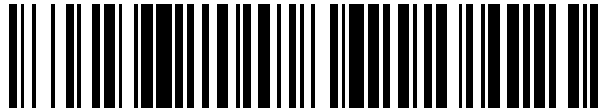


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 526 666**

51 Int. Cl.:

**B25J 9/16**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.01.2011 E 11700035 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.10.2014 EP 2523786**

54 Título: **Método para encontrar trayectorias articuladas factibles para un robot n-dof con un proceso invariante de giro ( $n > 5$ )**

30 Prioridad:

**14.01.2010 US 294852 P**  
**14.01.2010 EP 10150782**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**14.01.2015**

73 Titular/es:

**SYDDANSK UNIVERSITET (100.0%)**  
**Campusvej 55**  
**5230 Odense M, DK**

72 Inventor/es:

**GORDON PETERSEN, HENRIK;**  
**CORTSEN, JENS y**  
**SOELVASON, DORTHE**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 526 666 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**

Método para encontrar trayectorias articuladas factibles para un robot n-dof con un proceso invariante de giro ( $n > 5$ )

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método para determinar un curso del movimiento relativo entre un objeto y un robot para interactuar con el objeto. En particular, la invención se refiere a un método para encontrar unas trayectorias articuladas factibles para un robot n-dof con un proceso invariante de giro ( $n > 5$ ). El método usa la invariancia con respecto al giro alrededor del eje de herramienta para facilitar la planificación del movimiento y de ese modo maximizar el espacio de trabajo del robot.

**Antecedentes de la invención**

15 El documento WO0204175A1 divulga la generación de instrucciones para un robot que está adaptado para procesar un objeto. De acuerdo con el método descrito en la solicitud, los parámetros de control se generan basándose en los datos del objeto, asociándose los parámetros de control con la orientación del dispositivo de procesamiento durante el procesamiento del objeto y generándose para una pluralidad de localizaciones en el objeto de manera que se asigna cada una de las localizaciones con al menos un parámetro de control.

20 El documento WO9222024A1 divulga un herramienta de máquina multi-eje controlada de forma numérica por ordenador (CNC), en la que una herramienta de corte es móvil en relación con una pieza de trabajo por medio de un número de juntas lineales y de giro bajo el control de una unidad de control programable. La máquina está programada con una pluralidad de ejes programables principales, llamados ejes "hard", y con al menos un eje adicional programable sintetizado o eje "soft" que permite que la herramienta de corte se mueva de forma lineal en la dirección del eje soft sin necesitar una articulación específica para ese fin. El eje "soft" sintetizado es un eje redundante parcialmente, no-colineal que aumenta el número de grados de libertad programables a un número mayor que los grados de libertad de la máquina, es decir: el número de articulaciones no-colineales. El principio de los ejes "soft" sintetizados puede extenderse a las herramienta de máquina CNC que tienen cuatro o más ejes hard principales, por ejemplo, para producir una herramienta de máquina CNC articulada-5 que tiene la flexibilidad de una herramienta de máquina articulada-7 u -8 convencional.

35 El documento US6463358 divulga un controlador de robot capaz de encontrar una trayectoria mal enseñada y evitar peligros involucrados en un movimiento real de un robot sin usar un sistema de simulación sin conexión. Se reproduce un programa de funcionamiento para confirmar la seguridad con el sistema de control del robot dispuesto de tal manera que se activa una función de simulación, se desactiva un movimiento real, y se activa el procesamiento de comparación.

40 El documento US6037733 se refiere a una mejora en una estructura de brazo robótico que incluye al menos dos enlaces. Un movimiento llamado  $\theta$ , se proporciona alrededor de un eje principal en la parte de extremo proximal del más proximal de los enlaces. Un movimiento llamado R procede radialmente desde el eje principal mediante el cual la parte de extremo distal del más distal de los enlaces puede moverse en una línea recta que se extiende radialmente. Se monta un efector de extremo de manera pivotante para girar en relación con la parte de extremo distal del enlace más distal alrededor de un eje efector de extremo que es paralelo al eje principal. La estructura se mejora añadiendo uno o más de entre un motor de orientación, un motor de balanceo y un motor de cabeceo para girar la muñeca del brazo alrededor de los ejes respectivos. Un conjunto de sensores detecta los movimientos R,  $\theta$ , Z y de orientación, de balanceo y/o de cabeceo y crea y transmite señales electrónicas representativas de los mismos a un controlador de ordenador que monitoriza y controla los movimientos R,  $\theta$ , Z y de orientación, de balanceo y/o de cabeceo.

