

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 648 295**

51 Int. Cl.:

B25J 13/08 (2006.01)

B25J 9/16 (2006.01)

B25J 19/02 (2006.01)

B25J 19/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.10.2015 E 15190255 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2017 EP 3017920**

54 Título: **Robot industrial y procedimiento de control de un robot industrial**

30 Prioridad:

07.11.2014 IT TO20140924

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

29.12.2017

73 Titular/es:

**COMAU S.P.A. (100.0%)
Via Rivalta 30
10095 Grugliasco (Torino), IT**

72 Inventor/es:

**GERIO, GIAN PAOLO;
WIKLUND, ALLAN MATHIAS y
BARONCELLI, ARTURO**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 648 295 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

Robot industrial y procedimiento de control de un robot industrial

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a robots industriales que comprenden un manipulador y una unidad de control del manipulador. La invención se ha desarrollado con referencia particular a la cuestión de la cooperación entre un operador humano y un robot industrial de este tipo.

Técnica anterior

10 Un robot industrial puede funcionar normalmente en un modo manual y al menos en un modo automático, que normalmente se puede seleccionar en la unidad de control del manipulador. El modo de operación manual se selecciona para la programación del robot y, en este modo, el manipulador puede ser maniobrado mediante comandos impartidos manualmente por un operador; en el modo de operación automático, en cambio, el movimiento del manipulador está gobernado exclusivamente por su unidad de control.

15 La actividad de programación de un robot con un cierto número de grados de libertad consiste básicamente en enseñar al robot la trayectoria que un punto de su manipulador tendrá que repetir automáticamente en el curso de las etapas normales de trabajo, para realizar una determinada operación. Este punto está normalmente constituido por el denominado "punto de centro de herramienta" (TCP), que identifica la posición de la parte activa de un efector de extremo del manipulador, entendida aquí como una herramienta de mecanizado o bien como un conjunto que consiste en un dispositivo de agarre y la pieza correspondiente desplazada. La mayor parte del tiempo de programación se dedica a gobernar el robot manualmente para identificar los puntos óptimos de las trayectorias de movimiento del TCP y almacenar las correspondientes coordenadas del mismo. Para ello, puede utilizarse un terminal de programación portátil, también conocido como "consola portátil", o bien un dispositivo de guía manual, montado directamente sobre la estructura móvil del manipulador. También se conoce la programación de un robot industrial en modo fuera de línea (programación fuera de línea - OLP), utilizando para ello un programa adecuado de tipo CAD que simula la célula de trabajo del manipulador y que permite el ajuste de los movimientos necesario para el mecanizado. A diferencia de los casos anteriores, este tipo de programación se realiza sustancialmente de manera remota, es decir, no en la proximidad inmediata del manipulador.

20 Con el fin de gobernar manualmente las variaciones de la postura del manipulador, el operador utiliza pulsadores específicos de la consola portátil, conocidos como botones de desplazamiento o teclas de desplazamiento, que controlan el movimiento de uno o más ejes del robot. Al actuar sobre los botones de desplazamiento de la consola portátil, el TCP puede moverse en una dirección específica, positiva o negativa, dentro de un sistema de referencia seleccionado por el operador entre una pluralidad de sistemas de referencia posibles. Por ejemplo, en un robot antropomórfico con seis grados de libertad se proporcionan al menos los sistemas de referencia "Articulaciones", "Base" y "Herramienta", donde el las articulaciones del sistema se refiere a las articulaciones del robot (un vector en este sistema representa las posiciones angulares de cada una de las articulaciones) y los sistemas Base y Herramienta son sistemas de referencia cartesianos, el primero se refiere a la base del robot y el último al efector 9 de extremo dispuesto en la brida extrema del robot.

30 En comparación con las consolas portátiles, los dispositivos de guía manual permiten que la actividad de programación del robot se vuelva más intuitiva, ya que básicamente consisten en una especie de agarre asociado a la estructura móvil del manipulador en la que el programador actúa para conseguir que el propio manipulador realice los movimientos deseados en la fase de programación. En general, asociado al agarre antes mencionado hay un sensor de fuerza que permite a la unidad de control reconocer la dirección de desplazamiento deseada por el programador (véase, por ejemplo, el documento US 6212443 A). Como alternativa o además de un sensor de fuerza, se puede proporcionar un dispositivo de palanca de mando (véase, por ejemplo, el documento US8412379 B).

45 En la mayoría de las soluciones conocidas, la unidad de control de un robot es capaz de funcionar de acuerdo con tres modos o estados diferentes, a saber, un modo de Programación, un modo Automático y un modo Remoto.

En el modo de programación, un operador actúa en la proximidad del manipulador, como se explicó anteriormente, para gobernar su operación, almacenar los pasos de programación y programar la actividad de operación, mediante la consola portátil o el dispositivo de guía manual.

50 La etapa de la programación del robot es claramente la que implica mayores riesgos para un operador, que debe seguir de cerca el TCP con el fin de comprobar su colocación visual, moviéndose continuamente alrededor del manipulador. Por esta razón, en el modo de Programación normalmente se activan las restricciones de velocidad a los movimientos del manipulador. En el caso de la utilización de una consola portátil, el operador tiene entonces disponible en sus propias manos un pulsador de parada de emergencia y un dispositivo de habilitación que están presentes en el terminal. En la práctica, si en la etapa de programación el activador no se mantiene activo manualmente por el operador, el manipulador no puede realizar ningún movimiento. En el caso de un dispositivo de guía manual, el agarre mismo constituye un tipo de dispositivo habilitador dado que su liberación por parte del

operador provoca una detención del movimiento del robot. Sin embargo, es preferible proporcionar un dispositivo de parada de emergencia y un dispositivo habilitador también en dispositivos de guía manual.

5 En el modo Automático, el robot ejecuta un programa operativo propio, obtenido como se ha explicado anteriormente, posiblemente en combinación con otros aparatos automáticos o de robot, normalmente dentro de una celda protegida del acceso del personal, pero bajo control visual de un operador.

También en el modo Remoto, el robot ejecuta un programa operativo propio dentro de una celda normalmente protegida del acceso del personal, pero en este caso el inicio de la ejecución del programa procede de un supervisor de celda, tal como un PLC que, por ejemplo, controla tanto el robot como otros aparatos automáticos presentes en la propia célula.

10 También en el caso de operaciones de mecanizado realizadas mediante robots industriales en modo Automático o Remoto, puede resultar útil o necesario que un operador se acerque al área de trabajo del manipulador o se mueva dentro de su alcance, por ejemplo, para controlar visualmente la precisión o efectividad de ciertas operaciones llevadas a cabo por el manipulador.

15 Para estos casos, es conocido proporcionar sistemas adecuados diseñados para detectar la presencia de un operador dentro del área de trabajo del manipulador o en su vecindad. Estos sistemas pueden basarse, por ejemplo, en el uso de dispositivos para la adquisición y comparación de imágenes, o bien pueden utilizar escáneres láser o barreras de luz diseñadas para detectar la entrada del operador en el área de trabajo del manipulador. En general, tras la detección realizada, el sistema de vigilancia detiene la operación del robot. El área encuestada también se puede dividir en áreas de diferentes grados de criticidad: en este caso, el operador que se mueve en un área relativamente cerca del manipulador, pero aún fuera de su rango de movimiento recibe una advertencia visual o acústica; si, en cambio, el operador entra en una segunda zona, correspondiente al rango de movimiento antes mencionado, se detiene el movimiento del manipulador.

Un enfoque de este tipo garantiza un alto grado de seguridad para los operadores, pero con frecuencia provoca interrupciones del flujo de producción que no serían estrictamente necesarias.

25 El documento US 2014/067121 A1 divulga un robot industrial y un procedimiento de control que tiene las características de los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 11.

