

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 012 126**

51 Int. Cl.:

B25J 13/08 (2006.01)

B25J 9/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.05.2020** **PCT/DK2020/050151**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.12.2020** **WO20239181**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.05.2020** **E 20742160 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2024** **EP 3976322**

54 Título: **Detección de un cambio en el contacto entre un brazo robótico y un objeto**

30 Prioridad:

29.05.2019 DK PA201900666

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

08.04.2025

73 Titular/es:

UNIVERSAL ROBOTS A/S (100.00%)

Energivej 51, Hjallese

5260 Odense S, DK

72 Inventor/es:

SØE-KNUDSEN, RUNE

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 3 012 126 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

Detección de un cambio en el contacto entre un brazo robótico y un objeto

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un brazo robótico que comprende múltiples articulaciones de robot que conectan una base de robot y una brida de herramienta de robot, donde un controlador de robot está configurado para controlar el brazo robótico y puede detectar un cambio en el contacto entre una parte de contacto del brazo robótico y un objeto externo. Además, la presente invención se refiere a un método para indicar un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo robótico y un objeto externo.

Antecedentes de la invención

10 Los brazos robóticos que comprenden múltiples articulaciones y enlaces de robot en los que unos motores pueden mover partes del brazo robótico, unas respecto a otras, son conocidos en el campo de la robótica. Típicamente, el brazo robótico comprende una base de robot que sirve como una base de montaje para el brazo robótico; y una brida de herramienta de robot a la que pueden fijarse diversas herramientas. Un controlador de robot está configurado para controlar las articulaciones de robot con el fin de mover la brida de herramienta de robot con relación a la base. Por ejemplo, con el fin
15 de indicar al brazo robótico que realice una serie de instrucciones de trabajo. Las articulaciones de robot pueden ser articulaciones de robot giratorias configuradas para girar partes del brazo robótico unas respecto a otras, articulaciones prismáticas configuradas para trasladar partes del brazo robótico unas con relación a otras y/o cualquier otro tipo de articulaciones de robot configuradas para mover partes del brazo robótico, unas respecto a otras.

20 Típicamente, el controlador de robot está configurado para controlar las articulaciones de robot en base a un modelo dinámico del brazo robótico, en el que el modelo dinámico define una relación entre las fuerzas que actúan sobre el brazo robótico y las aceleraciones resultantes del brazo robótico. Frecuentemente, el modelo dinámico comprende un modelo cinemático del brazo robótico, un conocimiento de la inercia del brazo robótico y otros parámetros que influyen sobre los movimientos del brazo robótico. El modelo cinemático define una relación entre las diferentes partes del brazo robótico y puede comprender información del brazo robótico, tal como, la longitud, la firmeza, la rigidez y el tamaño de las
25 articulaciones y los enlaces y puede describirse, por ejemplo, mediante parámetros de Denavit-Hartenberg o similares. El modelo dinámico hace posible que el controlador determine qué pares de torsión deben proporcionar los motores de las articulaciones para mover las articulaciones de robot, por ejemplo, a una velocidad o aceleración especificadas o para mantener el brazo robótico en una postura estática.

30 Típicamente, es posible fijar varios efectores finales a la brida de herramienta de robot, tales como pinzas, pinzas basadas en vacío, pinzas magnéticas, máquinas atornilladoras, equipos de soldadura, sistemas de dispensación, sistemas visuales, etc. Los brazos robóticos deben ser programados por un usuario o un integrador de robots que define varias instrucciones para el brazo robótico, tales como patrones de movimiento predefinidos e instrucciones de trabajo, tales como instrucciones de agarre, espera, liberación y atornillado. La instrucción puede basarse en varios sensores o señales de entrada que típicamente proporcionan una señal de activación usada para detener o iniciar una instrucción determinada. Las señales
35 de activación pueden ser proporcionadas por varios indicadores, tales como cortinas de seguridad, sistemas de visión, indicadores de posición, etc.

40 Alessandro De Luca, Alin Albu-Schaffer, Sami Haddadin y Gerd Hirzinger; "Collision Detection and Safe Reaction with the DLR-III Lightweight Manipulator Arm", Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ; International Conference on Intelligent Robots and Systems; 9-15 de Octubre de 2006; Beijing, China; DOI: 10.1109/IROS.2006.282053 divulgan un método de detección de colisiones que usa solo sensores de robot propioceptivos y proporciona también información direccional para una reacción segura del robot después de la colisión. El enfoque se desarrolla primero para brazos robóticos rígidos y, a continuación, se extiende al caso de robots con articulaciones elásticas, proponiendo diferentes estrategias de reacción. Este método de detección se basa en los cambios en el impulso del brazo robótico obtenidos en base al modelo dinámico, la velocidad y la posición del brazo robótico. Este método es lento e inexacto y solo es adecuado para reacciones de
45 seguridad.

Además, se conoce el uso de sensores de fuerza/par para dicha señal de entrada, por ejemplo, para indicar al robot que proporcione una fuerza/par predefinida a un objeto manipulado por el brazo robótico. Además, el sensor de fuerza/par puede usarse para proporcionar una señal que indique cuándo una parte del brazo robótico entra en contacto con un objeto externo, dicha detección se usa principalmente para indicar situaciones peligrosas y se usa para llevar el brazo robótico a
50 un estado seguro con el fin de prevenir accidentes. En algunas situaciones, puede indicarse al brazo robótico que realice una acción cuando la fuerza/par detectada excede un umbral requerido, por ejemplo, debido al hecho de que el brazo robótico entra en contacto con un objeto. El documento JP2018155555 divulga un dispositivo de medición de masa para calcular la masa de los bienes a partir de una fuerza y aceleración que actúan sobre los bienes, que comprende: un sensor de fuerza para emitir un valor que corresponde a una fuerza que actúa sobre los bienes cuando los bienes son movidos por un brazo robótico; un sensor de aceleración para emitir un valor que corresponde a una aceleración que actúa sobre
55 los bienes cuando los bienes son movidos por el brazo robótico; una unidad de control de operación para controlar la operación del brazo robótico; y una unidad de determinación de parada para determinar que se cumple una condición de parada cuando el valor de salida del sensor de fuerza excede un valor medido de fuerza de referencia predeterminado o

cuando el valor de salida del sensor de aceleración excede un valor medido de aceleración de referencia predeterminado. La unidad de control de operación causa que la operación del brazo robótico se detenga cuando se determina que se cumple la condición de parada. Los sensores de fuerza/par y aceleración son muy sensibles y debe establecerse un umbral relativamente elevado para garantizar que se ha producido realmente un contacto. Por consiguiente, en base a la fuerza/par o aceleración, es difícil detectar con precisión cuándo la parte del brazo robótico entra en contacto con el objeto externo. El establecimiento de las tolerancias de fuerza/par y aceleración a valores bajos resulta en muchos contactos detectados falsos, ya que, durante el movimiento y/o la vibración, el brazo robótico genera fuerzas/pares y aceleraciones que pueden resultar en falsos positivos si la tolerancia requerida se establece demasiado baja. Por consiguiente, la detección de contactos solo puede usarse en un grado limitado como una señal de activación para las instrucciones del programa y, de esta manera, no se ha implementado ninguna programación basada en la detección de contactos de un brazo robótico.