50 Debido a problemas de bloqueo asociados con un método de "mirar hacia adelante", tales como los que se divulgan en el documento US 2005/246062A1, en el que la trayectoria se encuentra de forma iterativa a partir de un extremo y solo la siguiente o se consideran las siguientes etapas de tiempo, es un objeto de la presente invención proporcionar un enfoque en el que la búsqueda se realiza de una manera más global; en lo sucesivo en el presente documento, denominada como una búsqueda "de forma global en el tiempo".

**Sumario de la invención**

60 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método, que permite una planificación de la trayectoria fuera de línea para la molienda con un robot industrial. La invención pretende ampliar el intervalo de funcionamiento de los robots de molienda conocidos. Esto se consigue con un nuevo componente de software.

65 Un proceso invariante de giro necesita solo 5 grados de libertad (DOF) de la herramienta que se especifica como cualquier giro alrededor del eje de herramienta que proporcionará el mismo resultado. Cuando se realiza el proceso con un robot industrial con 6 o más DOF, el robot tendrá, de esta manera, redundancia. Para robots de 6 DOF, en los que la articulación más exterior es giratoria, el eje de herramienta debe ser no coincidente con ese eje. Una

manera de dar una descripción completa de la redundancia es fijar la herramienta y girar la brida de herramienta del robot alrededor del eje de herramienta.

En el siguiente  $X(t)$  se denota la posición y la orientación de un sistema de coordenadas que describe la posición de la herramienta deseada y la orientación en el tiempo  $t$ . Cuando se especifica  $X(t)$ , la redundancia debida a la invariancia de giro no se ha explotado todavía. La redundancia se explota mediante un parámetro  $q_{Tool}(t)$  adicional que describe el giro de la brida de herramienta alrededor del eje de herramienta en el tiempo  $t$ . Para elegir  $X(t)$  y  $q_{Tool}(t)$ , la posición y la orientación de la brida de herramienta del robot se describen completamente y se define también el conjunto de las soluciones IK ( $X(t), q_{Tool}(t)$ ) cinemáticas inversas.

Una trayectoria articulada factible proporciona una  $n$ -tupla  $q_{Robot}(t)$  (configuración de la articulación) que contiene las posiciones de todas las articulaciones del robot como una función del tiempo. Con el fin de ser factible,  $q_{Robot}(t)$  debe en un tiempo  $t$  arbitrario pertenecer a IK ( $X(t), q_{Tool}$ ) para algún ángulo  $q_{Tool}$ . Además,  $q_{Robot}(t)$  debe conducir al robot para no chocar con el entorno, la pieza de trabajo o el robot en sí mismo (auto-colisión). Por otra parte, los límites de las articulaciones, los límites de velocidad de las articulaciones y posiblemente los límites de aceleración de las articulaciones deben satisfacerse en cualquier momento.

Los métodos existentes utilizan valores de  $q_{Tool}(t)$  elegidos de forma manual. En su mayoría se fijan a un valor  $Q$  a lo largo de todo el período del proceso. La limitación resultante debido a un pequeño conjunto innecesario de soluciones IK ( $X(t), Q$ ) cinemáticas inversas limita sustancialmente el espacio de trabajo del robot. Es la fuerza principal del método que busca la  $q_{Tool}(t)$  adecuada y variable en el tiempo que puede proporcionar una IK ( $X(t), q_{Tool}(t)$ ) útil.