30 El documento EP 1724072 A1 divulga un robot industrial que comprende un acelerómetro montado en el robot para monitorizar el movimiento de un conjunto de herramienta unido a un efector extremo para fines de monitoreo de seguridad. El acelerómetro proporciona una señal de salida al controlador del robot, que el controlador utiliza para supervisar el movimiento del robot y detener ese movimiento cuando se detectan valores predeterminados de aceleración, velocidad y distancia durante la enseñanza de avance del robot.

Sumario y objeto de la invención

35 A la vista de lo expuesto anteriormente, el objeto de la presente invención es proporcionar un robot industrial y un sistema de control para un robot industrial que permita un alto grado de cooperación entre un operador humano y un robot industrial que funcione automáticamente, pero sin poner en peligro los requisitos necesarios de seguridad.

Los anteriores y otros objetos aún, que surgirán claramente a continuación, se consiguen de acuerdo con la presente invención por un robot industrial y por un procedimiento para controlar un robot industrial que presenta las características especificadas en las reivindicaciones siguientes. Las reivindicaciones forman parte integrante de la enseñanza técnica proporcionada en el presente documento en relación con la invención.

40 **Breve descripción de los dibujos**

Objetos, características y ventajas adicionales de la presente invención emergerán claramente de la siguiente descripción y de los dibujos adjuntos, que se proporcionan únicamente a modo de ejemplo explicativo y no limitativo y en los que:

- 45 • La figura 1 es una vista en perspectiva, parcial y esquemática, de un robot industrial según una realización de la invención;
- La figura 2 es una vista en perspectiva parcial y esquemática del robot industrial de la figura 1 en una primera condición de trabajo;
- La figura 3 es una vista en perspectiva parcial y esquemática del robot industrial de la figura 1 en una segunda condición de trabajo;
- 50 • La figura 4 es un diagrama de bloques simplificado destinado a expresar una posible lógica para controlar un robot industrial de acuerdo con una realización de la invención;
- Las figuras 5, 6 y 7 son vistas en perspectiva, parciales y esquemáticas, de un robot industrial según otras realizaciones de la invención; y
- La figura 8 es una vista en perspectiva parcial y esquemática de un robot industrial según una variante de

realización de la invención.

Descripción de realizaciones de la invención

5 La referencia a "una realización" en el marco de la presente descripción pretende indicar que una configuración, estructura o característica particular descrita con relación a la realización está comprendida en al menos una realización. Por lo tanto, las frases tales como "en una realización" y similares que pueden estar presentes en varias partes de la presente descripción no se refieren necesariamente a una y la misma realización. Además, las configuraciones, estructuras o características particulares pueden combinarse de cualquier manera adecuada en una o más realizaciones. Las referencias utilizadas en lo que sigue se proporcionan meramente por conveniencia y no definen la esfera de protección o el alcance de las realizaciones.

Además, se ha señalado que en la siguiente descripción sólo se describirán los elementos útiles para la comprensión de la invención, dando por sentado, por ejemplo, que el robot industrial de acuerdo con la invención comprende todos los elementos conocidos por sí mismos por su operación.

15 En la figura 1 se representa esquemáticamente un robot industrial de acuerdo con una realización de la invención, que comprende un manipulador 1 con un número de grados de libertad, que tiene una estructura 2 mecánica que comprende una pluralidad de partes móviles. En el ejemplo ilustrado, el robot es un robot antropomórfico con seis grados de libertad que tiene una base 3 fija y una columna 4 montada giratoriamente sobre la base 3 alrededor de un primer eje A1 orientado verticalmente. Designado mediante 5 es un brazo montado oscilando sobre la columna 4 alrededor de un segundo eje A2 orientado horizontalmente. Se designa por 6 un codo montado sobre el brazo 5 para girar alrededor de un tercer eje A3 orientado también horizontalmente, el codo 6 soportando un antebrazo 7, diseñado para girar alrededor de su eje A4, que por consiguiente constituye un cuarto eje de movimiento del manipulador 1. El antebrazo 7 está equipado en su extremo con una muñeca 8, montada para el movimiento según dos ejes A5 y A6. Asociado a la pestaña de la muñeca 8 hay un efector de extremo, designado por 9, que en el ejemplo está representado por un dispositivo para sujetar un componente 10 genérico. Como se explica en la parte introductoria de la presente descripción, el efector 9 de extremo y/o la pieza 10 transportada por el mismo identifica el denominado punto de centro de herramienta (TCP).

El efector 9 de extremo puede ser de cualquier otro tipo y ser capaz de realizar cualquier otra función conocida en el sector, por ejemplo, una antorcha de soldadura o una mordaza de soldadura, una pistola de pulverización de pintura o una pistola para aplicar un sellador, un husillo de perforación o de rectificado, etc.

30 Las piezas 4-8 móviles están conectadas entre sí por medio de articulaciones 11, 12, 13 y 14, asociadas a las cuales están respectivos motores 11', 12', 13' y 14' eléctricos, con transmisión correspondiente de engranaje-reductor. Las articulaciones y los motores para la muñeca 8 no se ilustran en las figuras por razones de mayor claridad. En una realización, tal como la ejemplificada, también el efector 9 de extremo tiene respectivos medios accionadores, que no están representados por razones de claridad. Asociados a las articulaciones anteriormente mencionadas, es decir, a los motores correspondientes, están los transductores correspondientes, por ejemplo, un codificador o tipo de resolución, para el control de la posición. Algunos de estos transductores están designados por S en la figura 1.

40 Los movimientos del manipulador 1 y las operaciones que pueden ser llevadas a cabo por el efector 9 de extremo son gestionados por una unidad 15 de control, que está situada en una posición remota con respecto a la estructura 2 y está conectada a las partes eléctricas/electrónicas de esta última a través de un cable 16. La realización práctica del hardware y del software con respecto a la unidad 15, que está provista de un sistema de control de microprocesador respectivo, es independiente de los objetivos de la presente descripción, aparte de algunos aspectos mencionados a continuación que pertenecen a la invención.

45 La unidad 15 de control está configurada para controlar el manipulador 1 en una pluralidad de modos de operación diferentes, entre los cuales al menos un modo de operación automático y preferiblemente también un modo de operación manual. Para ello, la unidad 15 comprende medios 17 de selección, que pueden ser accionados por un usuario para seleccionar un modo de operación deseado entre los posibles. En una realización preferida, el robot es capaz de operar en tres modos seleccionables, es decir, un modo de programación, un modo Automático y un modo Remoto, como se indica en la parte introductoria de la presente descripción. En la figura 1, por lo tanto, la referencia 17 designa un dispositivo para la selección manual del modo de operación deseado entre los indicados.

50 En la unidad de control 1 se aplica el programa o software que monitoriza la operación del manipulador 1, en los tres modos indicados. Este programa - representado esquemáticamente por el bloque 18 - incluye preferiblemente al menos un modelo dinámico para el control del manipulador 1. El software 18, o el correspondiente modelo dinámico, puede definirse según cualquier técnica en sí misma conocida en el sector para el control de robots industriales y, por consiguiente, no se describirá en detalle aquí. Aquí basta señalar que este programa o modelo incluye las relaciones que expresan al menos los valores teóricos de posición, velocidad y aceleración de las partes de la estructura móvil del manipulador 1 (incluyendo sus motores) a efectos de control de su movimiento, así como las relaciones que expresan valores teóricos de par aplicados por los motores eléctricos de las diversas articulaciones de conexión proporcionadas. Para los propósitos del control de la posición también se utilizan obviamente los transductores S.

Como se ha explicado anteriormente, en el modo de programación, un operador "simula" una etapa de mecanizado, que el manipulador 1 será llamado a realizar en el modo Automático o Remoto, variando la postura del manipulador a través de una consola portátil o bien un dispositivo de guía manual (o posiblemente en modo OLP). En el modo Automático o Remoto, los movimientos del manipulador son gobernados directamente por la unidad 15 de control.

- 5 En lo que respecta a lo que interesa específicamente aquí, cuando el robot tiene que funcionar automáticamente (modo Automático o Remoto), los motores eléctricos asociados a las articulaciones y la muñeca de la estructura 2 son accionados por la unidad 15 según los perfiles de velocidad de trabajo determinada por el programa 18 de control, es decir, por el correspondiente modelo dinámico.

