



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 348 152**

51 Int. Cl.:
B25J 9/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05011664 .9**

96 Fecha de presentación : **31.05.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1602456**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.12.2005**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para el control de manipuladores.**

30 Prioridad: **02.06.2004 DE 10 2004 026 813**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.11.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.11.2010

73 Titular/es: **Kuka Roboter GmbH**
Zugspitzstrasse 140
86165 Augsburg, DE

72 Inventor/es: **Bischoff, Rainer**

74 Agente: **Mir Plaja, Mireia**

ES 2 348 152 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

5 [0001] La invención se refiere a un procedimiento para el control de una pluralidad de manipuladores, tales como robots industriales multiaxiales, según los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 2. Además se refiere la invención a un dispositivo para el mejoramiento de propiedades de precisión de manipuladores.

10 [0002] De los varios manipuladores mencionados al menos uno debe actuar como manipulador de referencia y al menos otro debe actuar como manipulador copiator, que debe adoptar las propiedades de posicionamiento y recorrido de trayectorias del manipulador de referencia. Para el mejoramiento de la precisión de posicionamiento de los manipuladores, y en particular de los robots industriales multiaxiales, en el pasado los esfuerzos iban dirigidos a elaborar modelos cada vez más exactos de los manipuladores. Los parámetros de tales modelos se determinan además a lo largo de una operación de puesta a medidas, que normalmente se efectúa una vez en la industria del fabricante del manipulador. Típicamente se fijan aquí a una brida de mano del robot unos medios auxiliares que permiten una exacta determinación de la situación, es decir, de una posición y orientación, que habitualmente y también de aquí en adelante se denominan para resumir "pose", de la brida en el espacio. Por ejemplo se usan aquí placas de referencia con características conocidas detectables por un sistema de seguimiento por cámara o por láser. Como alternativa se usan otros sistemas de medición conocidos para el experto en la materia, tales como sistemas de medición con hilos o sistemas similares.

15 [0003] Debido a las inexactitudes que están por regla general presentes, como son p. ej. las elasticidades de las transmisiones y los elementos estructurales del robot, así como su falta de exactitud dimensional, la anteriormente descrita y altamente precisa medición externa de la posición de la brida da un valor distinto del de una medición interna de valores posicionales del manipulador efectuada paralelamente, por ejemplo por medio de transductores angulares integrados en sus articulaciones, pudiendo dicha medición interna para la determinación de la pose estar en conexión con un subsiguiente cálculo de modelo, o sea con la llamada transformación hacia adelante. Las desviaciones derivadas

25

de la diferencia de posición determinada respectivamente en distintos lugares del espacio de trabajo de un manipulador se usan a continuación para determinar un llamado “modelo de robot absolutamente exacto”, que es considerablemente más exacto que un “modelo estándar” teórico del robot. De esta manera, la precisión de posicionamiento absoluta de un robot industrial multiaxial de unos pocos milímetros usando el modelo estándar puede mejorarse para pasar a ser de menos de un milímetro usando un modelo de robot absolutamente exacto.

[0004] En la publicación de la solicitud de patente EP-A-1 604 789 de la misma solicitante (“Procedimiento y dispositivo para el mejoramiento de la precisión de posicionamiento de un manipulador”) están descritos procedimientos y dispositivos para la determinación de la anteriormente descrita precisión absoluta de un robot industrial multiaxial, donde en particular según un sistema de medición externo para la minimización de las desviaciones el manipulador se lleva a una pose final que en esencia corresponde a una pose preestablecida y a continuación se usan valores posicionales internos del manipulador en la pose final para una parametrización del modelo absolutamente exacto. De esta manera puede mejorarse una precisión de posicionamiento de manipuladores sobre la base de modelos de control absolutamente exactos para el manipulador, posibilitándose en particular el cambio de un robot cualquiera en una celda de robots (celda de trabajo) por otro robot.

[0005] Un importante campo de aplicación de tales robots absolutamente exactos es la cooperación de varios robots. En el curso de una cooperación de este tipo trabajan dos o más robots al mismo tiempo en una pieza de trabajo, sujetando y moviendo p. ej. un robot la pieza de trabajo, mientras el otro robot efectúa trabajos de soldadura en la pieza de trabajo. Como alternativa, por ejemplo dos robots pueden transportar al mismo tiempo un objeto, o bien un robot entrega a otro robot un objeto durante un movimiento. Puesto que en principio se parte de la base de que un robot medido de manera absolutamente exacta puede llegar a cada punto de su espacio de trabajo con una precisión tolerable, en la práctica se sigue por regla general que una medición de un sistema de coordenadas de base para un robot con respecto a otro robot basta para posibilitar un movimiento cooperativo deseado.

[0006] Se ha comprobado sin embargo que incluso la medición absolutamente exacta de robots no basta por regla general para permitir el uso sin problemas de varios robots cooperadores: Las más pequeñas desviaciones con respecto a las tolerancias exigidas suponen por ejemplo grandes fuerzas en una pieza de trabajo llevada por dos robots, en las herramientas y en los propios robots, lo cual puede conducir a que sobrevengan graves daños. Un posible planteamiento consiste en compensar las tolerancias de los robots, de las herramientas y de los componentes mediante un acoplamiento elástico de las herramientas, lo cual sin embargo no es realizable por razones relacionadas con los costes. Además se tiene que debido a la cada vez mayor complejidad de los casos de aplicación de robots cooperadores mediante el adiestramiento (programación en línea) o

postadiestramiento de un programa de control de robots confeccionado fuera de línea no puede lograrse de modo y manera rentable un deseado y exacto desarrollo del programa.

5 **[0007]** El impreso de S.P. Ananthanarayanan et al. "Identification of Kinematic Parameters of Multiple Closed Chain Robotic Manipulators Working in Coordination", Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation Nice, 12-14 de mayo de 1992, Los Alamitos, IEEE Comp. Soc. Press, US, Bd. Vol. 3 Conf. 8, 12 de mayo de 1992 (1992-05-12), páginas 358-363, ISBN: 0-8186-2720-4, describe un procedimiento de calibración cinemática para manipuladores con cadenas cinemáticas cerradas que trabajan de manera coordinada en un entorno multirrobótico. Mediante el procedimiento mencionado
10 se calibra cada robot individual como tal. Para la calibración se aplica un procedimiento numérico multidimensional para la determinación de una raíz que se comporta mejor que la técnica de Newton-Raphson tradicionalmente utilizada. No se hace un aprovechamiento de los datos obtenidos para un robot para la calibración de otro robot, puesto que los robots se calibran individualmente.

15 **[0008]** La invención persigue la finalidad de posibilitar un eficaz funcionamiento de manipuladores cooperadores tales como robots industriales multiaxiales, evitando las desventajas que se han expuesto anteriormente.

[0009] Esta finalidad es alcanzada según la invención mediante procedimientos para el control de una pluralidad de manipuladores tales como robots industriales multiaxiales,
20 con las características distintivas de la reivindicación 1 y de la reivindicación 2.

[0010] La finalidad mencionada es además alcanzada mediante dispositivos según la invención para el mejoramiento de propiedades de precisión de manipuladores tales como robots industriales multiaxiales, con las características distintivas de la reivindicación 15 o de la reivindicación 17.

25 **[0011]** La idea central de la presente invención es la de que un sistema de medición (externo) determina la posición relativa de manipuladores entre sí, y de que a continuación los datos de modelo de un manipulador son adaptados de forma tal que se consigue tanto una compensación de sus propios errores como una compensación de los de otro manipulador. Esta forma de proceder implica trasladar una copia de propiedades de precisión de un robot a al menos un robot o a todos los otros robots existentes. Esta forma
30 de proceder se diferencia con ello fundamentalmente de las formas de proceder anteriormente conocidas que se practican en la actualidad, en las cuales se "igualan" tan sólo aproximadamente todos los robots participantes mediante una medición individual absolutamente exacta.

35 **[0012]** Según la invención las propiedades de precisión de un robot se transfieren o se trasladan por copia a otro robot. Esto puede hacerse mediante una forma de proceder iterativa para la determinación de un modelo de errores cinemáticos. El robot de referencia no necesita modelo de errores alguno, puesto que el robot copiador compensa con su modelo de errores tanto los errores del robot de referencia como también sus propios errores.
40 La invención implica así la compensación de errores, o sea la consciente

superposición de inexactitudes cinemáticas para la reproducción (para la copia) de las propiedades de precisión del robot de referencia, es decir que están siempre implicados al menos dos robots, y está del todo permitido agrandar los errores cinemáticas, cuando esto sirva precisamente para copiar o clonar las propiedades de posicionamiento de otro robot.