En el tiempo  $t$ , se proporcionan por lo tanto el conjunto de todas las soluciones mediante la  $IK_{all}(t)$  proporcionada como la unión de IK ( $X(t), q_{Tool}$ ) cuando  $q_{Tool}$  se extiende de 0 a 360 grados. La presente invención se dirige a cualquier método que de forma global en el tiempo busque trayectorias  $q_{Robot}(t)$  factibles usando  $IK_{all}(t)$  como el conjunto de las posibles soluciones en el tiempo  $t$ .

Con el fin de describir "de forma global en el tiempo", se especifica por simplicidad el intervalo de tiempo de la trayectoria completa en  $t_1 \leq t_2 \dots \leq t_{N-1} \leq t_N$ . Para un criterio  $O(q_{Robot}(t_i))$  de optimización dado, una búsqueda "de forma global en el tiempo" busca encontrar una trayectoria  $q_{Robot}(t)$  factible que minimice la suma (posiblemente ponderada) de todos los  $O(q_{Robot}(t_i))$ . Esto se opone a un método de "mirar hacia adelante", tal como el divulgado en el documento US 2005/246062A1, en el que la trayectoria se encuentra de forma iterativa a partir de un extremo y solo la siguiente o se consideran las siguientes etapas de tiempo.

Por consiguiente, la presente invención proporciona un método implementado por ordenador para determinar unas trayectorias articuladas factibles para un robot  $n$ -dof ( $n > 5$ ) en un procesamiento invariante de giro de un objeto, tal como una molienda, una pintura, un corte (por ejemplo, un chorro de agua, un plasma y un láser), una pulverización, una trituración, un taladro, un avellanado y una soldadura, comprendiendo dicho método las etapas de:

- recibir datos geométricos que representan el objeto;
- recibir datos geométricos que representan la herramienta de procesamiento;
- recibir una trayectoria  $X(t)$  de herramienta, en la que  $t$  es el tiempo;
- buscar de forma global en el tiempo unas trayectorias  $q_{Robot}(t)$  factibles usando IK ( $t$ ) y  $q_{Tool}(t)$  como un conjunto de posibles soluciones en el tiempo  $t$ , en el que  $q_{Robot}(t)$  define las posiciones de todas las articulaciones en el robot como una función del tiempo,  $q_{Tool}(t)$  define el giro de una brida de herramienta alrededor del eje de herramienta en el tiempo  $t$ , e IK ( $t$ ) define las soluciones cinemáticas inversas para un  $X(t)$  y un  $q_{Tool}(t)$  dados;
- determinar, a partir de los datos geométricos y de  $X(t)$ , cómo debería elegirse la trayectoria  $q_{Robot}(t)$  articulada con el fin de satisfacer uno o más criterios de optimización.

Las etapas generales del método pueden mostrarse con el siguiente diagrama de flujo en la figura 1.

Usando los datos geométricos del objeto y del propio robot para determinar automáticamente cómo orientar relativamente el objeto y el robot en el al menos un grado de libertad de giro a lo largo de la trayectoria de interacción, puede mejorarse el rendimiento de una operación. Además, como el programa informático determina la orientación angular relativa a lo largo de la trayectoria de interacción, no se necesita una entrada o una orientación del usuario.

El método de la presente invención puede usarse para evaluar el curso del movimiento del robot que tomará durante una operación real. Esta evaluación puede producirse antes de una operación real.

El método puede utilizarse para determinar una orientación fija, que es una orientación que no varía a lo largo de la trayectoria de interacción, con el fin de satisfacer uno o más criterios de optimización. Preferentemente el método comprende determinar cómo manipular la orientación relativa entre el robot y el objeto a medida que se mueven relativamente a lo largo de la trayectoria de interacción con el fin de satisfacer el uno o más criterios de optimización.

Por consiguiente, el método puede usarse para determinar, antes de o durante una operación cómo variar la orientación relativa del robot y del objeto, mientras que el robot y el objeto se mueven relativamente a lo largo de una trayectoria de interacción.