- 10 El robot industrial de acuerdo con la invención incluye un primer sistema de detección preestablecido para detectar la posible presencia de un operador o más en general de un cuerpo extraño en una zona de trabajo predefinida del manipulador 1. Este sistema de detección puede comprender, por ejemplo, uno o más dispositivos seleccionados entre dispositivos de sensor de imagen, dispositivos de detección de haz de luz (luz visible y no visible), dispositivos de radiofrecuencia, dispositivos de transductor de fuerza.

- 15 En una realización, por ejemplo, el primer sistema de detección incluye un sistema de vigilancia basado en el uso de una pluralidad de unidades de registro de imágenes. Los sistemas de este tipo son en sí mismos bien conocidos en el campo y no requieren ninguna descripción en profundidad. Aquí basta recordar que en estos sistemas diferentes unidades de grabación registran imágenes de un área tridimensional bajo vigilancia, y una unidad de procesamiento detecta la presencia de cuerpos extraños en el área tridimensional, sobre la base de comparaciones hechas entre las imágenes registradas por las distintas unidades. Para una descripción de un ejemplo de este tipo de sistemas de
20 detección, se hace referencia al lector del documento US2009268029 A, cuyas enseñanzas se consideran incorporadas aquí como referencia. Por ejemplo, en la realización ilustrada en las figuras 1 y 2, designada en su conjunto por 19, está un dispositivo de detección que incluye una pluralidad de unidades de registro de imágenes, por ejemplo, obtenidas de acuerdo con la técnica descrita en el documento US2009268029 A antes mencionado (véase, en particular, la figura 4 de este documento anterior).

- 25 En la figura 2, el área tridimensional, designada por 20, sometida a vigilancia por el dispositivo 19 es el área dentro de los límites de los cuales puede moverse la estructura 2 móvil del manipulador 1, en particular con referencia a su parte más extrema representado aquí por el efector de extremo que incluye el dispositivo 9 de agarre y por la pieza correspondiente 10 que se maneja (puede observarse que en la figura 2, como en las figuras 3 y 5-7, el área 20 de trabajo del manipulador 1 está representada con dimensiones menores que las teóricamente posibles en vista de las
30 articulaciones del propio manipulador).

- El robot de acuerdo con la invención incluye además un segundo sistema de detección, que comprende uno o más sensores inerciales instalados en el manipulador 1. En la realización de la figura 1, están previstos, por ejemplo, tres sensores 21 inerciales, montados respectivamente en el brazo 5, en el antebrazo 7, y en el efector 9 de extremo. En una realización preferida, los sensores 21 son acelerómetros de tipo comercial, pero no excluidos del alcance de la
35 invención es el caso del uso de giroscopios.

- El robot industrial de acuerdo con la invención incluye además un tercer sistema de detección que comprende medios para medir el par aplicado por al menos algunos de los motores eléctricos del manipulador 1, como por ejemplo los motores 11'-14' y los motores asociados a la muñeca 8. También los medios para medir el par de torsión pueden ser de cualquier tipo conocido en el sector. En una realización particularmente ventajosa, la medida del par se realiza indirectamente, y para ello se proporcionan medios para medir la corriente absorbida por los motores antes mencionados. De acuerdo con una técnica conocida en sí, el programa 18 implementado en la unidad 15 de control incluye las relaciones existentes entre los valores de par que pueden ser aplicados por los motores antes mencionados y las correspondientes absorciones de corriente. Estos medios de medición, que preferiblemente comprenden uno o más sensores amperométricos en la unidad 15 de control, están representados
45 esquemáticamente en la figura 1 por el bloque 22.

De acuerdo con la invención, la unidad 15 está preajustada de tal manera que - cuando el robot funciona automáticamente (es decir, en el modo Automático o en el modo Remoto), la detección por el primer sistema 19 de detección de la presencia de un cuerpo extraño, es decir, un operador, dentro del área 20 de trabajo determina la selección automática de un modo de operación automático seguro.

- 50 Tal caso se ejemplifica en la figura 3, donde designado por HO hay un operador que entra en el área 20, por ejemplo, para llevar a cabo un control cualitativo de la operación del manipulador 1.

- Después de la conmutación automática en el modo de operación seguro automático anteriormente mencionado, la unidad 15 de control regula la reducción de las velocidades de accionamiento de los motores eléctricos del manipulador 2 con respecto a las velocidades de trabajo impuestas por el programa de control para realizar las
55 operaciones de mecanizado en Modo Automático o Remoto. En mayor detalle, las velocidades de los motores se reducen a velocidades de seguridad determinadas por el programa 18 para el modo de operación automático seguro. Estas velocidades de seguridad no son superiores a un umbral de velocidad predeterminado, considerado suficientemente seguro: preferiblemente, este umbral es de 250 mm/s.

En el caso en que el operador HO salga del área 20 de trabajo - circunstancia detectada a través del sistema 19 de vigilancia - la unidad 15 de control gobierna el retorno del robot a la condición de operación normal, es decir, al modo Automático o al modo Remoto seleccionado originalmente de forma manual.

5 En el modo de operación automático seguro, la unidad 15 de control - además de reducir la velocidad de los motores - supervisa el estado de los segundos y terceros sistemas 21 y 22 de detección antes mencionados para detectar un posible impacto entre las partes móviles de la estructura 2 del manipulador 1 y el operador HO (u otro cuerpo extraño) presente en el área 20 de trabajo sometida a vigilancia por el primer sistema 19 de detección.

10 De acuerdo con una característica de la invención, se utilizan ambos sistemas 21 y 22 de detección para este fin. La detección de cualquier posible impacto basado en el uso de los acelerómetros 21 se realiza comparando cíclicamente los valores de aceleración teóricos determinados por el programa 18 de control con los valores de aceleración real medidos a través de los acelerómetros 21. El algoritmo específico de comparación puede ser de cualquier tipo que se considere adecuado para el propósito. Por ejemplo, un criterio posible es calcular la diferencia entre el valor teórico de la aceleración y el valor de la aceleración medida y verificar si esta diferencia es igual o superior a un umbral predefinido, por ejemplo, igual al 10 % del valor teórico de aceleración.

15 El presente solicitante ha encontrado que el uso de acelerómetros u otros sensores inerciales resulta perfectamente adecuado para detectar impactos de tipo impulsivo, es decir, impactos instantáneos o repentinos contra la estructura móvil del manipulador, que en una unidad de tiempo (por ejemplo 1 s) dan lugar a una alta energía y como tal generan en un sensor inercial un impulso que se distingue claramente (por ejemplo, un operador que choca contra la estructura del robot con un brazo o con un objeto genérico rígido que tiene en su mano).

20 En cambio, las señales generadas por este tipo de sensores no permiten una discriminación precisa (si no a expensas de una carga considerable de la lógica de control y de la capacidad de procesamiento de la unidad 15) de impactos de tipo no impulsivo, es decir, contactos con la estructura del robot que son prolongados y que en la unidad de tiempo tienen una baja energía (se considera, por ejemplo, el caso de una parte de la estructura móvil del manipulador que ejerce una presión progresiva sobre una parte del cuerpo de un operador).

25 Por esta razón, según la invención, la unidad 15 de control, paralelamente a la monitorización de posibles colisiones por el sistema 21 de acelerómetros, realiza también una monitorización basada en el análisis del par aplicado por los motores que accionan las partes móviles del manipulador 1. También en este caso, básicamente, la unidad 15 compara cíclicamente los valores teóricos de par determinados por el programa 18 de control con los valores de par medidos a través del sistema 22 de detección. En el ejemplo considerado aquí, tal como se ha dicho, este tipo de
30 monitorización es indirecta y se basa en la comparación entre las absorciones teóricas y las absorciones reales de los motores eléctricos asociados a las partes móviles del manipulador 1. También en este caso, el algoritmo específico de comparación puede ser de cualquier tipo que se considere adecuado para el propósito. Por ejemplo, también en este caso un criterio posible es calcular la diferencia entre el valor teórico de absorción y el valor medido de absorción y verificar si esta diferencia es igual o superior a un umbral predefinido, por ejemplo, igual al 10 % del
35 valor teórico de la aceleración.