El documento US 2016/0031086 A1 divulga un robot colaborativo móvil que incluye un sensor de fuerza que está provisto en un soporte de robot en un carro, una unidad de adquisición de información de robot que adquiere información de robot que incluye información de postura del cuerpo principal del robot e información de carga de una carga que actúa sobre el cuerpo principal del robot, una unidad de cálculo de fuerza que calcula la fuerza externa que actúa sobre el soporte de robot en base a la información de robot, y una unidad de determinación que determina que el robot colaborativo móvil ha entrado en contacto con un ser humano cuando una diferencia entre la fuerza externa detectada por el sensor de fuerza y la fuerza externa calculada por la unidad de cálculo de fuerza es superior a un valor predeterminado o cuando una diferencia entre la cantidad de cambio en la fuerza externa detectada y la cantidad de cambio en la fuerza externa calculada es superior a un valor predeterminado. En una realización, se proporcionan sensores de aceleración en el carro y detectan la aceleración del carro cuando el carro se mueve. En otra realización, se proporciona un sensor de aceleración en el soporte del robot y detecta las vibraciones del soporte del robot. En ambas realizaciones, una unidad de corrección corrige la fuerza F externa detectada por el sensor de fuerza en base a la aceleración detectada por el sensor de aceleración.

El documento ES 2315130 describe un dispositivo para la estimación de las fuerzas y los pares de contactos en robots manipuladores industriales. En una estructura convencional, un robot manipulador tiene un sensor de fuerza/par situado en la muñeca. Junto con dicho sensor de fuerza/par, un sensor inercial, así como una serie de sensores de posición, pueden registrar parámetros relacionados con las articulaciones del brazo robótico. Los parámetros se interpretan a través de un software correspondiente, usando técnicas de fusión, más específicamente sensoriales, para convertir las mediciones de posición en medidas de posición y de orientación de la herramienta en el espacio cartesiano.

Sumario de la invención

El objeto de la presente invención es abordar las limitaciones descritas anteriormente con la técnica anterior u otros problemas de la técnica anterior, por ejemplo, proporcionar una indicación robusta y fiable de un cambio en el contacto entre una parte de un brazo robótico y un objeto externo. Esto se consigue mediante un método de detección de un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo robótico y un objeto, tal como se define en las reivindicaciones independientes, mediante la obtención de una fuerza de contacto proporcionada en la parte de contacto del brazo robótico mediante la detección de una fuerza proporcionada a una parte de dicho brazo robótico; y mediante la obtención de la aceleración de parte de la parte de contacto del brazo robótico mediante la detección de la aceleración de la parte del brazo robótico y, a continuación, indicando si se ha producido o no un cambio en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico y el objeto en base tanto a la fuerza de contacto obtenida como a la aceleración obtenida de la parte de contacto del brazo robótico. La indicación de si se ha producido o no el cambio en el contacto entre dicha parte de contacto de dicho brazo robótico y dicho objeto comprende obtener la dirección de dicha fuerza de contacto con relación a dicha parte de contacto de dicho brazo robótico, obtener la dirección de dicha aceleración de parte de dicha parte de contacto de dicho brazo robótico, comparar dicha dirección de dicha fuerza de contacto con relación a dicha parte de contacto de dicho brazo robótico con dicha dirección de dicha aceleración de parte de dicho brazo robótico, e indicar que se ha producido el cambio en el contacto entre dicha parte de contacto de dicho brazo robótico y dicho objeto en base a que dicha dirección de dicha fuerza de contacto y dicha dirección de dicha aceleración de parte sean sustancialmente opuestas entre sí. Las reivindicaciones dependientes describen posibles realizaciones de la presente invención. Las ventajas y los beneficios de la presente invención se describen en la descripción detallada de la invención. Además, esto se consigue proporcionando un brazo robótico configurado para realizar el método de indicación de un cambio en el contacto entre una parte del brazo robótico y un objeto.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 ilustra un brazo robótico según la presente invención;

La Fig. 2 ilustra un diagrama estructural simplificado del brazo robótico;

Las Figs. 3a-3i y 4a-4i ilustran un modelo simplificado del lado de salida de la articulación de herramienta de robot de un brazo robótico e ilustran el lado de salida en varios escenarios de uso;

Las Figs. 5-10 ilustran diferentes realizaciones de un método para controlar un brazo robótico que comprende un método de detección de un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo robótico y un objeto; y

La Fig. 11 ilustra un método para controlar un brazo robótico que comprende tres métodos para detectar un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo robótico y un objeto.

Descripción detallada de la invención

La presente invención se describe en vista de realizaciones ejemplares destinadas únicamente a ilustrar los principios de la presente invención. La persona experta será capaz de proporcionar diversas realizaciones comprendidas dentro del alcance de las reivindicaciones. A lo largo de la presente descripción, los números de referencia de elementos similares que proporcionan efectos similares tienen los mismos dos últimos dígitos. Además, debe entenderse que, en el caso en el que una realización comprenda una pluralidad de las mismas características, entonces es posible que solo se etiqueten algunas de las características con un número de referencia.