5 Como se entenderá, los datos geométricos pueden comprender datos de dimensión. Los datos geométricos pueden comprender datos de la forma. Preferentemente, los datos geométricos comprenden datos tridimensionales ("3D"). Los datos geométricos pueden comprender datos de posición. El método puede comprender la recuperación de los datos geométricos. Por ejemplo, los datos geométricos podrían recuperarse de un dispositivo de memoria. Los datos geométricos podrían obtenerse a partir de una medición previa obtenida de un objeto de referencia. Los datos geométricos podrían generarse por un usuario. Por ejemplo, los datos geométricos pueden ser datos de diseño asistido por ordenador ("CAD"). Por ejemplo, los datos geométricos pueden ser una representación de límites del objeto. Opcionalmente, los datos geométricos son un modelo poligonal del objeto. Como se entenderá, los datos geométricos recibidos del objeto y del robot pueden combinarse en un marco de coordenadas común.

15 El robot podría ser una herramienta para mecanizar el objeto. Por ejemplo, la herramienta podría ser una herramienta de taladro, de molienda o de trituración.

20 Como se entenderá la trayectoria de interacción puede comprender la trayectoria que el robot realiza durante una operación. Específicamente, la trayectoria de interacción puede comprender una trayectoria de mecanizado que realiza una herramienta durante una operación de mecanizado. La trayectoria de interacción podría ser una sub-trayectoria de una pluralidad de sub-trayectorias que cuando se ejecutan en secuencia describen una operación de interacción por completo.

25 La trayectoria de interacción puede comprender la trayectoria que el robot realiza durante una operación mientras que está en una relación de interacción en relación con el objeto. La trayectoria de interacción puede comprender la trayectoria que realiza una herramienta durante una operación de mecanizado mientras que el objeto está mecanizándose (por ejemplo, cortar, triturar o moler). En consecuencia, el método puede comprender determinar cómo orientar el robot, mientras que interactúa con el objeto. La trayectoria de interacción puede comprender la trayectoria que el robot realiza mientras se mueve de forma más general alrededor del objeto. Por consiguiente, la trayectoria de interacción puede comprender la trayectoria que el robot realiza entre unas posiciones en las que está en una relación de interacción en relación con el objeto. Como se entenderá, la trayectoria de interacción podría ser la trayectoria en el objeto que debe interactuarse por el robot. La trayectoria de interacción es normalmente la trayectoria en el objeto que debe mecanizarse, por ejemplo, un corte y/o una molienda.

35 Como se entenderá, por ejemplo, si la trayectoria de interacción es una trayectoria fija en el objeto, entonces puede necesitarse reposicionar relativamente el robot en el al menos un grado de libertad lineal con el fin de obtener la orientación determinada. Por consiguiente, determinar cómo el robot y el objeto pueden orientarse relativamente entre sí, puede comprender determinar la posición relativa del robot y del objeto en el al menos un grado de libertad lineal. El método podría comprender obtener los datos que representan la trayectoria de interacción.

40 La trayectoria de interacción podría introducirse por el usuario. En consecuencia, el método puede comprender recibir una trayectoria de interacción desde un dispositivo de interfaz de usuario. La trayectoria de interacción puede recuperarse a partir de un dispositivo de memoria.

45 Los datos de la trayectoria de interacción pueden comprender una pluralidad de puntos. Por ejemplo, una trayectoria de interacción puede comprender una pluralidad de puntos en el objeto con los que debe interactuarse. Por ejemplo, una trayectoria podría comprender una pluralidad de puntos en el objeto que deben molerse o pintarse. Los puntos pueden ser puntos específicos. Opcionalmente, los datos de la trayectoria de interacción podrían comprender una línea, una dimensión, un grado de libertad o similares. Por ejemplo, los datos de la trayectoria de medición podrían comprender una línea, una dimensión, un grado de libertad o similares a lo largo del taladro que debe realizarse. Por ejemplo, la trayectoria de interacción puede comprender datos vectoriales. Opcionalmente, la trayectoria de interacción podría definirse como una curva entre dos puntos.

55 Los criterios de optimización adecuados para su uso con la presente invención pueden incluir criterios en relación con la realización de una operación de interacción. En consecuencia, el método puede comprender determinar cómo la orientación relativa del robot y del objeto puede manipularse durante el movimiento del robot a lo largo de una trayectoria de interacción con el fin de satisfacer uno o más criterios de rendimiento. Los criterios de rendimiento pueden comprender una velocidad de interacción.

