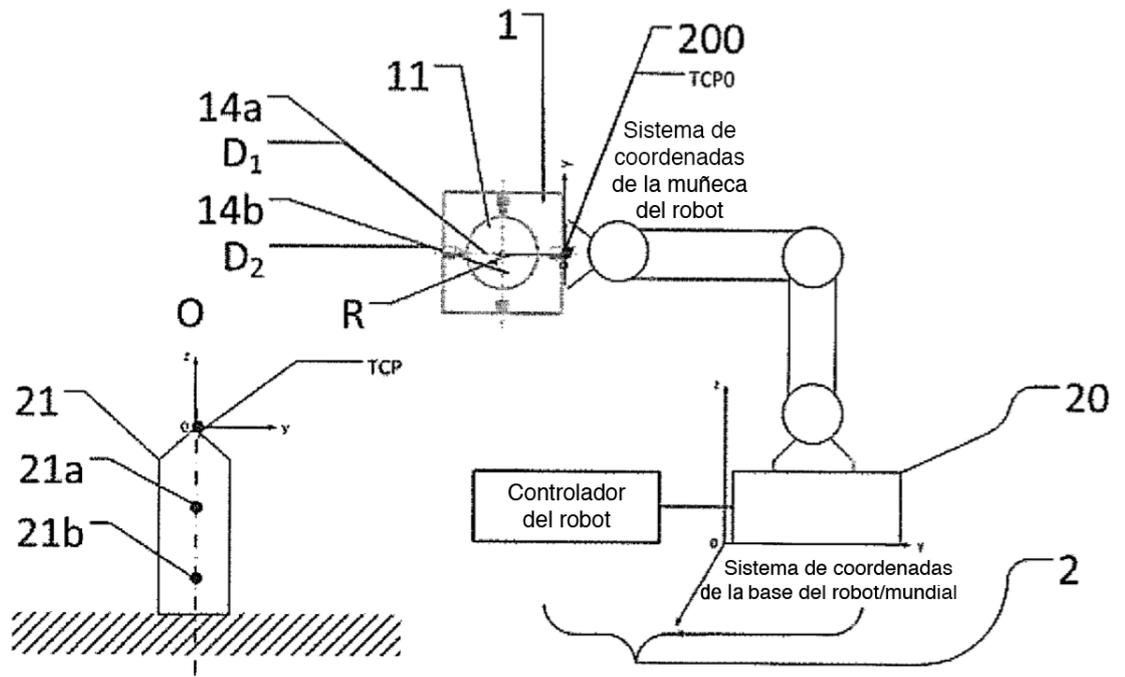


Figura 2B

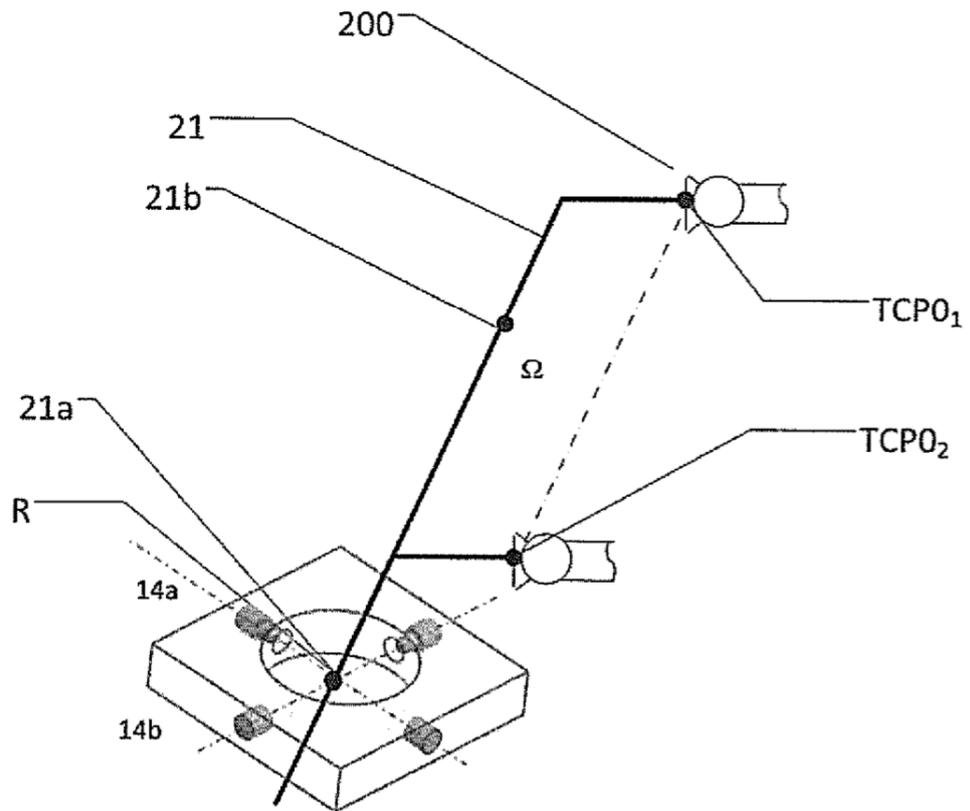


Figura 3

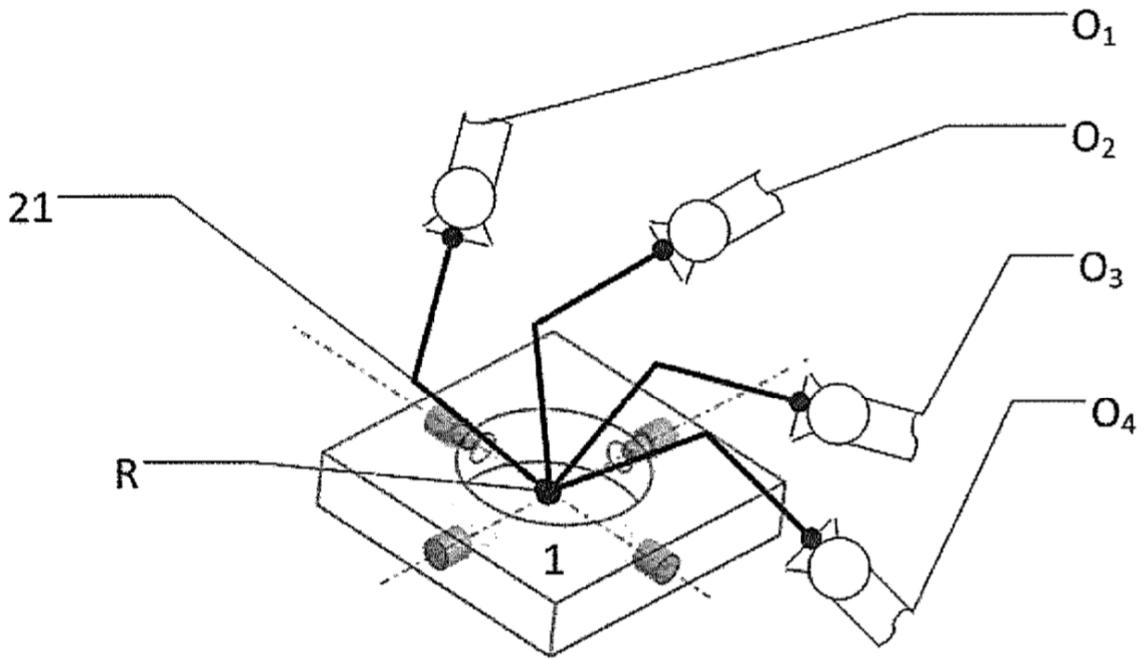


Figura 4

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 *Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.*

Documentos de patentes citados en la descripción

- 10 • US 7684898 B [0004] • US 2008234863 A1 [0006]
• DE 102007020604 A1 [0005]