5 Los robots de referencia y copiadores van al mismo sitio (teórico o real) en el espacio, para poder sencillamente copiar las propiedades de precisión.

[0013] Mediante la invención pueden calibrarse a un sistema de coordenadas universales por ejemplo varios robots que estén en una cadena, calibrando al sistema de coordenadas universales el primer robot como robot medido de manera absolutamente exacta,

10 adoptando el segundo entonces las propiedades del primer robot, adoptando el tercero entonces las propiedades del segundo, etc. Con ello queda garantizado que también los robots que estén muy alejados del origen de un sistema de coordenadas universales pueden ser calibrados al mismo con las ventajas de la posibilidad de programar fuera de línea todo el grupo de robots que de ello se derivan.

[0014] Según un primer perfeccionamiento del procedimiento según la invención, para la copia de propiedades de precisión está previsto ir mediante el manipulador copiadore a las primeras poses teóricas determinadas del manipulador de referencia. Para lograr como alternativa una aún mejor coincidencia de las propiedades de precisión, otro perfeccionamiento del procedimiento según la invención prevé que mediante el

20 manipulador copiadore se irá a las primeras poses reales determinadas del manipulador de referencia. Además puede estar en particular previsto que el movimiento del manipulador copiadore se haga de forma tal que el control se efectúe por medio del sistema de medición externo.

[0015] Un perfeccionamiento preferido del procedimiento según la invención permite que el funcionamiento del manipulador de referencia y del manipulador copiadore tengan lugar en esencia al mismo tiempo, siéndole transmitidas al manipulador copiadore las poses teóricas y/o reales del manipulador de referencia por medio de una conexión adecuadamente configurada, y en particular por medio de una conexión de datos, para que así sea minimizable un tiempo necesario para la ejecución del procedimiento según la

30 invención. El manipulador copiadore y el manipulador de referencia pueden además encontrarse en celdas de trabajo separadas pero idénticas, o pueden funcionar en las mismas, para excluir en gran medida las influencias sistemáticas en las propiedades de precisión.

[0016] Según un perfeccionamiento del procedimiento según la invención es sin embargo también posible medir los robots a medir en su entorno y constelación de trabajo real en los que también deban cooperar con posterioridad.

35

[0017] Para ello está previsto que el manipulador copiadore lleve el sistema de medición externo, con lo cual éste último será movido por el manipulador copiadore juntamente con el mismo, teniendo preferiblemente lugar entre el manipulador de referencia y el

40 manipulador copiadore un acoplamiento mecánico forzoso por medio del sistema de

medición externo, que será p. ej. un sensor de momentos de fuerza. Como alternativa, la determinación de la pose puede ser también efectuada ópticamente por medio del sistema de medición externo.

5 **[0018]** En particular cuando el manipulador de referencia y el manipulador copiador funcionen en puntos en el tiempo que presenten un desplazamiento relativo entre sí, o sea que funcionen p. ej. uno tras otro en la misma celda de trabajo y en conexión con el mismo dispositivo de control, le serán transmitidas en forma almacenada, y por ejemplo le serán transmitidas a un soporte de datos cambiable al manipulador copiador las poses teóricas y/o reales del manipulador de referencia, de tal manera que un adicional perfeccionamiento preferido del procedimiento según la invención prevé que las primeras 10 poses teóricas y reales del manipulador de referencia sean almacenadas tras su determinación.

15 **[0019]** Para aplicaciones especiales, por ejemplo para emular una “cadena de producción” o para la copia de propiedades de precisión entre un mayor número de manipuladores, está previsto según la invención que en primer lugar se seleccione un primer manipulador como manipulador de referencia y un segundo manipulador como manipulador copiador, que a continuación el segundo manipulador actúe como manipulador de referencia y un adicional manipulador actúe como manipulador copiador, etc.

20 **[0020]** Correspondientes perfeccionamientos de un dispositivo según la invención prevén que al menos un sistema de medición externo esté dispuesto de manera estacionaria y en conexión operativa con una zona de trabajo de un manipulador.

25 **[0021]** El sistema de medición externo está según un perfeccionamiento sumamente preferido del dispositivo según la invención configurado como sistema de medición que mide ópticamente, pudiendo estar el sistema de medición óptica configurado para la determinación de todos los grados de libertad de una pose de los manipuladores, por ejemplo en el curso de un aprendizaje como sistema de procesamiento de imágenes estéreo. Con ello es realizable de manera en sí conocida, rápida y altamente precisa una determinación de las poses reales en los manipuladores.

30 **[0022]** Según la clase de la medición a realizar, los manipuladores pueden encontrarse en celdas de trabajo comunes y/o separadas, estando en particular en el caso de las celdas de trabajo separadas y según un perfeccionamiento preferido del dispositivo según la invención previstos medios de transmisión para la transmisión de datos entre manipuladores, y en particular para la transmisión de poses teóricas y/o reales.

35 **[0023]** Además, un dispositivo según la invención puede presentar medios de almacenamiento al menos para poses teóricas y/o reales de un manipulador, como ya se ha mencionado anteriormente.

[0024] Adicionales ventajas y propiedades de la invención se desprenden de la siguiente descripción de ejemplos de realización a base del dibujo. Las distintas figuras muestran lo siguiente:

40 La Fig. 1, esquemáticamente dos manipuladores en forma de robots industriales

multiaxiales con dispositivos de control y sistemas de medición externos;

la Fig. 2, un diagrama de bloques de un dispositivo según la invención;

la Fig. 3a, esquemáticamente una placa de medición dispuesta en una brida de mano del robot;

5 la Fig. 3b, esquemáticamente una determinación de desviaciones efectuada a lo largo de la ejecución del procedimiento según la invención;

la Fig. 4, un organigrama de una primera variante del procedimiento según la invención;

la Fig. 5, dos manipuladores de los cuales uno lleva un sistema de medición externo que es movido juntamente con el mismo; y

10 la Fig. 6, un organigrama de una segunda variante del procedimiento según la invención.

[0025] La Fig. 1 muestra esquemáticamente dos manipuladores en forma de robots industriales multiaxiales 1, 2 con sendos dispositivos de control dedicados 3, 4. Además muestra la Fig. 1 dos sistemas de medición externos 5, 6 que cooperan con sendos robots 1, 2 y están aquí realizados en forma de sistemas de cámara óptica que como el correspondiente robot 1, 2 están en conexión operativa con el respectivo dispositivo de control 3, 4.

15

[0026] Los dispositivos de control 3, 4 pueden tener sus sistemas de control conectados entre sí (lo cual está representado en la Fig. 1 mediante una línea punteada de conexión T), o bien pueden incluso formar una unidad técnica; y lo mismo es válido para los sistemas de medición externos 5, 6 (véase la Fig. 2).

20

[0027] La forma menciona en último lugar con un sistema de medición externo 5, 6 común y/o un dispositivo de control 3, 4 común es en particular relevante cuando ambos manipuladores 1, 2 se encuentran en una celda de trabajo común AZ1, como está simbolizado en la Fig. 1 mediante el rectángulo dibujado con línea de trazos. Como alternativa, ambos manipuladores 1, 2 pueden estar también sin embargo dispuestos en celdas de trabajo separadas AZ2, AZ3, como está representado en la Fig. 1 mediante ambos rectángulos dibujados con líneas de trazos y puntos. En cuanto a la separación de las celdas de trabajo AZ2, AZ3, puede tratarse de una separación en el espacio y/o una separación en el tiempo, es decir que los robots 1, 2 pueden encontrarse al mismo tiempo o bien en puntos en el tiempo desplazados entre sí en celdas de trabajo espacialmente separadas, o bien pueden funcionar uno tras otro (secuencialmente) en una misma celda de trabajo. En particular en el último caso los manipuladores 1, 2 pueden también funcionar bajo el control de un mismo dispositivo de control 3 o 4.

25

30

[0028] Los robots 1, 2 poseen cada uno una cantidad de miembros de robot 1.1a-d y 2.1a-d que en la representación elegida están ilustrados tan sólo esquemáticamente y están conectados por medio de correspondientes articulaciones 1.2a-d y 2.2a-d. En un extremo distal 1.3, 2.3 de un brazo de robot formado respectivamente por los miembros de robot anteriormente mencionados está dispuesta una respectiva brida de mano 1.4, 2.4 a la que está fijada una placa de medición 7, 8 (véase la Fig. 3a). Como se representa más adelante en la Fig. 2, los robots 1, 2 presentan además sendos sistemas de medición

40

internos 1.5, 2.5 para valores posicionales del robot 1, 2, estando dichos sistemas de medición internos realizados por ejemplo en forma de goniómetros contenidos en las articulaciones de robot 1.2a-d, 2.2a-d.