60 Los criterios de rendimiento pueden comprender la longitud de la trayectoria de interacción. Los criterios de rendimiento pueden comprender un nivel de aceleración predeterminado. El nivel de aceleración predeterminado puede referirse a la aceleración del dispositivo. El nivel de aceleración predeterminado puede comprender una aceleración máxima. Los criterios de rendimiento pueden comprender la dirección del movimiento. Los criterios de optimización adecuados para su uso con la presente invención hacen comprender especialmente los criterios en relación con los límites del movimiento.

El método puede comprender para cada uno de una pluralidad de puntos a lo largo de la trayectoria de interacción determinar una pluralidad de orientaciones relativas entre el robot y el objeto que debe procesarse. El método puede comprender además, para cada uno de una pluralidad de puntos a lo largo de la trayectoria de interacción seleccionar solo unas orientaciones libres de colisión. El método puede comprender además seleccionar a partir de las orientaciones libres de colisión esas orientaciones que cumplan con uno o más criterios de optimización. El método puede comprender determinar el coste asociado con el movimiento entre un par de puntos a lo largo de la trayectoria de interacción. El coste podría estar en función de la orientación relativa del robot y del objeto en el par de puntos. En consecuencia, el método puede comprender determinar el coste del movimiento entre un par de puntos que tienen una primera combinación de orientación. El método puede comprender además determinar el coste del movimiento entre el mismo par de puntos que tienen una segunda combinación de orientación. Como se entenderá, la combinación de orientación de un par de puntos describe la orientación relativa del robot y del objeto en los puntos primero y segundo a lo largo de la trayectoria de interacción.

Preferentemente, la orientación del robot en al menos uno de los puntos primero y segundo es diferente en la segunda combinación de orientación a la primera combinación de orientación. El método puede comprender seleccionar la combinación de la orientación que tiene el coste más bajo. Este método puede comprender determinar el coste para una pluralidad de pares de puntos a lo largo de la trayectoria de interacción.

El método puede comprender seleccionar aquellas orientaciones en las que el coste total a lo largo de la trayectoria de interacción cumple con los criterios predeterminados. El criterio predeterminado podría ser seleccionar la trayectoria de interacción con el mínimo coste.

Como se entenderá, el coste de movimiento puede ser un valor que representa una propiedad del movimiento entre los dos puntos. Por ejemplo, la propiedad podría ser la velocidad. La propiedad podría ser el tiempo. La propiedad podría ser la distancia. La propiedad podría ser la aceleración. El coste podría ser una combinación de dos o más de las propiedades mencionadas anteriormente. Opcionalmente, la propiedad de coste podría ser una entrada de un usuario.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un medio legible por ordenador, que tiene un código de programa de ordenador como se ha descrito anteriormente.

De acuerdo con aún otro aspecto de la invención, se proporciona un ordenador que comprende: un procesador; y una memoria, en el que al menos uno de entre el procesador y la memoria está adaptado para realizar el método descrito anteriormente.

### Descripción detallada de la invención

El objetivo del método de la presente invención es hacer uso de la propiedad de que el proceso es invariante con respecto al giro alrededor del eje de herramienta para facilitar la planificación del movimiento y con ello aumentar el espacio de trabajo del robot. Ejemplos de procesos invariantes de giro son moler, rociar con un abanico de pulverización circular, y soldar.

A continuación, la presente invención se analiza por medio de una implementación real del método.

*Encontrar trayectorias articuladas factibles para un robot n-dof superficial con un proceso invariante de giro ( $n > 5$ ), donde el proceso está moliendo y el sistema está configurado para:*

- La entrada es un archivo de algún software CAM que describe la trayectoria de la herramienta de molienda
- Las especificaciones del robot reales (cinemáticas y de restricciones). Se ha trabajado con Fanuc R-2000iB, Fanuc LRmate200iB y Kuka KR30ha, que son robots 6-dof.
- La salida es un archivo que describe la trayectoria del robot, el formato se realiza de acuerdo con el proveedor del robot.