La Fig. 1 ilustra un brazo 101 robótico que comprende múltiples articulaciones 103a, 103b, 103c, 103d, 103e, 103f de robot que conectan una base 105 de robot y una brida 107 de herramienta de robot. Una articulación 103a de base está configurada para girar el brazo robótico alrededor de un eje 111a base (ilustrado mediante una línea de puntos) tal como se ilustra mediante la flecha 113a de rotación; una articulación 103b de hombro está configurada para girar el brazo robótico alrededor de un eje 111b de hombro (ilustrado como una cruz que indica el eje), tal como se ilustra mediante la flecha 113b de rotación; una articulación 103c de codo está configurada para girar el brazo robótico alrededor de un eje 111c de codo (ilustrado como una cruz que indica el eje), tal como se ilustra mediante la flecha 113c de rotación, una primera articulación 103d de muñeca está configurada para girar el brazo robótico alrededor de un primer eje 111d de muñeca (ilustrado como una cruz que indica el eje), tal como se ilustra mediante la flecha 113d de rotación y una segunda articulación 103e de muñeca está configurada para girar el brazo robótico alrededor de un segundo eje 111e de muñeca (ilustrado mediante una línea de puntos), tal como se ilustra mediante la flecha 113e de rotación. La articulación 103f de robot es una articulación de herramienta que comprende la brida 107 de herramienta de robot, que puede girar alrededor de un eje 111f de herramienta (ilustrado mediante una línea de puntos), tal como se ilustra mediante la flecha 113f de rotación. De esta manera, el brazo robótico ilustrado es un brazo robótico de seis ejes con seis grados de libertad, sin embargo, cabe señalar que la presente invención puede proporcionarse en brazos robóticos que comprenden menos o más articulaciones de robot, bridas de herramientas y/u otros tipos de articulaciones de robot, tales como articulaciones de robot prismáticas.

En esta realización, cada una de las articulaciones de robot se proporciona como una articulación de robot giratoria que comprende una brida de salida giratoria con relación a la articulación de robot y la brida de salida está conectada a una articulación de robot vecina directamente o a través de una sección de brazo, tal como se conoce en la técnica. La articulación de robot comprende un motor de articulación configurado para girar la brida de salida, por ejemplo, conectado a través de un engranaje o directamente al eje del motor. En otras realizaciones, al menos una de las articulaciones de robot puede proporcionarse como una articulación prismática que comprende una brida de salida que puede trasladarse con relación a la articulación de robot mediante un motor de articulación de robot y la brida de salida está conectada a una articulación de robot vecina directamente o a través de una sección de brazo, tal como se conoce en la técnica.

Además, la articulación de robot comprende al menos un sensor de articulación que proporciona una señal de sensor indicativa de al menos uno de los siguientes parámetros: una posición de la brida de salida, una posición del eje de motor del motor de articulación, una corriente de motor del motor de articulación, una fuerza externa que intenta girar la brida de salida o el eje de motor, una distancia recorrida de la brida de salida, una distancia recorrida del eje de motor, en el que la posición de la brida de salida en una articulación de robot giratoria puede indicarse como una posición angular y en una articulación prismática como una posición cartesiana. Por ejemplo, la posición angular de la brida de salida puede indicarse mediante un codificador de salida, tal como codificadores ópticos, codificadores magnéticos, que puede indicar la posición angular de la brida de salida con relación a la articulación de robot. De manera similar, la posición angular del eje de motor de articulación puede ser proporcionada por un codificador de entrada, tal como codificadores ópticos, codificadores magnéticos, que puede indicar la posición angular del eje del motor con relación a la articulación de robot. Cabe señalar que pueden proporcionarse tanto codificadores de salida, que indican la posición angular de la brida de salida, como codificadores de entrada, que indican la posición angular del eje de motor, lo que, en realizaciones provistas de un engranaje, hace posible determinar una relación entre el lado de entrada y salida del engranaje. El sensor de articulación puede proporcionarse también como un sensor de corriente que indica la corriente a través del motor de articulación y, de esta manera, puede usarse para obtener el par proporcionado por el motor. Por ejemplo, con relación a un motor multifásico, pueden proporcionarse múltiples sensores de corriente con el fin de obtener la corriente a través de cada una de las fases del motor multifásico.

Hay un sensor 109 de fuerza dispuesto en la articulación 103f de herramienta de robot y está configurado para detectar la fuerza aplicada a la brida 107 de herramienta de robot. El sensor 109 de fuerza proporciona una señal de fuerza que indica una fuerza proporcionada en la brida de herramienta. En la realización ilustrada, el sensor de fuerza está integrado en la brida de herramienta de robot y está configurado para indicar las fuerzas aplicadas a la brida de herramienta de robot con relación a un punto 110 de referencia de la brida de herramienta de robot. En la Fig. 1, el punto 110 de referencia coincide con el origen de un sistema de coordenadas de brida de herramienta que define tres ejes X_{brida} , Y_{brida} , Z_{brida} de coordenadas. En la realización ilustrada, el origen del sistema de coordenadas de la brida de herramienta de robot se ha dispuesto en el eje 111f de brida de herramienta con un eje (Z_{brida}) paralelo al eje de brida de herramienta y en la superficie exterior de la herramienta de robot. Sin embargo, el sensor de fuerza puede indicar la fuerza aplicada a la brida de herramienta de robot con relación a cualquier punto que pueda vincularse al sistema de coordenadas de la brida de herramienta de robot. En una realización, el sensor de fuerza puede proporcionarse como un sensor de fuerza-par de torsión de seis ejes configurado para indicar las fuerzas a lo largo, y los pares alrededor, de tres ejes perpendiculares. El sensor de fuerza-par de torsión puede proporcionarse, por ejemplo, como cualquier sensor de fuerza-par de torsión capaz de indicar las fuerzas y los pares de torsión con relación a un punto de referencia, por ejemplo, cualquiera de los sensores de par-fuerza de torsión

divulgados por los documentos WO2014/110682A1, US4763531, US2015204742. Sin embargo, debe entenderse que no es necesario que el sensor de fuerza con relación a la presente invención sea capaz de detectar el par de torsión aplicado al sensor de herramienta.

Un sensor 115 de aceleración está dispuesto en la articulación 103f de herramienta de robot y está configurado para detectar la aceleración de la articulación 103f de herramienta de robot y/o la aceleración de la brida 107 de herramienta de robot. El sensor 109 proporciona una señal de aceleración que indica la fuerza de aceleración de la aceleración de la articulación 103f de herramienta de robot y/o la aceleración de la brida 107 de herramienta de robot. En la realización ilustrada, el sensor de aceleración está integrado en la articulación de herramienta de robot y está configurado para indicar las aceleraciones de la articulación de herramienta de robot con relación al punto 110 de referencia de la brida de herramienta de robot. Sin embargo, el sensor de aceleración puede indicar la aceleración de la articulación de herramienta de robot con relación a cualquier punto que pueda vincularse al sistema de coordenadas de la brida de herramienta de robot. El sensor de aceleración puede proporcionarse como cualquier acelerómetro capaz de indicar las aceleraciones del objeto. El sensor de aceleración puede proporcionarse, por ejemplo, como una IMU (unidad de medición inercial) capaz de indicar tanto la aceleración lineal como las aceleraciones angulares de un objeto.