5 **[0029]** Los robots 1, 2 están representados en la Fig. 1 cada uno en dos distintas poses P1, P2 y P1', P2'. La pose P1, P1' (dibujada con líneas continuas en la Fig. 1) significa una pose real del robot 1 y 2, siendo dicha pose real determinable según la invención por medio del sistema de medición externo 5 y 6. La pose P2, P2' (representada con líneas punteadas en la Fig. 1) significa aquella pose en la que el respectivo robot 1, 2 cree estar sobre la base del sistema de medición interno 1.5, 2.5, o sea por ejemplo sobre la base de los goniómetros que están en sus articulaciones 1.2a-d, 2.2a-d.

10 **[0030]** Los sistemas de medición externos 5, 6 presentan para la medición de las poses P1, P1' de los robots 1, 2 sendas zonas de medición B, B', que en la Fig. 1 están definidas mediante sus límites de zona (líneas de trazos). Dentro de las zonas B, B' el sistema de medición externo 5, 6 puede determinar una pose P1, P1' del robot 1, 2 por medio de la posición de la placa de medición 7, 8.

15 **[0031]** Según la Fig. 1, mediante el sistema de medición externo 5, 6 son determinables desviaciones de pose del respectivo robot 1, 2 entre la pose teórica ideal P2, P2' y la pose real P1, P1' a la que en realidad se va, siendo dichas desviaciones de pose utilizables en particular según un procedimiento descrito en la publicación de solicitud de patente EP-A-1 604 789 del mismo solicitante para la determinación de un modelo paramétrico absolutamente exacto para el respectivo robot 1, 2.

20 **[0032]** La Fig. 2 muestra a base de un diagrama de bloques la cooperación según la invención de los robots 1, 2 y de los dispositivos de control 3, 4 que están en conexión con los mismos con los sistemas de medición externos 5, 6, que en el ejemplo de realización de la Fig. 2 están representados como unidad técnica. Los dispositivos de control 3, 4 están en conexión con el respectivo robot 1, 2, en particular para el control del movimiento del mismo mediante señales de control S, S'. Además hay sendas conexiones del dispositivo de control 3, 4 al sistema de medición externo 5, 6 a través de las cuales son transmisibles en particular valores de medición de pose M, M' de los sistemas de medición externos 5, 6 a los dispositivos de control 3, 4, pero en dirección inversa también órdenes de control para la realización de una operación de medición por parte del sistema de medición externo 5, 6 o cosa similar.

25 **[0033]** Los dispositivos de control 3, 4, que tienen en esencia idéntica forma constructiva y de los cuales en la Fig. 2 y en aras de la brevedad está representado detalladamente tan sólo uno 3, comprenden al menos unos medios de almacenamiento 3.1, con respecto a los cuales puede tratarse en particular de memorias masivas no volátiles.

30 **[0034]** Además contienen los dispositivos de control 3, 4 sendos dispositivos comparadores 3.2 y sendos dispositivos de cálculo o modelización 3.3, que según el ejemplo de realización que se muestra están realizados como unidad de soporte físico (hardware) en forma de un microprocesador 3.4 (líneas punteadas en la Fig. 2). Están

además representados unos medios de control 3.5, pudiendo también éstos últimos estar configurados como unidad con los medios comparadores 3.2 y el dispositivo de cálculo o modelización 3.3 (lo cual no está representado).

[0035] Se aclaran detalladamente más adelante las funciones de los componentes individuales de los dispositivos de control 3, 4 dentro del marco de la presente invención.

[0036] La Fig. 3a muestra únicamente a título de ejemplo y de manera esquemática una vista frontal de la placa de medición 7, 8 de la Fig. 1 tomada poco más o menos en la dirección de la mirada del sistema de medición externo 5, 6. La placa de medición 7, 8 es en el ejemplo de realización que se muestra de forma cuadrada y presenta en su lado delantero 7.1, 8.1 una cantidad de marcaciones en especial circulares 7.2, 8.2 que como los puntos de un dado están dispuestas en el cuadrado para representar el número cuatro. Las marcaciones 7.2, 8.2 poseen todas el mismo diámetro D. De esta manera, por medio de una posición absoluta de la placa de medición 7, 8 determinada por medio del sistema de medición externo 5, 6 (véase la Fig. 1) sobre la base de posiciones absolutas de las marcaciones 7.2, 8.2 y de variaciones aparentes del diámetro D de marcación a marcación puede determinarse una pose P1, P1' del robot 1, 2. Son posibles otros procedimientos para la determinación de la pose 6D de una placa de medición.

[0037] Esto está representado esquemáticamente en parte en la Fig. 3b. Los rectángulos en la Fig. 3b indican respectivamente la zona de medición B, B' del sistema de medición externo 5, 6 (véase la Fig. 1). Además está representada en la Fig. 3b una imagen tomada mediante la cámara de uno de los sistemas de medición externos 5, 6. Además de la placa de medición real 7, 8 está dibujada en la Fig. 3b también una adicional placa de medición virtual 7', 8' (dibujada con línea punteada) que simboliza una pose preestablecida del robot 1, 2, es decir, una pose a la que debe llevarse el robot 1, 2, o sea la placa de medición 7, 8, con sujeción a los medios de control 3.5 que están en el dispositivo de control 3 (Fig. 2).

[0038] Las flechas en la Fig. 3b simbolizan desviaciones Δ de la pose real P1, P1' (placa de medición 7, 8) con respecto a la pose preestablecida (placa de medición 7', 8') como las determinadas en el ejemplo de realización que se muestra por medio de los medios comparadores 3.2 del dispositivo de control 3, una vez que el sistema de medición externo 5, 6 ha transmitido todos los datos de medición M, M' al dispositivo de control 3, 4, como está representado en la Fig. 2. Las marcaciones 7.2, 8.2 en la placa de medición 7, 8 están en la Fig. 3b en particular representadas con distintos diámetros, con lo cual mediante un adecuado procesamiento de imágenes de los datos de medición M, M' de la zona de medición B, B' del sistema de medición externo 5, 6, por ejemplo en los medios comparadores 3.2 del dispositivo de control 3 preparados en forma de soporte lógico informático (software), son determinables las desviaciones reales Δ en todos los grados de libertad (que son aquí seis) del robot 1, 2.

[0039] Como se describe en la ya mencionada solicitud de patente paralela del mismo solicitante, las desviaciones Δ así determinadas pueden ser a continuación usadas por los

medios de control 3.5 del dispositivo de control 3 para por medio de adecuadas señales de control S, S' llevar al robot 1, 2 a una pose final en la que la placa de medición real 7, 8 y la placa de medición virtual 7', 8', o sea sus imágenes, llegan a quedar en congruencia dentro de una tolerancia de desviación preestablecida por el dispositivo de control 3.

5 **[0040]** Se describe a continuación en primer lugar a base de la Fig. 4 el desarrollo de un primer procedimiento según la invención para el control de una pluralidad de manipuladores, en particular para la copia de propiedades de precisión de un robot.

10 **[0041]** Tras el inicio del procedimiento en el paso S1, el primer robot 1 representado en la Fig. 1, que según la invención sirve de robot de referencia, va en un paso preliminar S2 con su placa de medición 7 a una pose teórica P2 preestablecida por su dispositivo de control 3 dentro de su espacio de trabajo y la almacena en los medios de almacenamiento 3.1. La pose a la que hay que ir puede ser preestablecida en el curso de una operación de medición por un generador de poses (no ilustrado), o bien puede derivarse de aquellos programas de control que el robot 1 tiene que procesar en el dispositivo de control 3 durante su funcionamiento propiamente dicho. En un subsiguiente paso S3 se determina por medio del sistema de medición externo 5 la posición de la placa de medición 7 en el espacio. La pose real así determinada de la placa de medición 7, o sea del robot 1, en el espacio es asimismo almacenada en los medios de almacenamiento 3.1. A continuación tiene lugar en el paso S4 una interrogación sobre si se ha ido a suficientes puntos de medición (poses de medición). Si a esta interrogación se responde afirmativamente (sí), se prosigue el procedimiento con el paso S5. En caso contrario (no), el procedimiento regresa al paso S2.