La estructura del algoritmo puede describirse como se muestra en la figura 2.

La trayectoria de herramienta deseada  $X(t)$  está representada por las posiciones y orientaciones de herramienta específicas,  $X(t_i)$ ,  $i = 0, \dots, N$ .

Con el fin de buscar un  $q_{Tool}(t)$  adecuado se define una hoja de ruta por los nodos  $q_{Tool}(t_i)$  específicos a lo largo de la trayectoria. Solo se permiten los nodos donde IK ( $X(t_i), q_{Tool}(t_i)$ ) proporciona un  $q_{Robot}(t_i)$  factible en la hoja de ruta, estos nodos se llaman factibles. Puede en cualquier fase en el algoritmo ser ninguno, uno o diversos  $q_{Tool}(t_i)$  para cada tiempo  $t_i$ . Inicialmente, la hoja de ruta se rellena con nodos  $q_{Tool}(t_i)$  al azar. Dos nodos  $q_{Tool}(t_a)$  y  $q_{Tool}(t_b)$  están conectados con un borde si no están demasiado lejos el uno del otro en el tiempo ( $|t_a - t_b| < t_{max}$ ) y el cambio en  $q_{Tool}$  no es demasiado grande. El peso o el coste de un borde se compone de dos partes, una basada en el cambio en  $q_{Tool}$  y la otra basada en los movimientos correspondientes de la articulación del robot, donde el coste más bajo se asigna a un borde con un pequeño cambio en  $q_{Tool}$  y unos pequeños movimientos de la articulación del robot.

La hoja de ruta se busca para una trayectoria más corta usando el algoritmo de Dijkstra.

5 A pesar de que todos los nodos de la hoja de ruta son factibles, la trayectoria encontrada debe controlarse para una factibilidad entre los nodos de la hoja de ruta. Inicialmente, esto se hace en cierta medida para minimizar el tiempo de cálculo. Si se viola la factibilidad en un borde específico de la hoja de ruta, el borde se borra y se busca de nuevo la hoja de ruta. Cuando una trayectoria es factible, debe verificarse de forma minuciosa lo que significa que todos los puntos en la trayectoria del proceso se controlen para la factibilidad. Si la trayectoria no es factible para todos los puntos o si no se encuentra una solución cuando se busca la hoja de ruta, la hoja de ruta se mejora con una serie de nuevos nodos factibles y la búsqueda comienza de nuevo.

10

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un método implementado por ordenador para determinar unas trayectorias articuladas factibles para un robot de n-dof ( $n > 5$ ) en un procesamiento invariante de giro de un objeto, tal como una molienda, una pintura y una soldadura, comprendiendo dicho método las etapas de:
- recibir datos geométricos que representan el objeto;
  - recibir datos geométricos que representan la herramienta de procesamiento;
  - recibir una trayectoria  $X(t)$  de herramienta, en la que  $t$  es el tiempo;
  - 10 • buscar trayectorias  $q_{Robot}(t)$  factibles usando  $IK(t)$  y  $q_{Tool}(t)$  como un conjunto de posibles soluciones en el tiempo  $t$ , en donde  $q_{Robot}(t)$  define posiciones de todas las articulaciones en el robot como una función del tiempo,  $q_{Tool}(t)$  define el giro de una brida de herramienta alrededor del eje de herramienta en el tiempo  $t$ , e  $IK(t)$  define las soluciones cinemáticas inversas para un  $X(t)$  y un  $q_{Tool}(t)$  proporcionados, extendiéndose dicho  $q_{Tool}$  de 0 a 360 grados;
  - 15 • determinar, a partir de los datos geométricos y de  $X(t)$ , cómo debería elegirse la trayectoria  $q_{Robot}(t)$  articulada con el fin de satisfacer uno o más criterios de optimización; y
  - determinar cómo  $q_{Tool}(t)$  puede controlarse con el fin de satisfacer una pluralidad de los criterios de optimización;
- 20 **caracterizado por que** la búsqueda de trayectorias factibles se realiza de forma global en el tiempo, especificando el intervalo de tiempo de la trayectoria completa en  $t_1 < t_2 \dots < t_{N-1} < t_N$ .
- 25 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el criterio de optimización comprende un movimiento libre de colisión.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el criterio de optimización comprende satisfacer las limitaciones en las posiciones de articulación y en las velocidades de articulación.
- 30 4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el criterio de optimización comprende otras limitaciones en los movimientos del robot distintas a las de la reivindicación 3.
5. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende determinar para cada uno de una pluralidad de puntos a lo largo de la trayectoria de interacción una pluralidad de opciones de giros de la brida de herramienta alrededor del eje de herramienta.
- 35 6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, que comprende seleccionar solo orientaciones libres de colisión.
7. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende repetir las etapas para una pluralidad de pares de puntos a lo largo de la trayectoria de interacción.
- 40 8. Un código de programa informático que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan en un ordenador, hacen que el ordenador realice el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
- 45 9. Un medio legible por ordenador, que tiene un código de programa informático de acuerdo con la reivindicación 8.
10. Un ordenador que comprende: un procesador y una memoria, en el que al menos uno de entre el procesador y la memoria está adaptado para realizar el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