El brazo robótico comprende al menos un controlador 102 de robot configurado para controlar las articulaciones de robot mediante el control del par motor proporcionado por los motores de las articulaciones en base a un modelo dinámico del brazo robótico, la dirección 112 en la que actúa la gravedad y la señal del sensor de articulación. El controlador 102 de robot puede proporcionarse como un ordenador que comprende un dispositivo 104 de interfaz que permite a un usuario controlar y programar el brazo robótico. El controlador puede proporcionarse como un dispositivo externo, tal como se ilustra en la Fig. 1, como un dispositivo integrado en el brazo robótico o como una combinación de los mismos. El dispositivo de interfaz puede proporcionarse, por ejemplo, como una consola portátil, tal como se conoce en el campo de los robots industriales que pueden comunicarse con el controlador a través de protocolos de comunicación por cable o inalámbricos. El dispositivo de interfaz puede comprender, por ejemplo, una pantalla 106 y una serie de dispositivos 108 de entrada, tales como botones, controles deslizantes, paneles táctiles, joysticks, bolas de control, dispositivos de reconocimiento de gestos, teclados, etc. La pantalla puede proporcionarse como una pantalla táctil que actúa tanto como pantalla como dispositivo de entrada.

La Fig. 2 ilustra un diagrama estructural simplificado del brazo robótico ilustrado en la Fig. 1. Las articulaciones 103a, 103b y 103f de robot se han ilustrado en forma estructural y las articulaciones 103c, 103d, 103e de robot se han omitido en aras de la simplicidad del dibujo. Además, las articulaciones de robot se ilustran como elementos separados, sin embargo, debe entenderse que están interconectadas, tal como se ilustra en la Fig. 1. Las articulaciones de robot comprenden una brida 216a, 216b, 216f de salida y un motor 217a, 217b, 217f de articulación, en el que la brida 216a, 216b, 216f de salida puede girar con relación a la articulación de robot y el motor 217a, 217b, 217f de articulación está configurado para girar la brida de salida a través de un eje 218a, 218b, 218f de salida. En esta realización, la brida 216f de salida de la articulación 103f de herramienta comprende la brida 107 de herramienta. Al menos un sensor 219a, 219b, 219f de articulación proporciona una señal 222a, 222b, 222f de sensor indicativa de al menos un parámetro $J_{\text{sensor},a}$, $J_{\text{sensor},b}$, $J_{\text{sensor},f}$ de sensor de articulación de la articulación respectiva. El parámetro de sensor de articulación es al menos indicativo de un parámetro de postura que indica la posición y la orientación de la brida de salida con relación a la articulación de robot, por ejemplo, en forma de: una posición angular de la brida de salida, una posición angular de un eje del motor de la articulación, una corriente de motor del motor de articulación. Por ejemplo, la posición angular de la brida de salida puede indicarse mediante un codificador de salida, tal como codificadores ópticos, codificadores magnéticos, que puede indicar la posición angular de la brida de salida con relación a la articulación de robot. De manera similar, la posición angular del eje del motor de articulación puede ser proporcionada por un codificador de entrada, tal como codificadores ópticos, codificadores magnéticos, que puede indicar la posición angular del eje del motor con relación a la articulación de robot.

El controlador 102 de robot comprende un procesador 220 y una memoria 221 y está configurado para controlar los motores de articulación de las articulaciones de robot proporcionando señales 223a, 223b, 223f de control de motor a los motores de articulación. Las señales 223a, 223b, 223f de control de motor son indicativas del par $T_{\text{motor},a}$, $T_{\text{motor},b}$ y $T_{\text{motor},f}$ motor que cada motor de articulación proporcionará a las bridas de salida y el controlador de robot está configurado para determinar el par motor en base a un modelo dinámico del brazo robótico, tal como se conoce en la técnica anterior. El modelo dinámico hace posible que el controlador calcule qué par de torsión deben proporcionar los motores de las articulaciones a cada uno de los motores de articulación para hacer que el brazo robótico realice un movimiento deseado. El modelo dinámico del brazo robótico puede almacenarse en la memoria 221 y puede ajustarse en base al parámetro $J_{\text{sensor},a}$, $J_{\text{sensor},b}$, $J_{\text{sensor},f}$ de sensor de articulación. Por ejemplo, los motores de articulación pueden proporcionarse como electromotores multifásicos y el controlador de robot puede estar configurado para ajustar el par motor proporcionado por los motores de articulación mediante la regulación de la corriente a través de las fases de los motores multifásicos, tal como se conoce en la técnica de la regulación de motores.

La articulación 103f de herramienta de robot comprende el sensor 109 de fuerza que proporciona una señal 224 de fuerza que indica una fuerza proporcionada a la brida de herramienta. Por ejemplo, la señal de fuerza puede indicarse como un

vector $\vec{F}_{\text{sensor}}$ de fuerza en el sistema de coordenadas de la brida de herramienta de robot:

$$\text{ec. 1} \quad \vec{F}_{\text{sensor}}^{\text{brida}} = \begin{pmatrix} F_{x,\text{sensor}}^{\text{brida}} \\ F_{y,\text{sensor}}^{\text{brida}} \\ F_{z,\text{sensor}}^{\text{brida}} \end{pmatrix}$$

en la que $F_{x,\text{sensor}}^{\text{brida}}$ es la fuerza indicada a lo largo del eje X_{brida} , $F_{y,\text{sensor}}^{\text{brida}}$ es la fuerza indicada a lo largo del eje y_{brida} y $F_{z,\text{sensor}}^{\text{brida}}$ es la fuerza indicada a lo largo del eje Z_{brida} .