La supervisión de los valores reales de par o absorción de corriente, por otra parte, no permite una discriminación rápida y precisa del impacto de un tipo impulsivo. Por esta razón, de acuerdo con el planteamiento propuesto en este documento, los sistemas 21 y 22 deben entenderse como complementarios entre sí, a los efectos de una
40 detección más conveniente y rápida de cualquier posible impacto de partes móviles del manipulador 1 contra el operador HO u otro cuerpo extraño presente en el área 20 de trabajo.

Después de la detección de un impacto - a través del sistema 21 y/o del sistema 22 - la unidad 15 de control gobierna la detención del movimiento de la estructura 2 del manipulador 1 o bien gobierna una inversión de su movimiento, en particular antes de su detención, por ejemplo, para un recorrido dado (el manipulador puede ser accionado en sentido inverso hasta que adopte una postura predefinida, por ejemplo, con las partes de su estructura
45 en una posición lo más vertical posible). La detención o reversión de movimiento tiene como objetivo salvaguardar al operador HO después de detectar un impacto.

Como puede observarse, de acuerdo con la invención, se permite un alto grado de cooperación entre un robot, si bien funciona automáticamente, y un operador que entra en el área de trabajo del manipulador correspondiente, pero en cualquier caso en condiciones de alto grado de seguridad.

50 Se apreciará, por ejemplo, que, si el operador HO tiene que moverse por cualquier razón en el área 20, la operación del manipulador 1 no se interrumpe, pero este último asume una condición de operación seguro, que se distingue por desplazamientos extremadamente lentos de su estructura, con baja aceleración y baja energía (operando a baja velocidad, de hecho, la estructura móvil del manipulador no puede generar alta energía en un corto lapso de tiempo). Esta velocidad de seguridad permite al operador HO detenerse o moverse con total seguridad dentro del área 20, es
55 decir, sin necesidad de realizar desplazamientos rápidos o preocuparse por posibles movimientos repentinos del manipulador 1. La velocidad reducida permite una cooperación eficaz entre el operador y el robot también con el fin de ejecutar una operación de mecanizado, por ejemplo, con el operador que pasa una pieza de trabajo al manipulador, o bien que recoge una pieza mecanizada del manipulador, o de nuevo con el manipulador que soporta

una pieza en la que el operador lleva a cabo una operación manual o una operación realizada con ayuda de una herramienta, por ejemplo, una llave.

5 La salida del operador HO desde el área 20 determina automáticamente la restauración del estado normal de trabajo del robot, tal como el modo Automático o el modo Remoto, a la velocidad más alta prevista por el programa para la operación normal.

Incluso en el caso de que una parte móvil del manipulador 1 entre en contacto con el cuerpo del operador HO, los efectos del impacto son modestos debido a la baja velocidad de desplazamiento del manipulador: en cualquier caso, la protección de la persona es alta, a causa de la detención inmediata del movimiento del manipulador y/o de la inversión de su movimiento después de la detección del impacto.

10 La figura 4 representa un diagrama de bloques simplificado, destinado a ejemplificar un posible programa de control para un robot industrial, limitado a la parte que pertenece a la presente invención.

15 El bloque 100 es el bloque que representa el inicio del programa, por ejemplo, en el caso de una orden de inicio impartida a través de la unidad 15. El control pasa al bloque de prueba 101, mediante el cual se comprueba si se ha seleccionado un modo manual (modo de programación). Si es (salida SÍ), el control pasa al bloque 102 para la gestión de la programación del robot, de acuerdo con las modalidades en sí conocidas que son independientes de la presente invención. Si no es (salida NO), se selecciona un modo automático (modo Automático o Remoto), y el control que pasa entonces al bloque 103, para la gestión de la operación del robot de acuerdo con el programa de trabajo definido por la aplicación específica, también en este caso según las modalidades en sí conocidas que son independientes de la presente invención.

20 El control pasa entonces al siguiente bloque 104, para la activación del primer sistema 19 de detección, es decir, el sistema de vigilancia del área de trabajo del manipulador 1. A través del siguiente bloque 105 de ensayo se comprueba si el sistema 19 detecta o no la presencia de un operador HO (o, más en general, de un cuerpo extraño) en el área 20 de trabajo. Si no lo hace (salida NO), se repite la comprobación, mientras que si lo hace (salida SÍ), el control pasa al bloque 16, para la activación del modo de operación automático seguro, con la consecuente reducción de la velocidad de desplazamiento de la estructura del manipulador. El control pasa entonces al bloque 25 107, para controlar cualquier posible impacto por los sistemas 21 y 22 de detección.

30 En el caso de ausencia de detección de impacto (salida NO), se repite la monitorización, mientras que en el caso de detección de impacto (salida SÍ), el control pasa al bloque 109, que se refiere a la orden de detención del movimiento del manipulador 1, después de una posible inversión previa de su movimiento o desplazamiento hacia una posición de mentira predefinida. El control pasa entonces al bloque 110 para el final del programa.

35 Como ya se ha mencionado, el diagrama de la figura 4 se proporciona meramente a modo de ejemplo, en la medida en que pretende resumir de manera intuitiva las etapas del procedimiento de control propuesto. Por ejemplo, en realidad, es preferible que el control realizado por el sistema de detección 19 se lleve a cabo de manera constante (a diferencia de lo que está representado por el bloque 105 de la figura 4) de manera que, cuando el operador HO retrocede del área 20 de trabajo del manipulador 1, el robot sale autónomamente del modo de operación automático seguro, para volver al modo Automático o Remoto.

Como se ha mencionado anteriormente, el primer sistema de detección no se basa necesariamente en el uso de dispositivos sensores de imágenes, siendo posible utilizar cualquier otro sistema de detección de presencia para este fin.

40 La figura 5, por ejemplo, representa esquemáticamente el caso de un sistema de detección de presencia basado en el uso de sensores de fuerza. En el caso ejemplificado, el área 20 de trabajo del manipulador 1 está sustentada por una plataforma o base 19₁, a la que se asocian sensores de fuerza o células de carga (no indicados) destinados a detectar la presencia en la propia plataforma de cuerpos extraños que tienen un peso superior a un cierto umbral, por ejemplo 1 kg. Como puede apreciarse, cuando el operador HO se mueve sobre la plataforma 19₁, su presencia se detecta a través de los sensores de fuerza antes mencionados, con el robot que se mueve automáticamente al modo de operación automático seguro y luego regresa al modo Automático o Remoto cuando el operador abandona la plataforma.

50 La figura 6 representa esquemáticamente el caso de un sistema de detección de presencia basado en el uso de dispositivos de haz de luz o dispositivos de barrera de luz, por ejemplo, escáneres láser 19₂ dispuestos de modo que los haces emitidos circunscriban al menos en parte el área 20 de trabajo del manipulador 1. En la figura 6, los escáneres circunscriben toda el área 20 lateralmente, pero esta última podría circunscribirse en parte mediante estructuras metálicas y en parte a través de un escáner láser. Por supuesto, también se pueden utilizar otros dispositivos para el propósito de generar haces de luz o barreras de luz que, cuando son interrumpidos por el operador HO, determinan el paso del robot al modo de operación automático seguro. En aplicaciones de este tipo, es preferible que el robot se restablezca manualmente a la condición de trabajo normal (es decir, el modo 55 Automático o Remoto), por ejemplo, actuando sobre un medio de control previsto en la unidad 15 de control, para no para complicar excesivamente la vigilancia del sistema de detección de presencia.