20 **[0042]** En el paso S5, el robot 2 según la Fig. 1, también denominado de aquí en adelante robot copiador, pasa por las de una lista de las poses (puntos) almacenadas por el robot de referencia 1, siendo llevado por su dispositivo de control 4 en primer lugar a la primera pose teórica almacenada del robot de referencia (y a continuación y a lo largo de una adicional iteración a cada punto adicional de la lista). En la pose a la que se ha ido mediante el robot copiador 2 se determina a continuación en el paso S6 con ayuda del sistema de medición externo 6 de nuevo una pose efectiva (pose real) de la placa de medición 8. A partir de las desviaciones Δ (errores) que se dan análogamente a la Fig. 3b en las mencionadas mediciones en el paso S3 y en el paso S6 puede determinarse en el paso S7 un modelo paramétrico para el robot copiador 2 en el dispositivo de cálculo 3.3 del dispositivo de control 3, que a continuación actúa según la invención como dispositivo de modelización, o en correspondientes medios previstos en el dispositivo de control 4. Este modelo paramétrico conduce en su ulterior aplicación a que el robot copiador 2 adopta no una pose originalmente preestablecida por su dispositivo de control 4, sino la pose P1 a la que ha llegado realmente el robot de referencia 1. De esta manera, el anteriormente mencionado modelo absolutamente exacto del robot copiador 2 compensa simultáneamente tanto los errores propios como también los errores del robot de referencia 1. Con ello, el robot copiador 2 va al seguir funcionando exactamente a aquellos

sitios (poses) a los que también va o iría el robot de referencia 1.

[0043] Por último tiene lugar según la Fig. 4 en el paso S8 una interrogación sobre si se han procesado todos los puntos de medición de la lista. En caso afirmativo (sí), el procedimiento termina en el paso S9, y en caso contrario (no) se prosigue el procedimiento con el paso S5.

[0044] La Fig. 4 muestra representándolo con líneas de trazos (pasos S6', S7' del procedimiento) un adicional perfeccionamiento alternativo del procedimiento según la invención. Aquí en primer lugar los pasos S1-S5 del procedimiento corresponden a los ya anteriormente descritos. Al comienzo del paso S6' el robot copiator 2 se encuentra entonces nominalmente, es decir, según la información interna de valores posicionales de su dispositivo de control 4, en la misma posición como anteriormente el robot de referencia 1. Con ayuda de un algoritmo de búsqueda local, y preferiblemente de un procedimiento de "servorregulación visual" basado en imágenes según la Fig. 3b, en el cual la placa de medición 8 del robot copiator 2 es desplazada en la zona de medición B' del sistema de medición externo 6 con sujeción al sistema de medición externo 6 para la minimización de las desviaciones Δ , puede posicionarse en el espacio al robot copiator 2 de tal forma que su pose corresponda en esencia exactamente a la pose real del robot de referencia 1 determinada con el sistema de medición externo 5. La placa de medición 7 del robot de referencia 1 medida realmente corresponde además por ejemplo a la placa de medición virtual 8' que se muestra en la Fig. 3b para el robot copiator 2.

[0045] El procedimiento del que se ha dado anteriormente una idea general puede usarse en sus rasgos esenciales también en manipuladores individuales para la confección de modelos paramétricos absolutamente exactos, lo cual ha sido publicado en detalle en la ya citada solicitud de patente de la misma solicitante, por lo cual se hace en tal medida referencia a dicha publicación.

[0046] Con ello se cumple para el siguiente paso S7' del procedimiento que las posiciones espaciales a las que se va por medio del robot copiator 2 son ahora determinables directamente por medio de su propio sistema de medición interno 2.5 (Fig. 2). Con ello, análogamente al paso S7 del procedimiento anteriormente descrito, con ayuda de un modelo de robot absolutamente exacto a determinar puede compensarse el error con respecto al robot de referencia 1. Una aplicación de este modelo conduce entonces en el futuro a que el robot 2 adopta no una pose originalmente preestablecida por su unidad de control 4, sino una posición realmente alcanzada por el robot 1, es decir que el modelo paramétrico (absolutamente exacto) del robot copiator 2 compensa tanto los errores propios como también los del robot de referencia 1 y en el posterior funcionamiento irá entonces exactamente a los sitios a los que también va o iría el robot de referencia 1.

[0047] A continuación se prosigue el procedimiento según la segunda alternativa con el paso S8 del procedimiento ya anteriormente aclarado.

[0048] En general puede manifestarse con respecto a ambas clases de procedimiento anteriormente descritas que el robot copiator 2 puede ponerse en lugar del robot de

referencia 1 en la misma celda de medición o de trabajo y además puede hacerse funcionar también con el mismo dispositivo de control 3, 4 como el robot de referencia 1. Esto está representado en la Fig. 1 a base de las celdas de trabajo AZ2, AZ3 separadas (en el tiempo). Como alternativa, el robot copiator 2 puede encontrarse en una celda idéntica construida paralelamente a la celda de medición o de trabajo del robot de referencia 1 (células AZ2, AZ3 separadas espacialmente en la Fig. 1), y se le comunican las posiciones y los datos de medición almacenados del robot de referencia 1 por medio de un archivo y/o de una adecuada conexión de datos, como p. ej. Ethernet o cosa similar (línea vertical de trazos T entre los dispositivos de control 3, 4 en la Fig. 1).

[0049] Mediante la otra clase de medición en la segunda variante del procedimiento representada (algoritmo de búsqueda local en el paso S6') los parámetros de modelo obtenidos con ello presentarán una más alta calidad en comparación con la primera variante del procedimiento, puesto que en la operación de medición se comparan y se igualan realmente las poses reales de los robots 1, 2 y no tan sólo las poses teóricas que son por regla general influenciadas por las tolerancias de los manipuladores.

[0050] Las clases de procedimiento anteriormente descritas son adecuadas en particular para la medición de un único robot 2, p. ej. en la industria del fabricante. El robot 2 a medir está aquí en el mismo sitio como el robot de referencia 1 y emplea idealmente también el mismo dispositivo de medición, sistema de medición externo y dado el caso dispositivo de control, para excluir los errores de medición sistemáticos.

[0051] La Fig. 5 muestra por el contrario una adicional variante del procedimiento en la que los robots 1, 2 a medir (en general n robots; y aquí específicamente $n = 2$) están emplazados juntamente en su celda de trabajo real o han sido emplazados por el fabricante en una constelación como aquélla en la que también con posterioridad deberán trabajar juntamente. Análogamente a los adicionales procedimientos de copia que se describen a continuación para propiedades de precisión en dos robots, los de una cadena de n robots que trabajen en una celda o instalación unos tras otros y coordinados entre sí (por ejemplo para emular una "cadena de producción") pueden ser asimismo coordinados entre sí como un todo, cuando en primer lugar se coordina el robot 2 con el robot 1, luego el robot 3 con el robot 2, etc.

[0052] Como está representado en la Fig. 5, los robots 1, 2 a medir están para ello estrechamente acoplados entre sí, por cuanto que para la determinación de poses reales se usa un sistema de medición externo 5 que está dispuesto en al menos un robot y es móvil junto con el mismo. Para ello, según la Fig. 5 el robot de referencia 1 lleva en su brida de mano 1.4 un sistema de medición externo 5, como por ejemplo un sistema de medición que mida ópticamente, como por ejemplo se ha descrito anteriormente a base de la Fig. 3b. El robot copiator 2 tiene a su vez montado en su brida de mano 2.4 una placa de medición 8. En aras de la brevedad no se muestra en la Fig. 5 una arquitectura de control de los robots 1, 2 (véanse al respecto las Figs. 1, 2). Carece de importancia dónde esté el sistema de medición y qué dispositivo de control de robot o de aparato de medición

evalúe las señales del aparato de medición. En el caso de un procedimiento óptico la situación es la de que la cámara puede encontrarse en un robot y la placa de medición puede encontrarse en el otro robot.

5 **[0053]** El principio básico del procedimiento que se describe a continuación es el de que el robot de referencia 1 preestablece una posición o trayectoria y el robot copiador o los robots copiadores 2 la siguen directamente. La regulación en cascada se configura además de forma tal que las bridas de mano 1.4, 2.4 de los robots 1, 2 están entre sí al ángulo deseado y a la distancia deseada que se requerirán en el posterior funcionamiento. Esto puede darse ya sea en posiciones discretas en el espacio o bien durante toda una

10 trayectoria de robot recorrida. El método de medición del que se ha dado anteriormente una idea general posee la ventaja decisiva de que todos los errores que pueden ser ocasionados por distintas poses de robot son compensables mediante el modelo absolutamente exacto del robot copiador 2. También pueden permanecer embridadas en los robots en la celda herramientas (lo cual no se ha ilustrado aquí), siempre que haya

15 adicionales posibilidades de fijación para el sistema de medición externo 5. De esta manera pueden tomarse en consideración también las condiciones de carga en los robots como en el posterior funcionamiento real, con lo cual los robots cooperadores son susceptibles de ser coordinados entre sí aún con mayor exactitud.