- 5 En una realización en la que el sensor de fuerza se proporciona como un sensor de fuerza-par de torsión combinado, el sensor de fuerza-par de torsión también puede proporcionar además una señal de par de torsión que indica el par de torsión proporcionado a la brida de herramienta, por ejemplo, como una señal separada (no ilustrada) o como parte de la señal de fuerza. El par de torsión puede indicarse como un vector de par de torsión en el sistema de coordenadas de la brida de herramienta de robot:

$$\text{ec. 2} \quad \vec{\tau}_{\text{sensor}}^{\text{brida}} = \begin{pmatrix} \tau_{x,\text{sensor}}^{\text{brida}} \\ \tau_{y,\text{sensor}}^{\text{brida}} \\ \tau_{z,\text{sensor}}^{\text{brida}} \end{pmatrix}$$

- 10 en la que $\tau_{x,\text{sensor}}^{\text{brida}}$ es el par de torsión indicado alrededor del eje X_{brida} , $\tau_{y,\text{sensor}}^{\text{brida}}$ es el par de torsión indicado alrededor del eje y_{brida} y $\tau_{z,\text{sensor}}^{\text{brida}}$ es el par de torsión indicado alrededor del eje Z_{brida} .

La articulación 103f de herramienta de robot comprende el sensor 115 de aceleración que proporciona una señal 225 de aceleración que indica la aceleración de la brida 216f de salida. Por ejemplo, la señal de aceleración puede indicar un vector $A_{\text{sensor}}^{\text{brida}}$ de aceleración en el sistema de coordenadas de la brida de herramienta de robot:

$$\text{ec. 3} \quad \vec{A}_{\text{sensor}}^{\text{brida}} = \begin{pmatrix} A_{x,\text{sensor}}^{\text{brida}} \\ A_{y,\text{sensor}}^{\text{brida}} \\ A_{z,\text{sensor}}^{\text{brida}} \end{pmatrix}$$

- 15 en la que $A_{x,\text{sensor}}^{\text{brida}}$ es la aceleración detectada a lo largo del eje X_{brida} , $A_{y,\text{sensor}}^{\text{brida}}$ es la aceleración detectada a lo largo del eje y_{brida} y $A_{z,\text{sensor}}^{\text{brida}}$ es la aceleración detectada a lo largo del eje Z_{brida} .

- 20 En una realización en la que el sensor de aceleración se proporciona como un acelerómetro/girómetro combinado (por ejemplo, una IMU), el sensor de aceleración puede proporcionar además una señal de aceleración angular que indica la aceleración angular de la brida de salida con relación al sistema de coordenadas de la brida de herramienta de robot, por ejemplo, como una señal separada (no ilustrada) o como parte de la señal de aceleración. La señal de aceleración angular puede indicar un vector $\alpha_{\text{sensor}}^{\text{brida}}$ de aceleración en el sistema de coordenadas de la brida de herramienta

$$\text{ec. 4} \quad \vec{\alpha}_{\text{sensor}}^{\text{brida}} = \begin{pmatrix} \alpha_{x,\text{sensor}}^{\text{brida}} \\ \alpha_{y,\text{sensor}}^{\text{brida}} \\ \alpha_{z,\text{sensor}}^{\text{brida}} \end{pmatrix}$$

- 25 en la que $\alpha_{x,\text{sensor}}^{\text{brida}}$ es la aceleración angular alrededor del eje X_{brida} , $\alpha_{y,\text{sensor}}^{\text{brida}}$ es la aceleración angular alrededor del eje y_{brida} y $\alpha_{z,\text{sensor}}^{\text{brida}}$ es la aceleración angular alrededor del eje Z_{brida} .

- 30 El sensor de fuerza y el sensor de aceleración del brazo robótico ilustrado están dispuestos en la articulación 103f de herramienta de robot; sin embargo, debe entenderse que el sensor de fuerza y el sensor de aceleración pueden disponerse en cualquier parte del brazo robótico siempre y cuando los dos sensores respectivamente hagan posible obtener la fuerza y la aceleración en/de aproximadamente la parte de contacto del brazo robótico. Además, es posible proporcionar más de un conjunto de sensores de fuerza y sensores de aceleración en diferentes partes del brazo robótico, por ejemplo, con el fin de detectar un cambio en los contactos en varias posiciones del brazo robótico.

- 35 El controlador 116 está configurado para indicar si se ha producido o no un cambio en el contacto entre una parte de contacto del brazo robótico y un objeto en base tanto a una fuerza de contacto proporcionada en la parte de contacto del brazo robótico como a una aceleración de parte de la parte de contacto. La parte de contacto puede ser cualquier punto, área o parte del brazo robótico que esté en contacto con un objeto o entre en contacto con un objeto. El objeto puede ser

cualquier objeto que pueda estar en contacto físico con la parte de contacto y puede ser, por ejemplo, un objeto externo o un objeto interior, tal como otra parte del brazo robótico. El cambio en el contacto entre la parte de contacto y el objeto puede ser cualquier tipo de cambio que indique un cambio en la manera en la que la parte de contacto y el objeto interactúan físicamente, por ejemplo, se produce un cambio en el contacto cuando la parte de contacto y el objeto entran en contacto físico, cuando la parte de contacto y el objeto se separan, cuando la interacción física entre la parte de contacto y el objeto cambia o cualquier otro cambio en la interacción física entre la parte de contacto y el objeto. La fuerza de contacto puede ser cualquier tipo de fuerza proporcionada en la parte de contacto del brazo robótico, por ejemplo, una fuerza interna proporcionada por el brazo robótico, una fuerza externa proporcionada por uno o más objetos externos y/o una combinación de fuerzas internas y fuerzas externas. La fuerza de contacto puede obtenerse detectando una fuerza proporcionada a una parte del brazo robótico, por ejemplo, mediante un sensor de fuerza configurado para detectar la fuerza de contacto directamente en la parte de contacto, mediante un sensor de fuerza configurado para detectar una fuerza en la parte del brazo robótico que comprende la parte de contacto, mediante un sensor de fuerza configurado para detectar una fuerza proporcionada a cualquier parte del brazo robótico, en el que el controlador está configurado para obtener la fuerza de contacto en la parte de contacto en base al modelo dinámico del brazo robótico, la fuerza de contacto puede obtenerse también detectando otros parámetros del brazo robótico, tales como la posición de los ejes de articulación y/o las corrientes del motor, etc. La aceleración de parte de la parte de contacto indica la aceleración de la parte de contacto en un marco de referencia o con relación a un punto de referencia. La aceleración de parte puede obtenerse detectando la aceleración de una parte del brazo robótico, por ejemplo, mediante un sensor de aceleración configurado para detectar la aceleración de la parte de contacto directamente en la parte de contacto, mediante un sensor de aceleración configurado para detectar la aceleración de la parte del brazo robótico que comprende la parte de contacto, mediante un sensor de aceleración configurado para detectar una aceleración de cualquier parte del brazo robótico, en el que el controlador está configurado para obtener la aceleración de la parte de contacto en base al modelo dinámico del brazo robótico, la aceleración de parte puede obtenerse también detectando otros parámetros del brazo robótico, tales como la posición de los ejes de articulación y/o las corrientes del motor, etc.