La figura 7 representa esquemáticamente el caso de un sistema de detección de presencia basado en el uso de dispositivos de radiofrecuencia, en particular un sistema RFID. En esta realización, el sistema de identificación comprende un transpondedor 19₃ portátil, en particular configurado para ser transportado por un operador HO. En el ejemplo, el transpondedor 19₃ está asociado a una banda 25 que el operador HO lleva en su brazo. El transpondedor 19₃ pueden asociarse, por supuesto, a otros objetos o prendas que tienen que ser llevadas o llevadas por un operador, tales como, por ejemplo, una chaqueta, un guante, una placa, gafas, etc. El sistema de detección comprende entonces un lector 19₄ de transpondedor, instalado dentro del área 20 de trabajo.

En este caso, el rango de transmisión/recepción del sistema 19₃ a 19₄ RFID se elige de tal manera que cubre un área tridimensional al menos correspondiente al intervalo en el que el manipulador 1 es capaz de moverse.

Un sistema RFID del tipo indicado se puede utilizar ventajosamente en combinación con un sistema de vigilancia diferente, por ejemplo, un sistema basado en sensores de imagen del tipo designado anteriormente por 19. En una realización de este tipo, la lógica de control del robot puede preajustarse de manera que implemente diferentes niveles de seguridad, es decir, garantizar la cooperación del robot de acuerdo con la invención sólo con operadores cualificados.

Con referencia, por ejemplo, a la figura 7, el sistema RFID puede estar preordenado de manera que cubra un área 20 tridimensional al menos igual o mayor que la cubierta por el sistema 19, por ejemplo, que corresponde sustancialmente al área 20 de trabajo del manipulador 1. En el caso en que un operador sin el transpondedor 19₃ (es decir, un operador "no autorizado") entra en el área 20, su presencia es detectada en cualquier caso por el sistema 19, con la unidad 15 de control que por consiguiente detiene el movimiento del manipulador 1. En cambio, si el operador HO que se desplaza al área inspeccionada por el sistema 19 lleva consigo el transpondedor 19₃ (y por lo tanto es un operador "autorizado"), se reconoce a través del lector 19₄ de modo que el sistema no provoque el paro de la operación del robot, sino el paso al modo de operación automático seguro, como se ha descrito anteriormente.

Por supuesto, un sistema basado en el uso de dispositivos de radiofrecuencia del tipo al que se hace referencia puede utilizarse en combinación también con sistemas de vigilancia que no utilizan sensores de imagen, tales como por ejemplo sistemas del tipo descrito con referencia a las figuras 5 y 6.

En una realización, con el fin de aumentar aún más la seguridad de los operadores que han de operar en la proximidad del manipulador 1, pueden estar asociados a una o más partes móviles de los últimos elementos de cubierta que tienen preferiblemente una estructura que es flexible al menos en parte.

Un ejemplo de este tipo está representado esquemáticamente en la figura 8, donde asociados al brazo 5 y al antebrazo 7 del manipulador 1 hay elementos de cubierta, designados por 30, con una forma sustancialmente tubular, que básicamente tienen la función de atenuar cualquier posible impacto entre las partes antes mencionadas y un operador. Por supuesto, la conformación específica de los elementos 30 de cubierta proporcionados puede ser diferente de la ejemplificada, en particular para reproducir el perfil de la estructura del manipulador 1, sin incrementar significativamente su carga. En una realización de este tipo, el sensor o los sensores inerciales del segundo sistema de detección que equipa al robot de acuerdo con la invención pueden estar asociados al elemento o elementos de cubierta proporcionados.

A partir de la descripción anterior, las características de la presente invención emergen claramente, al igual que sus ventajas.

Está claro que el experto en la técnica puede realizar numerosas variaciones al robot industrial y al procedimiento de control descrito a modo de ejemplo en este documento, sin apartarse por ello del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones siguientes.

En una variante particularmente ventajosa de realización, la unidad de control del robot de acuerdo con la invención está preordenada para almacenar información que representa los valores de aceleración medidos a través del sistema de detección basado en los sensores 21 inerciales. Esta medida puede resultar particularmente útil para fines de diagnóstico y para verificar el estado de servicio y operación del manipulador. Para ello, por ejemplo, puede preverse una comparación periódica entre los valores de aceleración teóricos determinados por el software de control del robot y los valores detectados realmente por los sensores 21, almacenados en la unidad 15 de control y posiblemente procesados (por ejemplo, para obtener valores medios). A este respecto, se ha de considerar que los sensores 21 se mantienen en cualquier caso activos en el curso de las operaciones de mecanizado realizadas en modo Automático o Remoto. La comparación entre los valores teóricos y los reales puede hacerse a través de un programa de diagnóstico proporcionado a propósito implementado en la unidad 15 de control. La presencia de desviaciones significativas entre los valores esperados y los medidos realmente puede considerarse como representativa de posibles problemas de la estructura mecánica del manipulador, por ejemplo, debido al comienzo de la actividad o al rendimiento.

Pueden aplicarse consideraciones similares en relación con la posibilidad de almacenar información que representa valores de absorciones de par o de corriente que pueden medirse a través del correspondiente sistema 22 de detección, que también se puede comparar con valores teóricos homólogos para deducir posibles condiciones defectuosas del manipulador, debido, por ejemplo, a su desgaste, actividad o rendimiento.

5 La invención puede aplicarse a robots industriales de diferentes tamaños y cargas, y por consiguiente, tanto robots para cargas modestas (por ejemplo, unos pocos kilogramos) como robots para cargas elevadas (por ejemplo, cientos de kilogramos), así como para robots de tipo diferente de los antropomórficos aquí ejemplificados, por ejemplo robots con configuración cartesiana, configuración cilíndrica, configuración polar y configuración SCARA (Brazo de Robot de Conjunto de Conformidad Selectiva). Por consiguiente, también las articulaciones que conectan las partes rígidas de la estructura móvil del manipulador pueden ser de un tipo diferente según el tipo de robot, tales como las articulaciones rotoidales, las articulaciones prismáticas o las articulaciones helicoidales.

REIVINDICACIONES

1. Un robot (1, 15) industrial que comprende:

- un manipulador (1) con un número de grados de libertad (A1-A6), que tiene una estructura (2) mecánica que comprende una pluralidad de partes (4-9) móviles, entre las cuales un efector (9) de extremo y una o más articulaciones (11-14) de conexión accionadas por motores (11'-14') eléctricos con correspondientes transductores (S) de posición asociados;
 - una unidad (15) de control del manipulador (1), que comprende medios (17) de selección operables por un usuario para la selección de una pluralidad de posibles modos de operación del robot (1, 15), entre los cuales al menos un modo de operación automático;
 - un primer sistema (19, 19₁; 19₂; 19₃-19₄) de detección, para detectar la posible presencia de un cuerpo extraño (HO) en un área (20) de trabajo predefinida del manipulador (1), en particular, un ser humano;
 - un segundo sistema (21) de detección, que comprende uno o más sensores inerciales instalados en el manipulador (1);
- en el que en la unidad (15) de control está implementado un programa (18) para el control del manipulador (1), incluyendo el programa (18) de control relaciones que expresan valores teóricos de posición, velocidad y aceleración de partes (4-9) de la estructura (2) mecánica;
- en el que la unidad (15) de control está predispuesta para accionar los motores (11'-14') eléctricos a velocidades de trabajo determinadas por el programa (18) de control al menos en el modo de operación automático;
- en el que la unidad (15) de control está predispuesta de tal manera que, con el robot (1, 15) en el modo de operación automático, la detección mediante el primer sistema (19; 19₁; 19₂; 19₃-19₄) de detección de la presencia de un cuerpo extraño (HO) dentro del área (20) de trabajo predefinida del manipulador (1), determina la selección de un modo de operación automático seguro del robot (1, 15);
- en el que, en el modo de operación automático seguro, la unidad (15) de control es operativa para:

- reducir las velocidades de los motores (11'-14') eléctricos a velocidades de seguridad determinadas por el programa (18) de control, no superiores a un umbral de velocidad inferior a las velocidades de trabajo; y
- en el caso de la detección de un impacto de la estructura (2) mecánica contra un cuerpo (HO) extraño, detener el movimiento de la estructura (2) mecánica y/o gobernar la inversión del movimiento de la estructura (2) mecánica, en particular, antes de la detención de esta última,

caracterizado porque:

- el robot industrial comprende además un tercer sistema (22) de detección, que comprende medios para medir el par aplicado por los motores (11'-14') eléctricos;
- el programa (18) de control incluye también relaciones que expresan valores teóricos de par aplicados por los motores (11'-14') eléctricos; y
- en el modo de operación automático seguro, la unidad (15) de control es también operativa para:
 - comparar los valores de aceleración teóricos determinados por el programa (18) de control con los valores de aceleración medidos a través del segundo sistema (21) de detección para detectar un posible impacto impulsivo de la estructura (2) mecánica contra un cuerpo (HO) extraño;
 - comparar valores teóricos de par determinados por el programa (18) de control con valores de par medidos a través del tercer sistema (22) de detección para detectar un posible impacto no impulsivo de la estructura (2) mecánica contra un cuerpo (HO) extraño.