20 **[0054]** Se describe a continuación a base del organigrama de la Fig. 6 el concreto desarrollo del procedimiento, hablándose sin por ello limitar la generalidad de tan sólo un robot copiador, si bien precisamente en el caso de los robots cooperadores desde luego pueden trabajar juntamente en una tarea más de dos robots. En el perfeccionamiento descrito del procedimiento según la invención corre en el dispositivo de control 4 del robot copiador 2 un algoritmo de servorregulación que sobre la base de los datos de medición M

25 (Fig. 2) suministrados por el robot de referencia 1 observa una distancia definida y una orientación definida con respecto al robot de referencia 1. En el caso de un algoritmo de servorregulación visual (Fig. 3b) el objetivo es específicamente el de mantener características definidas 7.2, 8,2 por ejemplo en una placa de medición 7, 8 en el robot de referencia 1 en el mismo sitio de un detalle de imagen B, B'. En el caso de un

30 acoplamiento mecánico por medio de sensor de momentos de fuerza, el objetivo puede como alternativa consistir en posicionar el robot copiador de forma tal que a pesar del acoplamiento mecánico no se transmitan fuerzas ni momentos entre los robots. Según la Fig. 6 el procedimiento según la invención comienza en el paso S10, a continuación de lo cual el robot de referencia 1 va en el paso S11 a una pose dentro de su espacio de trabajo y la transmite al robot copiador 2. Como se ha descrito anteriormente, la pose a la que se va puede ser preestablecida por un generador de poses (no ilustrado) en una operación de medición, o bien puede derivarse de programas de control que sean procesados por los robots cooperadores. A continuación, en el paso S12 el robot copiador 2 sigue el movimiento del robot de referencia 1. Cuando no hay acoplamiento mecánico alguno de

35 los robots 1, 2, esto puede suceder separadamente en el tiempo, es decir que en primer

40

lugar el robot de referencia 1 va a la posición deseada, y a continuación lo hace el robot copiator 2. En el caso de una adecuada regulación en cascada soportada por una planificación de trayectoria, el robot copiator 2 puede seguir directamente al robot de referencia 1. En el caso de un acoplamiento mecánico es por el contrario indispensable un seguimiento directo, para no dañar el sistema de medición o los robots 1, 2. El robot copiator 2 regula su posición en todo caso con los datos de medición y con las informaciones de trayectoria suministrados por el robot de referencia 1 de forma tal que el robot copiator 2 adopta la pose anteriormente definida en relación con el robot de referencia 1. La pose ahora adoptada por el robot copiator 2 (representada con líneas continuas en la Fig. 5) no coincidirá en general con aquella pose que el mismo habría adoptado si se hubiese producido un movimiento para ir al sitio previsto en el espacio a lo largo de la trayectoria originalmente planificada. La diferencia entre la pose planificada (representada con líneas punteadas en la Fig. 5) y la pose a la que realmente se llega (representada mediante líneas continuas) es almacenada en el paso S13 junto con valores posicionales internos (goniómetros) de los robots 1,2. A continuación tiene lugar en el paso S14 una interrogación sobre si se ha ido a suficientes puntos de medición. Si se responde a esta interrogación afirmativamente (sí), se prosigue el procedimiento con el paso S15. En caso contrario (no), el procedimiento regresa al paso S11. En el paso S15 se hace la determinación del modelo paramétrico absolutamente exacto para el robot copiator 2 a partir de los datos de medición anteriormente recogidos (véase lo expuesto anteriormente), preferiblemente en el dispositivo de modelización 4.3 en su dispositivo de control 4. Al igual como los procedimientos alternativos aclarados anteriormente a base de la Fig. 4, el procedimiento que se ha aclarado en lo que precede es adecuado para compensar también los errores del robot de referencia 1.

[0055] Utilizando el procedimiento según la invención que se ha descrito puede construirse una instalación de automatización con robots estándar económicos, no debiendo hacerse una determinación y copia de propiedades de precisión hasta que se efectúe el cambio de un robot. Además se puede seguir produciendo sin adicionales operaciones de puesta a medidas o modificaciones de programas. Como alternativa, antes del comienzo de la producción puede confeccionarse un banco de datos en el que estén depositadas propiedades de posicionamiento de todos los robots, para que las informaciones de copia puedan extraerse de manera rápida y sencilla según sea necesario.

[0056] Mediante la descrita copia de propiedades de precisión pueden coordinarse muy exactamente entre sí en espacial los robots cooperadores, puesto que cada uno no está únicamente configurado limitadamente de manera exacta, sino que en lugar de ello todos los robots poseen exactamente las mismas propiedades de posicionamiento y recorrido de trayectorias.

Reivindicaciones

1. Procedimiento para el control de una pluralidad de manipuladores (1, 2) tales como robots industriales multiaxiales, donde:
- 5 a) un manipulador (1) es llevado a una cantidad de poses preestablecidas dentro de su espacio de trabajo y para la determinación de valores posicionales internos del manipulador es llevado a las mismas en calidad de primeras poses teóricas (P2);
- caracterizado por el hecho de que**
- 10 al menos uno de los manipuladores actúa como manipulador de referencia (1) y al menos otro actúa como manipulador copiator (2), siendo el paso a) realizado por el manipulador de referencia (1);
- b) para cada pose teórica (P2) del paso a) es determinada mediante un sistema de medición externo (5) una correspondiente pose del manipulador de referencia como primera pose real (P1);
- 15 c) mediante el manipulador copiator se va a las poses determinadas para el manipulador de referencia como segundas poses teóricas (P2');;
- d) para cada pose a la que se va en el paso c) se determina mediante un sistema de medición externo (6) una pose del manipulador copiator como segunda pose real (P1'); y
- 20 e) se determina un modelo paramétrico para el manipulador copiator a partir de las desviaciones entre las primeras poses teóricas y las primeras poses reales y a partir de las desviaciones entre las segundas poses teóricas y las segundas poses reales para la simultánea compensación tanto de errores del manipulador copiator (2) como de errores del manipulador de referencia (1).
- 25
2. Procedimiento para el control de una pluralidad de manipuladores (1, 2) tales como robots industriales multiaxiales, donde:
- a) un manipulador (1) es llevado a una cantidad de poses preestablecidas dentro de su espacio de trabajo y para la determinación de valores posicionales internos del manipulador es llevado a las mismas en calidad de primeras poses teóricas;
- 30 **caracterizado por el hecho de que**
- b) al menos uno de los manipuladores actúa como manipulador de referencia (1) y al menos otro actúa como manipulador copiator (2), siendo el paso a) realizado por el manipulador de referencia (1);
- 35 c) donde el manipulador de referencia (1) lleva un sistema de medición externo (5), con lo cual éste último es movido por el manipulador de referencia (1) y junto con el mismo;
- d) para cada primera pose teórica del manipulador de referencia (1) a la que se va en el paso a) se va a una segunda pose teórica mediante el manipulador copiator
- 40

(2);

e) para cada segunda pose teórica a la que se va en el paso d) se determinan datos de medición mediante el sistema de medición externo (5) y la posición del manipulador copiator (2) se regula de forma tal que se adopta una pose previamente definida en relación con el manipulador de referencia (1);

f) se almacena la diferencia entre la segunda pose teórica planificada y la pose real efectivamente alcanzada del manipulador copiator (2) junto con valores posicionales internos de los robots (1, 2);

g) se determina un modelo paramétrico para el manipulador copiator (2) a partir de los datos de medición recogidos para la simultánea compensación tanto de errores del manipulador copiator (2) como de errores del manipulador de referencia (1).

3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** mediante el manipulador copiator se va a las primeras poses teóricas preestablecidas del manipulador de referencia.

4. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** mediante el manipulador copiator se va a las primeras poses reales determinadas del manipulador de referencia.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado por el hecho de que** se mueve el manipulador copiator hasta que una pose del mismo y la pose real del manipulador de referencia coincidan dentro de tolerancias de desviación preestablecidas y/o de un desplazamiento preestablecido.