La detección de un cambio en el contacto entre una parte de contacto del brazo robótico y un objeto en base tanto a la fuerza de contacto como a la señal de aceleración de parte hace posible proporcionar una detección muy precisa, muy rápida y muy robusta de un cambio en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico y un objeto. Esto se consigue como un método de detección de un cambio en el contacto, simple y rápido, que, en base a la señal de fuerza y la señal de aceleración, determina si se ha producido o no un cambio en el contacto entre el brazo robótico y el objeto, que puede implementarse en el controlador. Por consiguiente, el controlador puede determinar si se ha producido o no un cambio en el contacto en muy pocas etapas, de manera que el controlador puede indicar muy rápidamente un eventual cambio en el contacto. La utilización adicional de la detección de un cambio en el contacto basada tanto en el sensor de fuerza como en el sensor de aceleración hace posible proporcionar una detección de un cambio en el contacto muy robusta, en la que se evitan falsas indicaciones de cambios en el contacto. Esto se consigue debido a que el sensor de fuerza y el sensor de aceleración son sensibles a diferentes tipos de falsos cambios en el contacto y, de esta manera, el basar la detección de un cambio en el contacto tanto en el sensor de fuerza como en el sensor de aceleración garantiza que se reduzcan muchas indicaciones falsas de detección de cambios en el contacto. Por consiguiente, es posible proporcionar una programación basada en contactos del brazo robótico, en el que el programa del brazo robótico está diseñado para reaccionar ante el cambio detectado en los contactos, por ejemplo, moverse hasta que se produzca un cambio en un contacto y, a continuación, cambiar la dirección del movimiento, activar/desactivar los efectores finales, volver a la posición en la que se detectó el primer cambio en el contacto.

En el brazo robótico ilustrado en la Fig. 1-2, el controlador puede estar configurado para indicar un cambio en el contacto entre la parte de contacto y un objeto en base tanto a la señal de aceleración como a la señal de fuerza proporcionadas por el sensor de fuerza y el sensor de aceleración.

Las Figs. 3a-3i y 4a-4i sirven para ilustrar cómo el controlador puede detectar e indicar si se produce o no un cambio en el contacto entre una parte de contacto del brazo robótico y un objeto en base tanto a la fuerza de contacto como a la aceleración de parte. Las figuras ilustran un modelo simplificado del lado 314 de salida de la articulación de herramienta de robot, donde el lado de salida de la articulación de herramienta de robot comprende la brida 216f de salida que puede girar alrededor del eje 218f de salida, la brida 107 de herramienta de robot, el sensor 115/415 de aceleración y el sensor 109 de fuerza. En la realización ilustrada en las Figs. 3a-3i el sensor 115 de aceleración está dispuesto en la brida de salida y configurado para detectar la aceleración de la brida de salida de la articulación de herramienta de robot y en la realización ilustrada en las Figs. 4a-4i el sensor 415 de aceleración está dispuesto en la brida de herramienta y configurado para medir la aceleración de la brida de herramienta de robot. A lo largo de las Figs. 3a-3i y 4a-4i, la dirección positiva del movimiento se define de izquierda a derecha y se ilustra mediante la flecha 326. Por consiguiente, cuando los lados de salida se mueven a una velocidad positiva, el lado de salida realizará un movimiento en una dirección de izquierda a derecha. De manera similar, una aceleración del lado de salida de la articulación de herramienta de robot corresponde a un aumento de la velocidad en la dirección 326 de movimiento. Una desaceleración corresponde a una disminución de la velocidad en la dirección 326 de movimiento, y una desaceleración corresponde a una aceleración negativa en la dirección 326 de movimiento.

Típicamente, los sensores de fuerza se proporcionan como un dispositivo que puede detectar una manipulación de un objeto causada por la fuerza. La manipulación del objeto puede ser, por ejemplo, en forma de deformaciones mecánicas, movimientos relativos, cambios en campos electromagnéticos o campos magnéticos, etc. y el sensor de fuerza está configurado entonces para registrar la manipulación y puede estar basado, por ejemplo, en extensómetros, sensores

capacitivos, sensores magnéticos, sensores ópticos, en los que la señal del sensor depende de la fuerza externa.

En la realización ilustrada en las Figs. 1-4, el sensor de fuerza está configurado para detectar la fuerza que manipula la relación entre la brida 216f de salida y la brida 107 de herramienta. De esta manera, el sensor de fuerza/par de torsión detectará la fuerza resultante proporcionada a la brida 216f de salida y/o la brida 107 de herramienta. Como ejemplo, el sensor de fuerza detecta la fuerza mediante la detección del desplazamiento entre la brida 216f de salida y la brida 107 de herramienta de robot, en el que los desplazamientos relativos debidos a la fuerza o las fuerzas se ilustran mediante las flechas 327a-327i dobles. Por consiguiente, en los ejemplos ilustrados, el sensor de fuerza está configurado para detectar la fuerza de contacto proporcionada a la brida de herramienta y la brida de herramienta comprende la parte de contacto.

En los ejemplos de las Figs. 3a-3i y 4a-4i, los principios de la presente invención se ilustran en una dirección perpendicular a la gravedad y solo se analizan las fuerzas perpendiculares a la gravedad. Sin embargo, debe entenderse que la brida de salida aplica una fuerza contra la gravedad (no mostrada) al lado de salida de la articulación de herramienta de robot para mantener la posición de la articulación de herramienta de robot en el mismo nivel con relación al suelo.