2. El robot industrial según la reivindicación 1, en el que el uno o más sensores inerciales del segundo sistema (21) de detección se seleccionan entre acelerómetros y giroscopios.

3. El robot industrial según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el primer sistema (19; 19₁; 19₂; 19₃-19₄) de detección comprende uno o más dispositivos seleccionados entre dispositivos sensores (19) de imagen, dispositivos (19₁) de transductor de fuerza, dispositivos (19₂) de detección de haz de luz o de barrera de luz, y dispositivos (19₃-19₄) de radiofrecuencia.

4. El robot industrial según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tercer sistema (22) de detección comprende medios para medir la corriente eléctrica absorbida por los motores (11'-14') eléctricos.

5. El robot industrial según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que asociados a una o más partes de la estructura (2) mecánica están los elementos (30) de cubierta, en particular, elementos de cubierta que tienen una estructura flexible.

6. El robot industrial según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el primer sistema de detección comprende un sistema (19₃-19₄) de identificación por radiofrecuencia.

7. El robot industrial según la reivindicación 6, en el que el sistema (19₃-19₄) de identificación por radiofrecuencia comprende un transpondedor (19₃) portátil, en particular configurado para ser llevado por un operador (HO), y un

lector (19₄) de transpondedor instalado en el área (20) de trabajo predefinida.

8. El robot industrial según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la unidad (15) de control está predispuesta para:

5 almacenar al menos una de la información que representa los valores de aceleración medidos a través del segundo sistema (21) de detección y la información que representa los valores de par medidos a través del tercer sistema (22) de detección; y utilizar dicha información con fines de diagnóstico y/o propósitos de verificación del estado de operación del manipulador (1).

10 9. El robot industrial según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el umbral de velocidad no es superior a 250 mm/s.

15 10. El robot industrial según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos dos sistemas (19, 19_{3-19₄}) de detección diferentes para detectar la posible presencia de un operador (HO) humano en un área (20) de trabajo predefinida del manipulador (1), incluyendo uno de los dos sistemas de detección una disposición (19_{3-19₄}) RFID.

11. Un procedimiento de control de un robot industrial (1, 15) que comprende:

20 - un manipulador (1) con un número de grados de libertad (A1-A6) que tiene una estructura (2) mecánica que comprende una pluralidad de partes (3-9) móviles, entre las cuales un efector (9) de extremo y una o más articulaciones (11-14) de conexión accionadas por motores (11'-14') eléctricos con transductores (S) de posición correspondientes asociados;
- una unidad (15) de control del manipulador (1), que comprende medios (17) de selección que pueden ser accionados por un usuario para la selección de una pluralidad de posibles modos de operación del robot (1, 15), entre los cuales al menos uno modo de operación automático;

25 comprendiendo el procedimiento:

- implementar en la unidad (15) de control un programa (18) de control del manipulador (1), incluyendo el programa (18) de control relaciones que expresan valores teóricos de posición, velocidad y aceleración de las partes (4-9) de la estructura (2) mecánica;
30 - accionar los motores (11'-14') eléctricos a velocidades de trabajo determinadas por el programa (18) de control al menos en el modo de operación automático;
- proporcionar un primer sistema (19, 19₁; 19₂; 19_{3-19₄}) de detección para detectar la posible presencia de un cuerpo (HO) extraño dentro de un área (20) de trabajo predefinida del manipulador (1), en particular un ser humano;
35 - proporcionar un segundo sistema (21) de detección, que comprende uno o más sensores inerciales instalados en el manipulador (1);
en el que, con el robot (1, 15) en el modo de operación automático, la unidad (15) de control selecciona un modo de operación automático seguro después de la detección, por el primer sistema (19; 19₁; 19₂; 19_{3-19₄}) de detección, de la presencia de un cuerpo (HO) extraño dentro del área (20) de trabajo predefinida del manipulador (1);
40 en el que, en el modo de operación automático seguro, la unidad (15) de control:

45 - reduce las velocidades de los motores (11'-14') eléctricos a velocidades de seguridad determinadas por el programa (18) de control, no superiores a un umbral de velocidad inferior a las velocidades de trabajo;
- en el caso de detección de un impacto entre la estructura (2) mecánica y un cuerpo (HO) extraño, se detiene el movimiento de la estructura (2) mecánica, y/o gobierna la inversión del movimiento de la estructura (2) mecánica, en particular antes de la detención de este último, **caracterizado porque** el procedimiento comprende, además:

50 - proporcionar un tercer sistema (22) de detección, que comprende medios para medir el par aplicado por los motores (11'-14') eléctricos,
- incluir también en el programa (18) de control relaciones que expresan valores teóricos de par aplicados por los motores (11'-14') eléctricos;
- en el modo de operación automático seguro, la unidad (15) de control:

55 - compara los valores de aceleración teóricos determinados por el programa (18) de control con valores de aceleración efectivos medidos a través del segundo sistema (21) de detección para detectar un posible impacto impulsivo de la estructura (2) mecánica contra un cuerpo (HO) extraño; y
60 - compara valores teóricos de par determinados por el programa (18) de control con valores efectivos de par medidos a través del tercer sistema (22) de detección para detectar un posible impacto no impulsivo de la estructura (2) mecánica contra un cuerpo (HO) extraño.