6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado por el hecho de que** el movimiento del manipulador copiator se efectúa con sujeción al sistema de medición externo.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por el hecho de que** el funcionamiento del manipulador de referencia y el funcionamiento del manipulador copiator tienen lugar en esencia al mismo tiempo, siéndole transmitida al manipulador copiator la pose teórica y/o real del manipulador de referencia por medio de una conexión adecuadamente configurada, y en particular por medio de una conexión de datos.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por el hecho de que** la determinación de la pose se efectúa ópticamente mediante el sistema de medición externo.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por el hecho de que** el manipulador de referencia y el manipulador copiador funcionan en una celda de trabajo común.
- 5 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1, 3 a 8, **caracterizado por el hecho de que** el manipulador copiador funciona en una adicional celda de trabajo que es idéntica a la celda de trabajo del manipulador de referencia.
- 10 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado por el hecho de que** las primeras poses teóricas y reales del manipulador de referencia son almacenadas tras su determinación.
- 15 12. Procedimiento según la reivindicación 11 en combinación con una de las reivindicaciones 1 a 6 u 8 a 10, **caracterizado por el hecho de que** el manipulador de referencia y el manipulador copiador se hacen funcionar en distintos puntos en el tiempo, siéndole transmitidas en forma almacenada al manipulador copiador las poses teóricas y/o reales del manipulador de referencia.
- 20 13. Procedimiento según la reivindicación 11 o 12 en combinación con una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por el hecho de que** se hace que el manipulador de referencia y el manipulador copiador funcionen uno tras otro en una celda de trabajo bajo el control del mismo dispositivo de control.
- 25 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** en primer lugar se seleccionan un primer manipulador como manipulador de referencia y un segundo manipulador como manipulador copiador, y de que a continuación el segundo manipulador actúa como manipulador de referencia y un manipulador adicional actúa como manipulador copiador, etc.
- 30 15. Dispositivo preparado para el mejoramiento de propiedades de precisión de manipuladores (1, 2) tales como robots industriales multiaxiales, **caracterizado por**
- 35 - al menos un robot de referencia (1) y un robot copiador (2);
- al menos un dispositivo de control (3, 4) preparado para llevar a los manipuladores (1, 2) a poses teóricas predeterminadas (P2, P2');
- al menos un sistema de medición externo (5, 5') preparado para la determinación de poses reales (P1, P1') de los manipuladores (1, 2) correspondientes a las respectivas poses teóricas (P2, P2');
- 40 - un dispositivo comparador (3.2) preparado para la determinación de una desviación (A) entre las respectivas poses teóricas (P2, P2') y poses reales (P1,

P1') de un manipulador (1, 2); y

- un dispositivo de modelización (3.3) preparado para la determinación de un modelo paramétrico del robot copiador (2) a partir tanto de desviaciones (Δ) entre las poses teóricas y las poses reales (P1, P2) del robot de referencia (1) como de las desviaciones entre las poses teóricas y reales (P1', P2') del robot copiador (2).

5

16. Dispositivo según la reivindicación 15, **caracterizado por el hecho de que** al menos un sistema de medición externo (5, 6) está dispuesto estacionariamente y en conexión operativa con una zona de trabajo (AZ1, AZ2, AZ3) de un manipulador (1, 2).

10

17. Dispositivo preparado para el mejoramiento de propiedades de precisión de manipuladores (1, 2) tales como robots industriales multiaxiales, **caracterizado por**

15

- al menos un manipulador de referencia (1) y un manipulador copiador (2);

- al menos un dispositivo de control (3, 4) preparado para llevar a los manipuladores (1, 2) a poses teóricas predeterminadas;

- al menos un sistema de medición externo (5) que está dispuesto en un manipulador (1, 2) y es móvil junto con el mismo;

20

- estando el sistema de medición externo (5) que es al menos uno preparado para la determinación de datos de medición para cada pose teórica de los manipuladores (1, 2) a la que se va;

- un servoalgoritmo preparado para la regulación de la posición del manipulador copiador (2) de forma tal que sea adoptada una pose previamente definida en relación con el manipulador de referencia (1);

25

- un dispositivo comparador (3.2) preparado para la determinación de la diferencia entre la pose teórica planificada y la pose real del manipulador copiador (2) a la que se llega efectivamente;

- un dispositivo de modelización (3.3) preparado para la determinación de un modelo paramétrico para el manipulador copiador (2) a partir de los datos de medición recogidos junto con valores posicionales internos de los robots (1, 2) para la compensación simultánea tanto de errores del manipulador copiador (2) como de errores del manipulador de referencia (1).

30

18. Dispositivo según una de las reivindicaciones 15 a 17, **caracterizado por el hecho de que** un sistema de medición externo (5, 6) está configurado como sistema de medición que mide ópticamente.

35

19. Dispositivo según la reivindicación 18 en combinación con una de las reivindicaciones 15 o 16, **caracterizado por el hecho de que** el sistema de

40

medición óptica (5, 6) está configurado para la determinación de todos los grados de libertad de una pose (P1, P1') de los manipuladores (1, 2).

- 5
20. Dispositivo según la reivindicación 18 o 19, **caracterizado por el hecho de que** el sistema de medición externo (5, 6) es un sistema de procesamiento de imágenes estéreo.
- 10
21. Dispositivo según una de las reivindicaciones 15 a 20, **caracterizado por** una celda de trabajo común (AZ1) preparada para el simultáneo funcionamiento de al menos dos manipuladores (1, 2).
- 15
22. Dispositivo según una de las reivindicaciones 15, 16, 18 a 21 en combinación con una de las reivindicaciones 15 o 16, **caracterizado por** celdas de trabajo separadas (AZ2, AZ3) para una cantidad de manipuladores (1, 2).
- 20
23. Dispositivo según una de las reivindicaciones 15 a 22, **caracterizado por** medios de transmisión (T) preparados para la transmisión de datos entre manipuladores, y en particular para la transmisión de poses teóricas (P2, P2') y/o reales (P1, P1') así como de valores posicionales internos.
- 25
24. Dispositivo según una de las reivindicaciones 15 a 23, **caracterizado por** medios de almacenamiento (3.1) preparados para el almacenamiento de al menos poses teóricas (P2, P2') y/o reales (P1, P1') de un manipulador (1, 2).
- 25
25. Dispositivo según la reivindicación 24, **caracterizado por** una celda de trabajo (AZ2, AZ3) preparada para el funcionamiento secuencial de los manipuladores (1, 2), en particular bajo el control del mismo dispositivo de control (3, 4).