Las Figs. 3a y 4a ilustran el lado 314 de salida de la articulación de herramienta de robot en una situación en la que la articulación de herramienta de robot está acelerando con el fin de mover el lado de salida en la dirección 326 positiva. La articulación de herramienta de robot puede moverse moviendo cualquiera de entre, o una combinación de, las articulaciones de robot anteriores del brazo robótico. Durante la aceleración de la articulación de herramienta de robot, el eje 218f de salida transferirá una fuerza 328 de aceleración a la brida de salida en la dirección 326 positiva. La fuerza de aceleración se transferirá a la brida 107 de herramienta a través del sensor de fuerza y causará la aceleración de la brida de herramienta. Sin embargo, debido a la inercia de la brida de herramienta, se producirá un desplazamiento entre la brida de salida y la brida de herramienta como resultado de la fuerza 328 de aceleración aplicada a la brida de salida. En esta situación, el desplazamiento 327a resulta en una distancia más pequeña entre la brida de salida y la brida de herramienta, lo que resulta en el hecho de que el sensor de fuerza detecta una fuerza de contacto positiva (ilustrada mediante un signo más en el interior del sensor 109 de fuerza). En la Fig. 3a, el sensor 115 de aceleración está fijado a la brida 216f de salida y acelerará junto con la brida de salida y detectará una aceleración 329 de parte positiva (ilustrada mediante un signo más en el interior del sensor 115 de aceleración) en la dirección 326 positiva. En la Fig. 4a, el sensor 415 de aceleración está fijado a la brida de herramienta y acelerará junto con la brida de herramienta y detectará una aceleración 429 positiva (ilustrada mediante un signo más en el interior del sensor 415 de aceleración) en la dirección 326 positiva. Cabe señalar que la detección por parte del sensor 415 de aceleración de la aceleración 429 de parte positiva será más tarde que la detección por parte del sensor 115 de aceleración de la aceleración 329 de parte positiva, ya que la brida de herramienta iniciará su aceleración más tarde que la brida de salida debido al desplazamiento entre la brida de salida y la brida de herramienta. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la diferencia en el inicio de la aceleración de la brida de salida y la brida de herramienta es muy pequeña, ya que el desplazamiento de la brida de herramienta y la brida de salida es pequeño y el sensor de fuerza es relativamente rígido, por lo que la fuerza que causa la aceleración se transferirá a través del sensor de fuerza de manera relativamente rápida.

Las Figs. 3b y 4b ilustran el lado 314 de salida de la articulación de herramienta de robot en una situación en la que la articulación de herramienta de robot está desacelerando con el fin de disminuir la velocidad (frenar) del lado de salida mientras se mueve en la dirección 326 positiva. Además, debe entenderse que la desaceleración puede aplicarse con el fin de mover el lado de salida en la dirección negativa (opuesta a la flecha 329). La articulación de herramienta de robot puede desacelerarse moviendo cualquiera de entre, o una combinación de, las articulaciones de robot anteriores del brazo robótico. Durante la desaceleración de la articulación de herramienta de robot, el eje 218f de salida transferirá una fuerza 330 de desaceleración a la brida de salida. Esta fuerza se transferirá a la brida 107 de herramienta a través del sensor de fuerza y se producirá un desplazamiento 327b entre la brida de salida y la brida de herramienta como resultado de la fuerza 330 de desaceleración. En esta situación, el desplazamiento 327b resulta en una mayor distancia entre la brida de salida y la brida de herramienta, lo que resulta en el hecho de que el sensor de fuerza detecta una fuerza de contacto negativa (ilustrada mediante un signo menos en el interior del sensor 109 de fuerza). En la Fig. 3b, el sensor 115 de aceleración detectará una aceleración 331 de parte negativa (ilustrada mediante un signo menos en el interior del sensor 115 de aceleración) en la dirección 326 positiva. En la Fig. 4b, el sensor 415 de aceleración detectará también una aceleración 431 negativa en la dirección 326 positiva, y, tal como se ha descrito con relación a las Figs. 3a y 4a, la detección por parte del sensor 415 de aceleración de la aceleración 431 de parte negativa será más tarde que la detección por parte del sensor 115 de aceleración de la aceleración 331 de parte negativa.

Las Figs. 3c y 4c ilustran el lado 314 de salida de la articulación de herramienta de robot en una situación en la que la articulación de herramienta de robot, durante el movimiento a velocidad constante en la dirección 326 positiva, entra en contacto con el objeto 332. Idealmente, mientras se mueve a velocidad constante, no es necesario aplicar ninguna fuerza al lado de salida de la articulación de herramienta de robot; sin embargo, para superar la fricción y otra resistencia del brazo robótico, se aplicará una fuerza muy pequeña (no ilustrada) a la brida de salida a través del eje 218f de salida. Esta pequeña fuerza solo causa un desplazamiento muy pequeño de la brida de salida y la brida de herramienta y el sensor de fuerza indicará una fuerza muy insignificante antes de que se produzca el contacto entre el objeto y la brida de herramienta. Durante el contacto entre la brida 107 de herramienta de robot y el objeto 332, se aplica una fuerza 333 de colisión a la brida de herramienta de robot. La fuerza de colisión causa la desaceleración de la brida 107 de herramienta de robot, y debido a la inercia de la brida 216f de salida (y la articulación de herramienta de robot) se producirá un desplazamiento entre la brida de salida y la brida de herramienta, como resultado de la fuerza 333 de colisión. En esta situación, el desplazamiento 327c resulta en una menor distancia entre la brida de salida y la brida de herramienta, lo que resulta en el

hecho de que el sensor de fuerza detecta una fuerza de contacto positiva. Además, tras el contacto, la fuerza de contacto aumenta en comparación con la fuerza de contacto detectada antes del contacto, tal como indica una flecha hacia arriba en el interior del sensor 109 de fuerza. La fuerza de colisión se transferirá a la brida 216f de salida a través del sensor de fuerza y causará la desaceleración de la brida de salida. Por consiguiente, en la Fig. 3c, el sensor 115 de aceleración detectará una aceleración 331 de parte negativa en la dirección positiva, tal como se ilustra mediante un signo menos en el interior del sensor 115 de aceleración. En la Fig. 4c, el sensor 415 de aceleración detectará también una aceleración 431 de parte negativa en la dirección 326 positiva. Cabe señalar que la detección por parte del sensor 115 de aceleración de la aceleración 331 de parte negativa será más tarde que la detección por parte del sensor 415 de aceleración de la aceleración 431 de parte negativa, ya que la brida de salida iniciará su desaceleración más tarde que la brida de herramienta debido al desplazamiento entre la brida de salida y la brida de herramienta. Además, tras el contacto, la aceleración de parte de la parte de contacto disminuye en comparación con la aceleración de parte antes del contacto, tal como indica una flecha hacia abajo en el interior de los sensores 115, 415 de aceleración.