Fig. 1

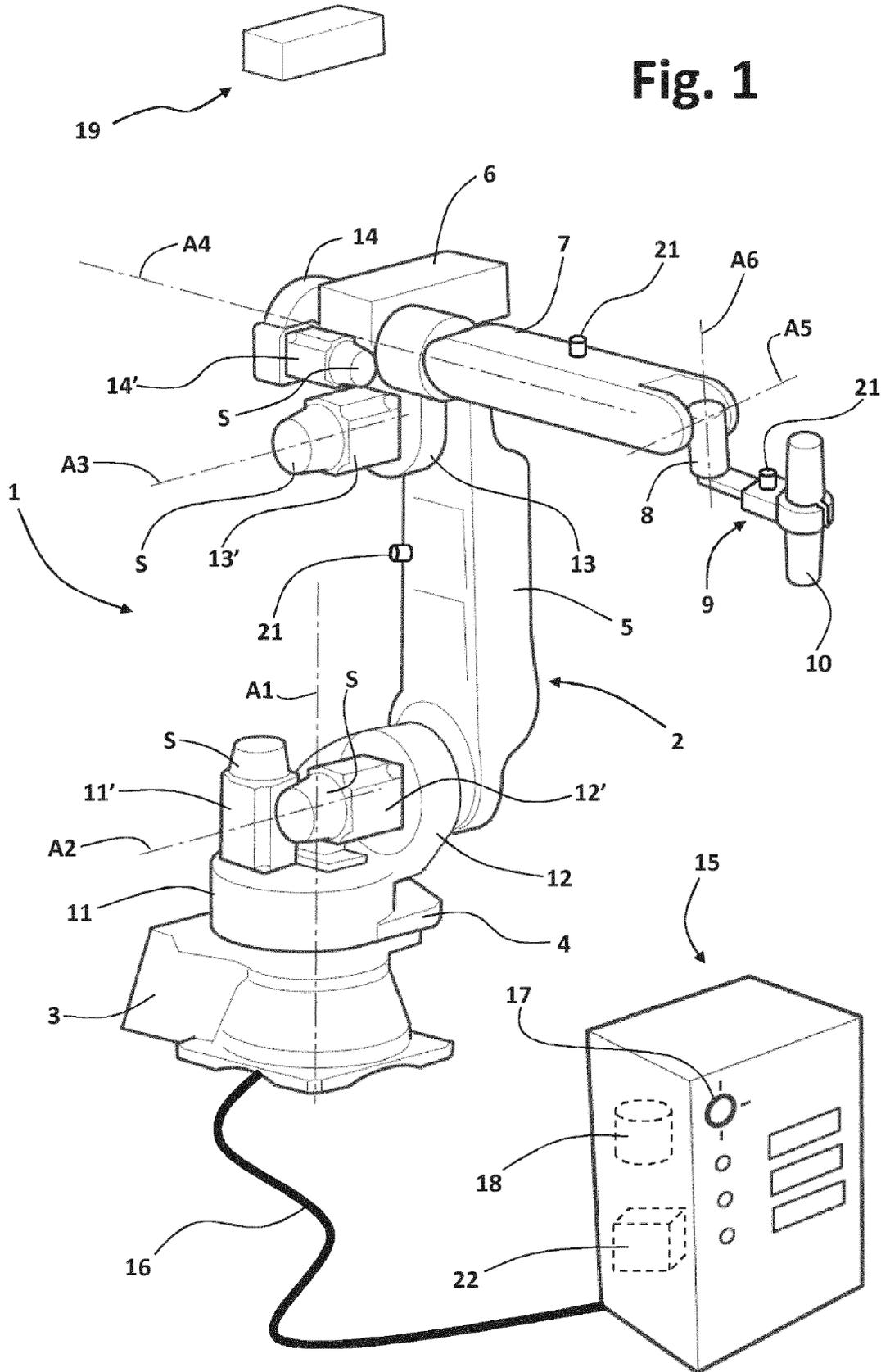
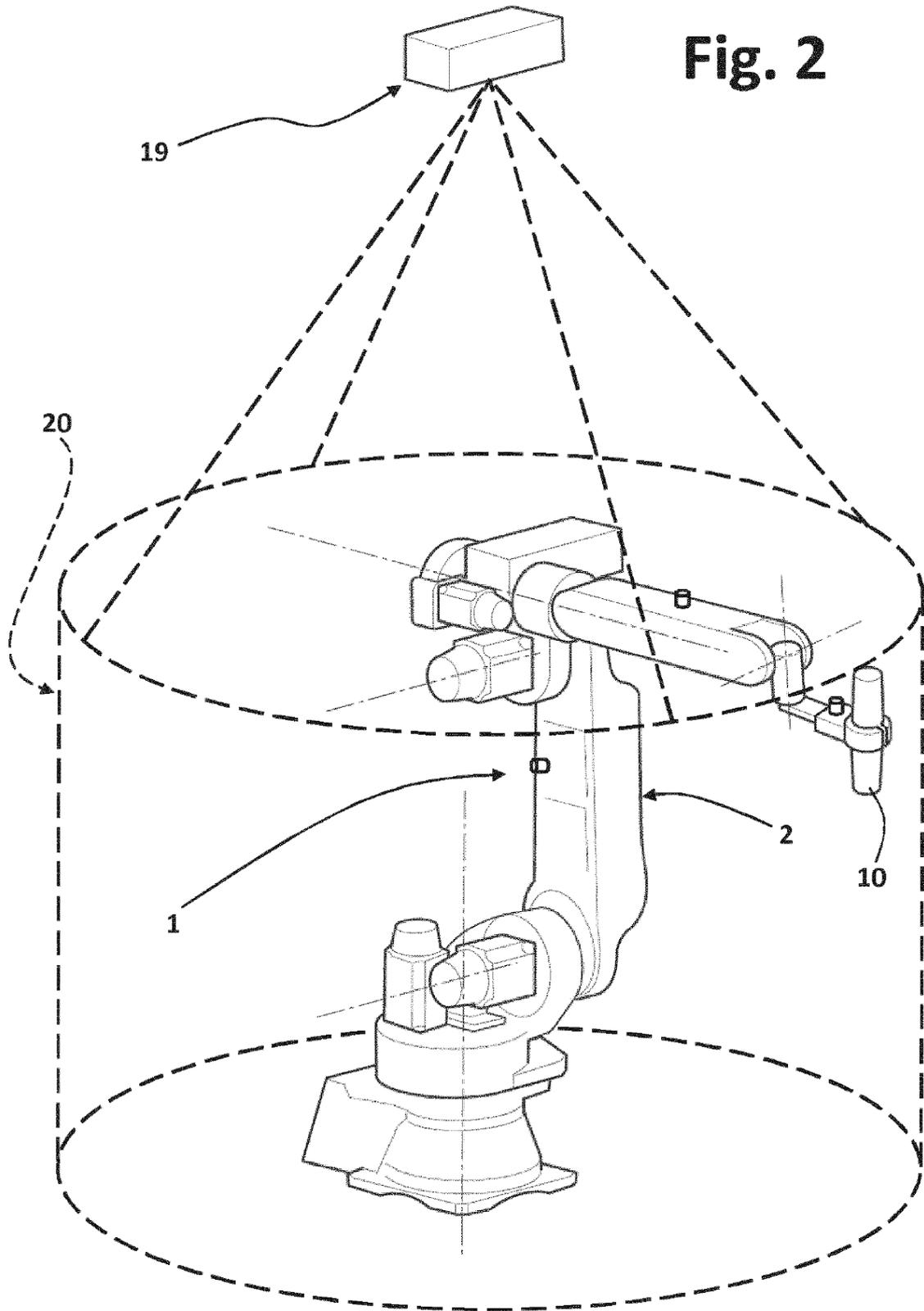