Fig. 1

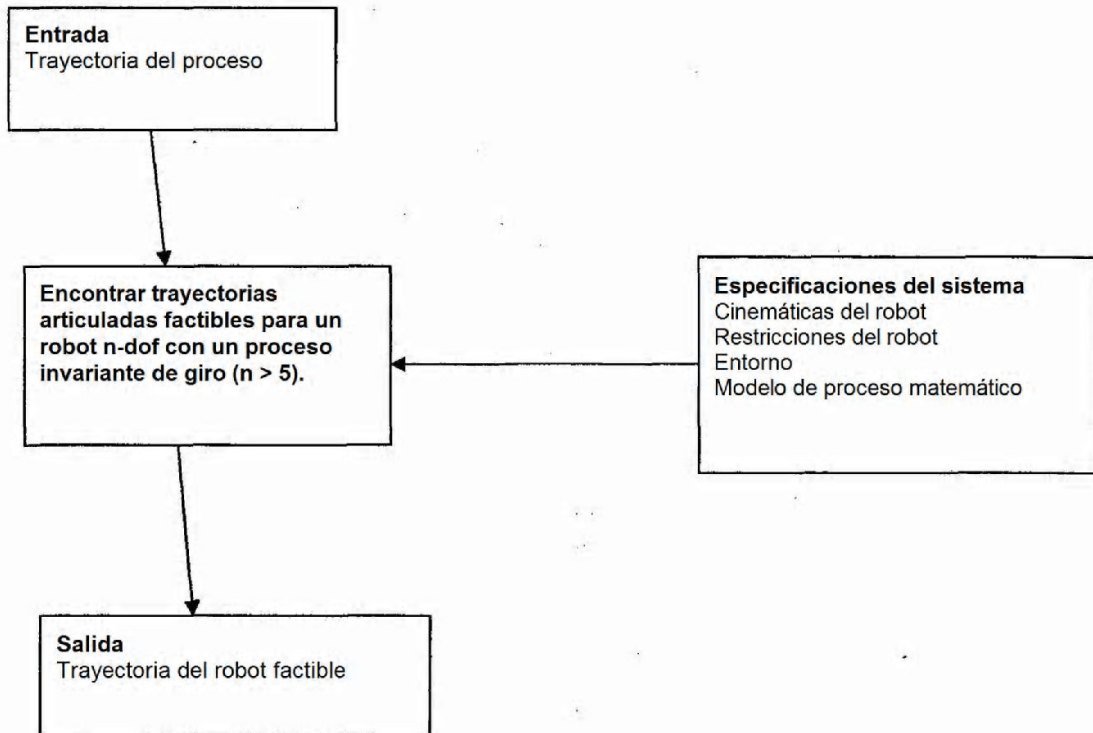




Fig. 2