- - -

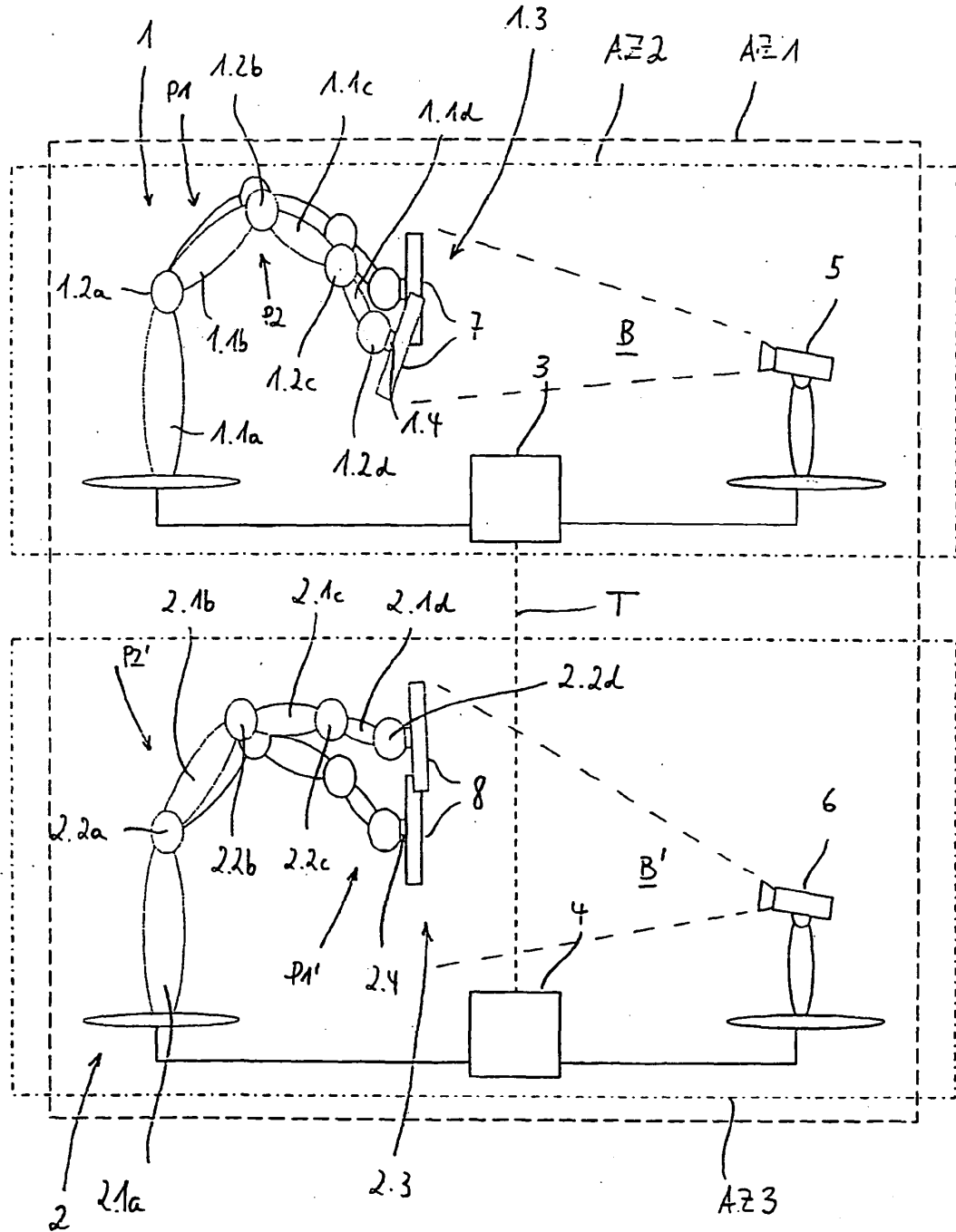


Fig. 1

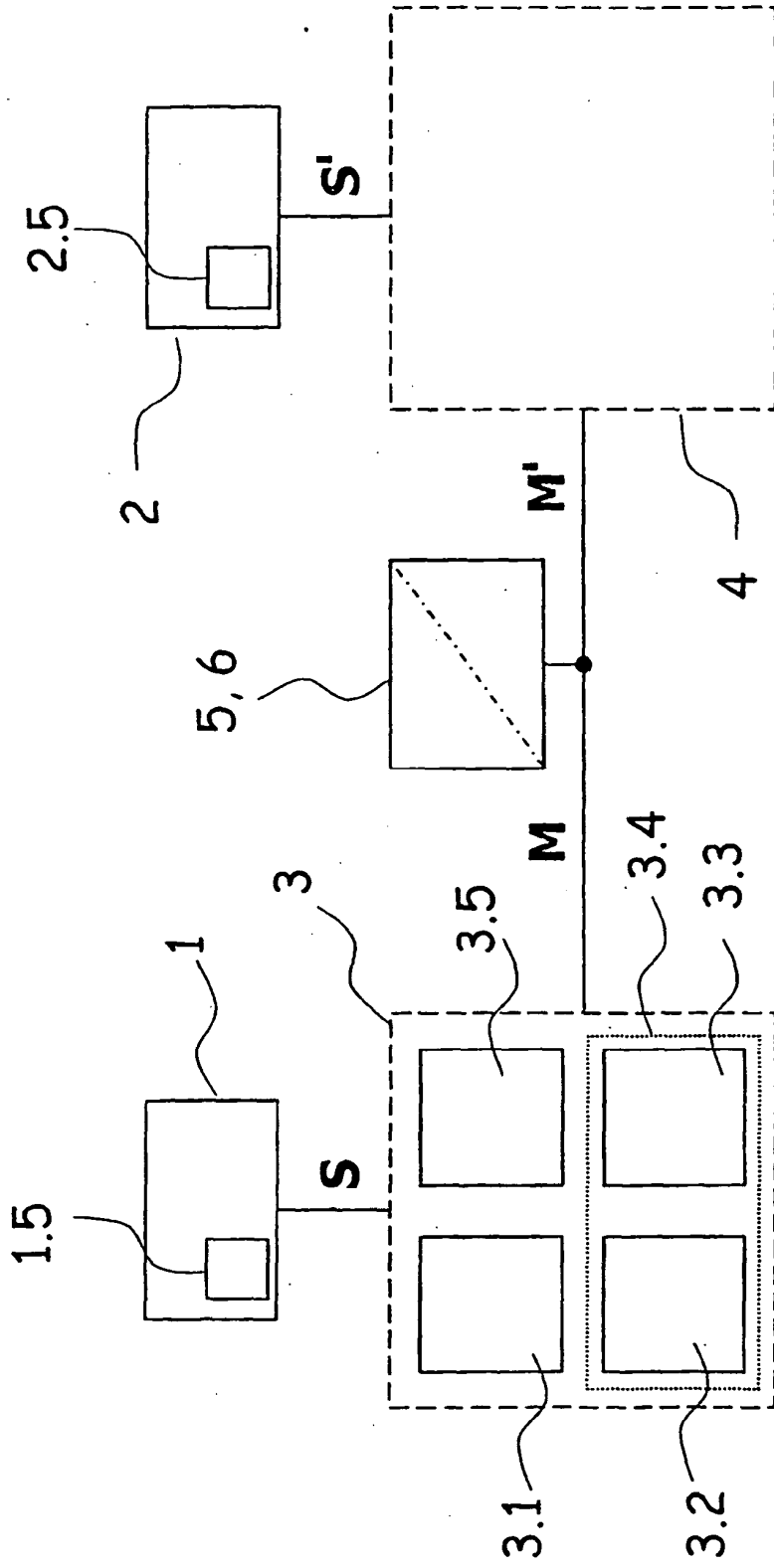


Fig. 2

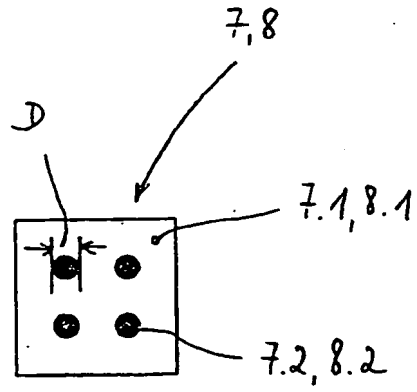


Fig. 3a

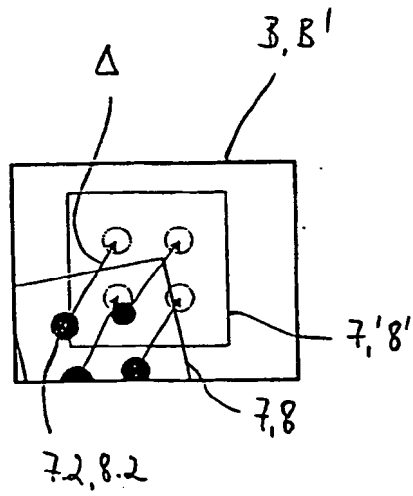


Fig. 3b

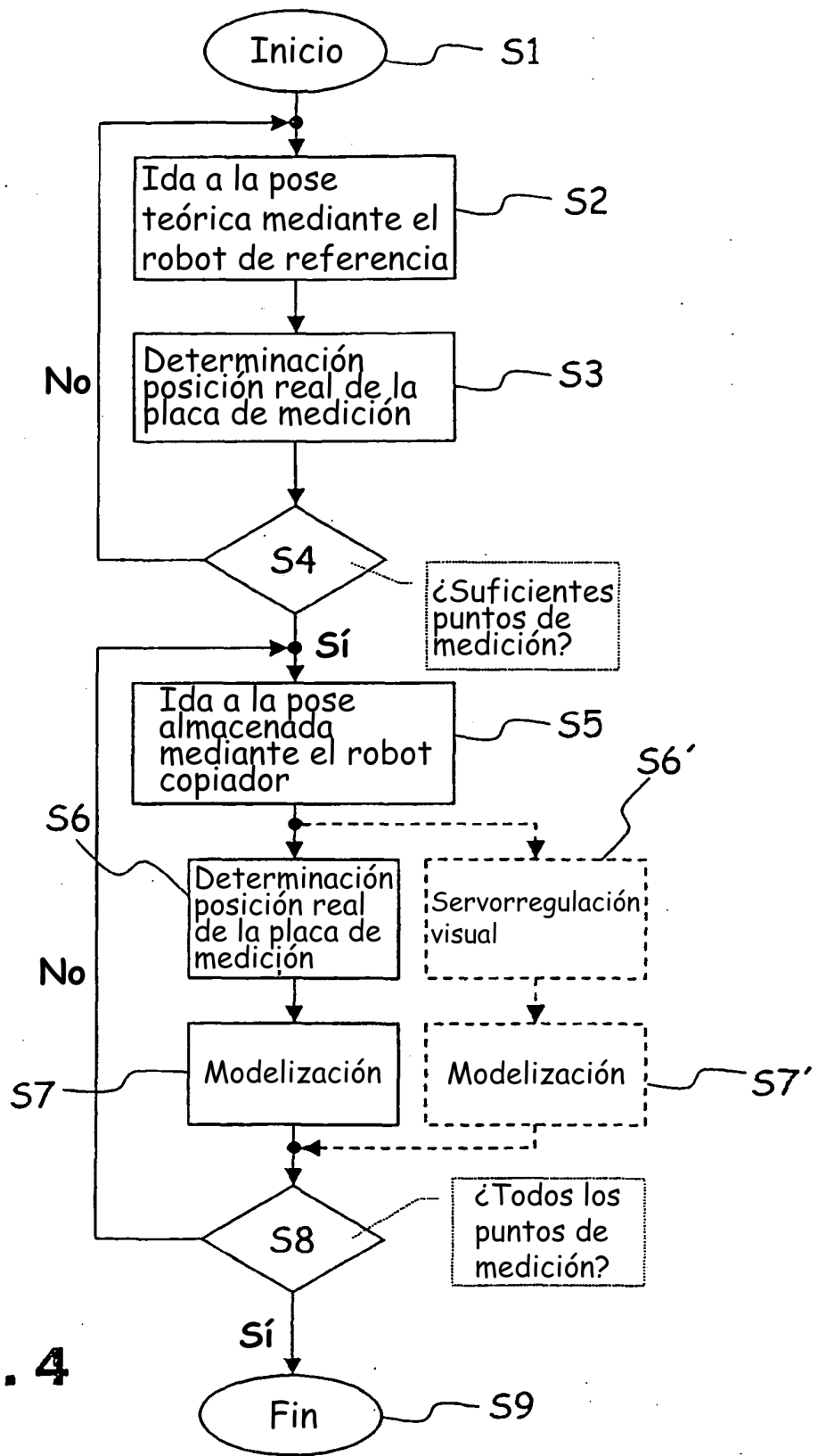


Fig. 4

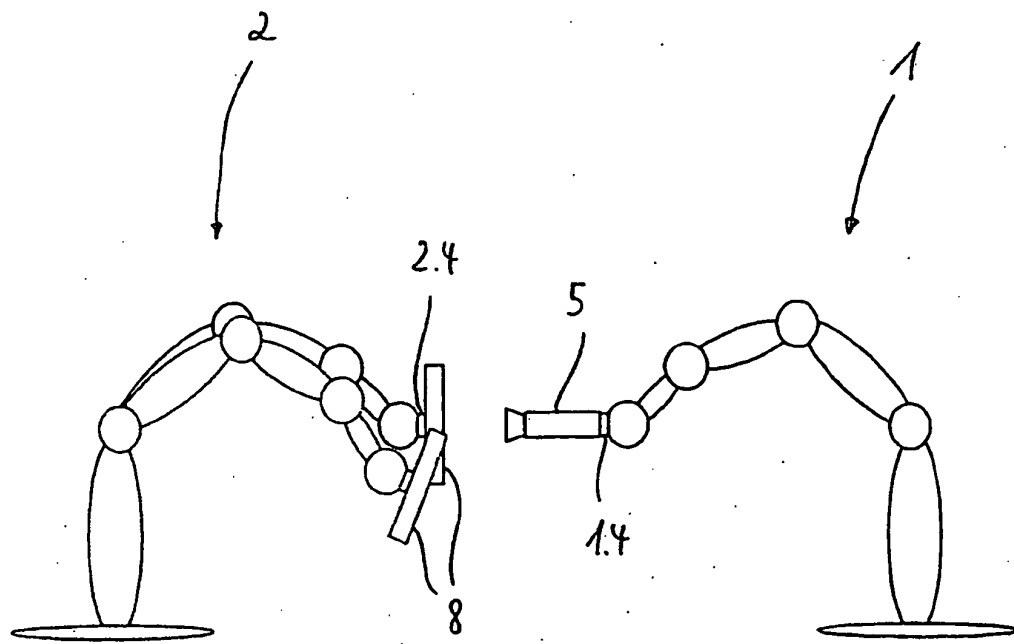


Fig. 5

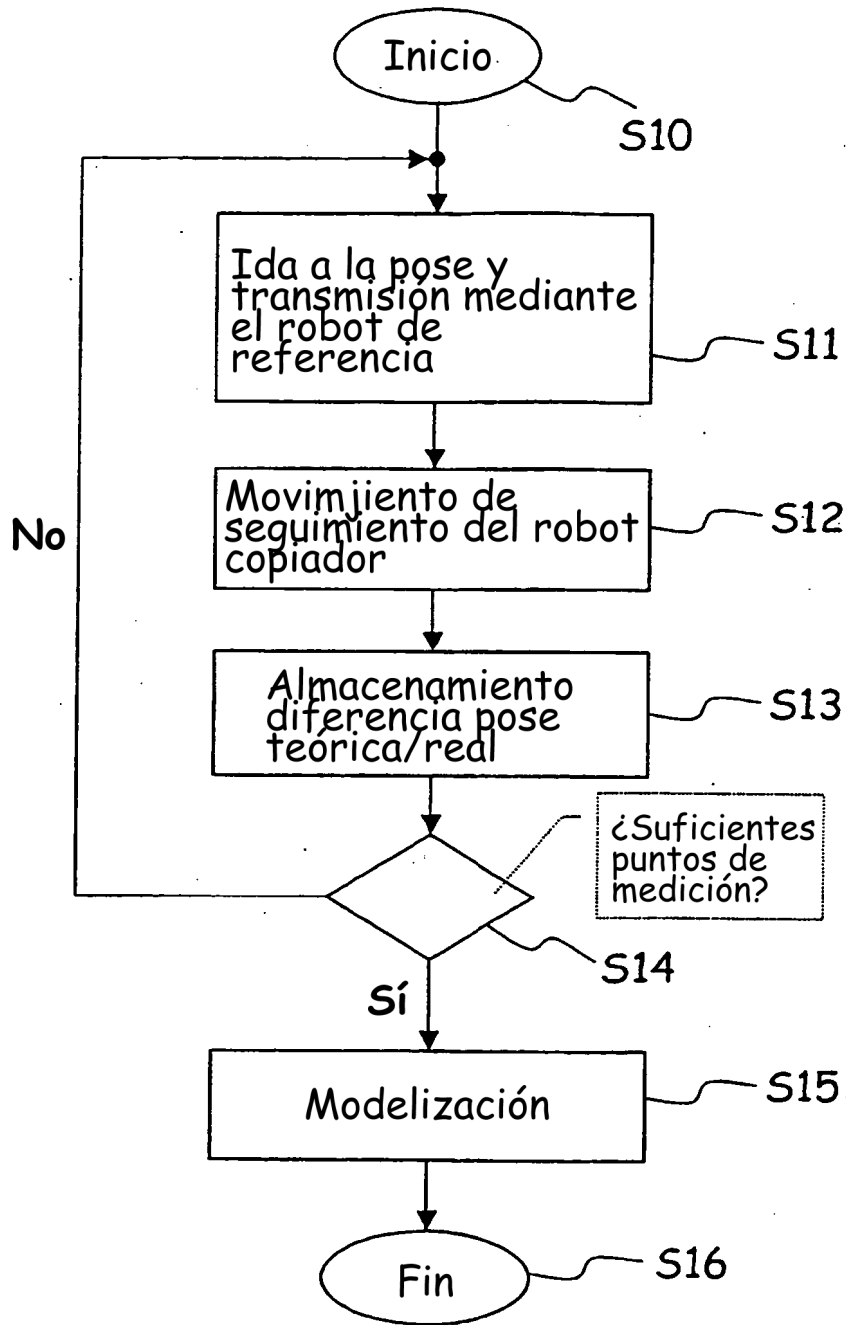


Fig. 6

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias que cita el solicitante se aporta solamente en calidad de información para el lector y no forma parte del documento de patente europea. A pesar de que se ha procedido con gran esmero al compilar las referencias, no puede excluirse la posibilidad de que se hayan producido errores u omisiones, y la OEP se exime de toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patente citados en la descripción

- EP 1604789 A [0004] [0031]

Literatura no de patentes que se cita en la descripción

- Identification of Kinematic Parameters of Multiple Closed Chain Robotic Manipulators Working in Coordination.
S.P. Ananthanarayanan et al.
Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation Nice. IEEE Comp. Soc. Press, 12 de mayo de 1992, vol. 3, 358-363 [0007]