Fig. 2



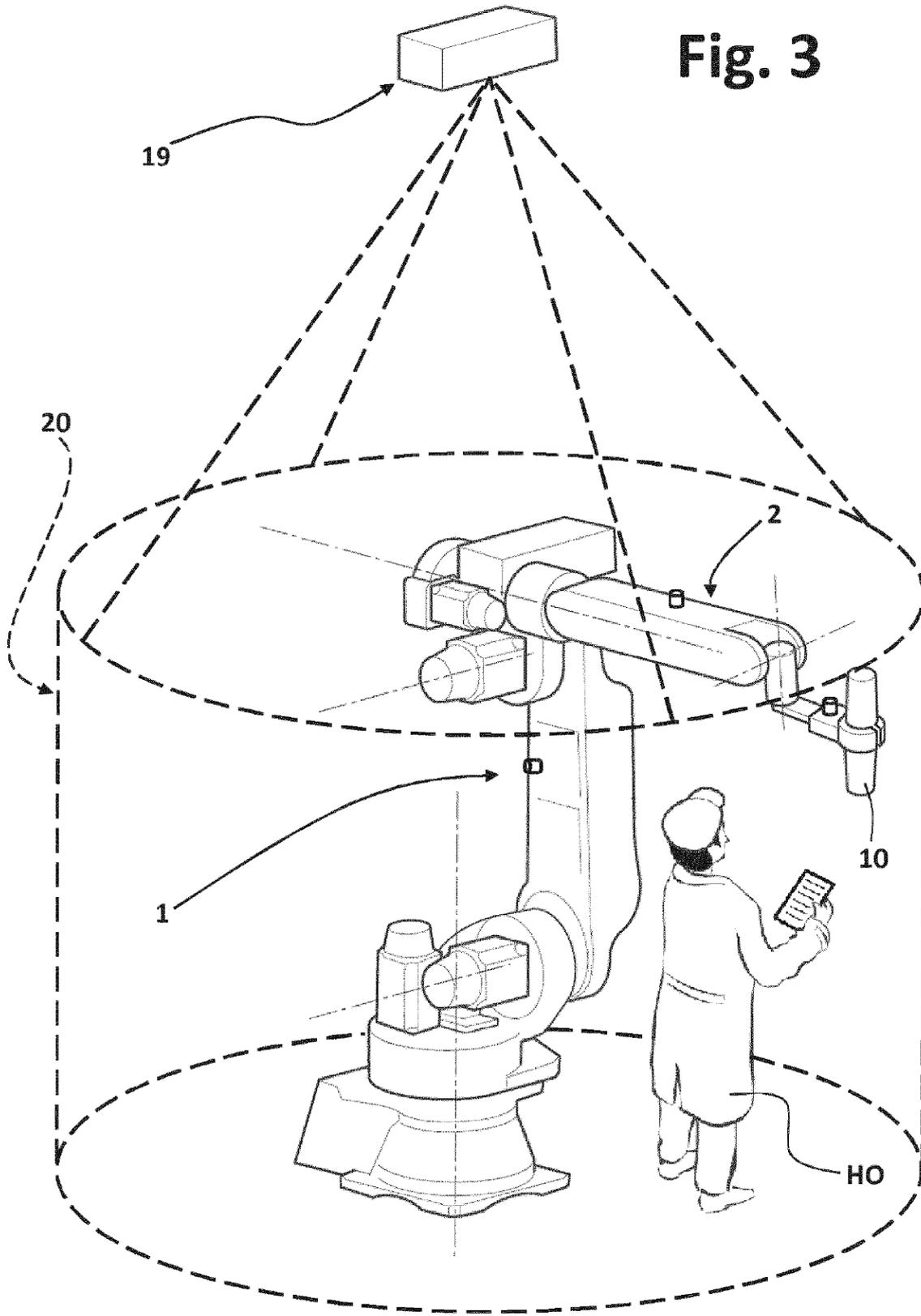


Fig. 4

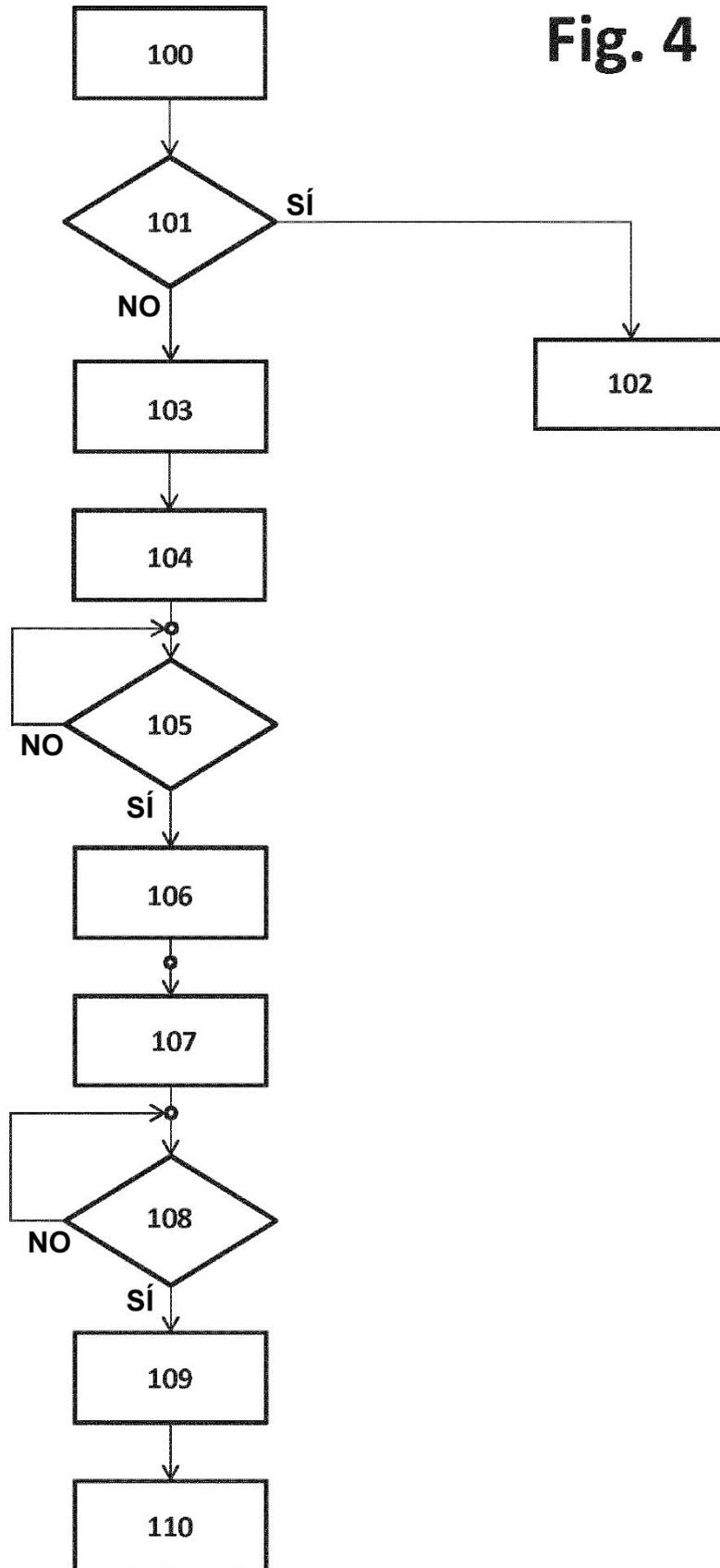


Fig. 5

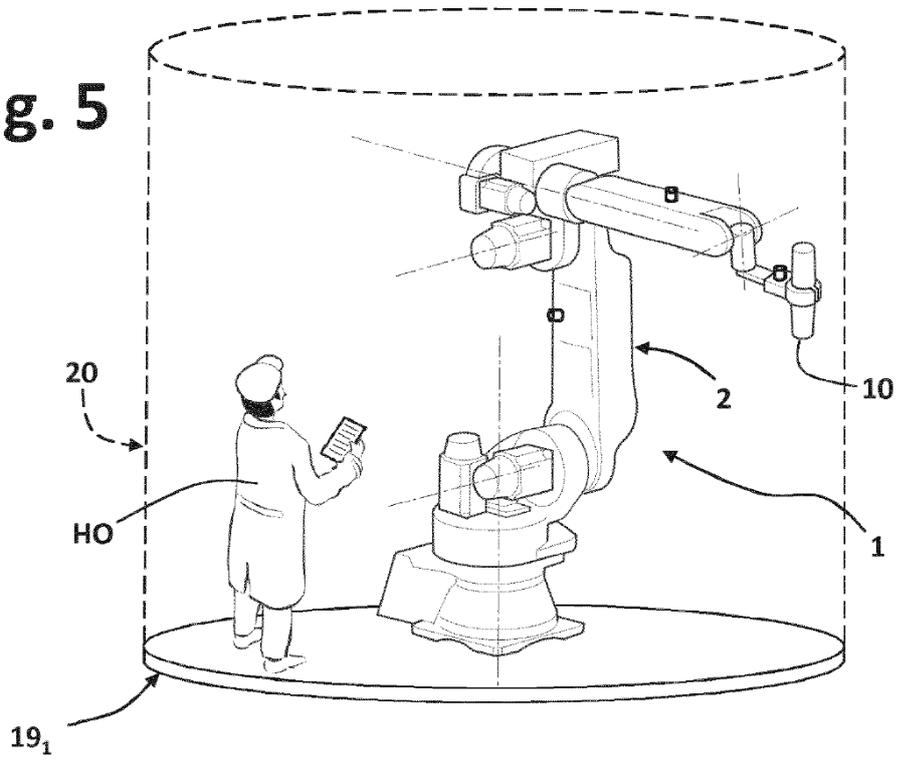


Fig. 6