Las Figs. 3d y 4d ilustran el lado 314 de salida de la articulación de herramienta de robot en una situación en la que la articulación de herramienta de robot se acelera en la dirección 326 positiva y en la que la articulación de herramienta de robot durante la aceleración entra en contacto con el objeto 332. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando la articulación de herramienta de robot acelera y durante la aceleración choca contra el objeto. Al igual que en las Figs. 3a y 4a, durante la aceleración, el eje 218f de salida transferirá una fuerza 328 de aceleración a la brida de salida. Antes del contacto entre la brida de herramienta (la parte de contacto) y el objeto, el sensor de fuerza detectará una fuerza de contacto positiva, tal como se ha descrito anteriormente. Tras el contacto, se aplica una fuerza 333 de colisión a la brida de herramienta y el sensor de fuerza detectará una mayor fuerza de contacto positiva (ilustrada mediante un signo más que indica una fuerza de contacto positiva esperada y una flecha que apunta hacia arriba que ilustra un aumento de la fuerza de contacto tras el contacto), ya que la fuerza 328 de aceleración y la fuerza 333 de colisión contribuyen a un desplazamiento combinado de la brida de salida y la brida de herramienta, lo que resulta en una distancia todavía menor entre la brida de salida y la brida de herramienta. En la Fig. 3d, el sensor 115 de aceleración está fijado a la brida 218f de salida y acelerará junto con la brida de salida y, antes del contacto, detectará una aceleración 329 de parte positiva, tal como se ha descrito en la Fig. 3a. Tras el contacto, la fuerza 333 de colisión se transferirá a la brida 216f de salida y resultará en una desaceleración 331 de la brida de salida. La aceleración de parte detectada tras la colisión depende de los tamaños relativos de la aceleración 329 y la desaceleración 331. Por consiguiente, el sensor de aceleración detectará, al colisionar, una aceleración de parte menor que antes de la colisión (ilustrada mediante la flecha hacia abajo en el interior del icono del sensor de aceleración); sin embargo, la aceleración de parte detectada será positiva si la fuerza 328 de aceleración es mayor que la fuerza 333 de colisión; será negativa si la fuerza 328 de aceleración es menor que la fuerza de colisión y será cero si la fuerza de aceleración y la fuerza de colisión son iguales. De esta manera, el signo de la aceleración de parte detectada tras el contacto es desconocido y, por lo tanto, se indica mediante un signo de interrogación en el interior del icono de aceleración. En la Fig. 4b, el sensor 415 de aceleración está fijado a la brida de herramienta y detecta una aceleración de parte como resultado de una desaceleración 431 debida a la fuerza de colisión y una componente 429 de aceleración debida a la fuerza de aceleración. El sensor 415 de aceleración en la Fig. 4d detectará una aceleración de parte similar a la que detecta el sensor 115 de aceleración en la Fig. 3d.

Las Figs. 3e y 4e ilustran el lado 314 de salida de la articulación de herramienta de robot en una situación en la que la articulación de herramienta de robot está desacelerando y en la que la articulación de herramienta de robot durante la desaceleración entra en contacto con el objeto 332. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando la articulación de herramienta de robot está frenando mientras se mueve en la dirección 326 positiva y, durante el frenado, choca con el objeto; o cuando la articulación de herramienta de robot se mueve y acelera en la dirección negativa y donde el objeto se mueve en la misma dirección a una velocidad mayor y, por lo tanto, choca con la brida de herramienta. Al igual que en las Figs. 3b y 4b, durante la desaceleración, el eje 218f de salida transferirá una fuerza 330 de desaceleración a la brida de salida. Antes del contacto entre la brida de herramienta y el objeto, el sensor de fuerza detectará una fuerza negativa, tal como se ha descrito anteriormente. Tras el contacto, se aplica una fuerza 333 de colisión a la brida de herramienta y la fuerza de contacto aumentará (ilustrada mediante la flecha hacia arriba en el interior del icono del sensor de fuerza), ya que la fuerza de colisión causa un desplazamiento relativo de la brida de herramienta hacia la brida de salida. Sin embargo, el tamaño absoluto de la fuerza de contacto depende de los tamaños relativos de la fuerza 330 de desaceleración y la fuerza 333 de colisión. En la colisión, la fuerza de contacto detectada por el sensor de fuerza será una fuerza de contacto positiva si la fuerza de colisión es mayor que la fuerza de desaceleración, será una fuerza de contacto negativa si la fuerza de colisión es menor que la fuerza de desaceleración y será cero si la fuerza de desaceleración y la fuerza de colisión son iguales. En la Fig. 3e, el sensor 115 de aceleración está fijado a la brida 216f de salida y desacelerará junto con la brida de salida y, antes del contacto, detectará una aceleración 331a de parte negativa. Tras el contacto, la fuerza 333 de colisión se transferirá a la brida 216f de salida y resultará en una desaceleración 331b. La aceleración negativa causada por la fuerza de desaceleración y la componente de desaceleración causada por la fuerza de colisión proporcionarán una fuerza negativa y, de esta manera, la aceleración de parte detectada será negativa. De esta manera, la aceleración de parte disminuye tras la colisión. En la Fig. 4b, el sensor 415 de aceleración está fijado a la brida de herramienta y detecta una aceleración de parte negativa como resultado de una aceleración 431a negativa causada por la fuerza de desaceleración y la componente 431b de desaceleración causada por la fuerza de colisión.

Las Figs. 3f y 4f ilustran el lado 314 de salida de la articulación de herramienta de robot en una situación en la que la articulación de herramienta de robot está parada y en la que el objeto 332 entra en contacto con la brida de herramienta. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en una situación en la que la articulación de herramienta de robot está dispuesta en una

posición fija y en la que el objeto choca contra la brida de herramienta de robot. Mientras la articulación de herramienta se mantiene en reposo, no se aplican fuerzas en la dirección perpendicular a la gravedad al lado de salida de la articulación de herramienta de robot. Al contactar la brida 107 de herramienta de robot y el objeto 332, se aplica una fuerza 333 de colisión a la brida de herramienta de robot. La fuerza de colisión causa la desaceleración de la brida 107 de herramienta de robot, y debido a la inercia de la brida 216f de salida (y la articulación de herramienta de robot) se produce un desplazamiento entre la brida de salida y la brida de herramienta como resultado de la fuerza 333 de colisión. En esta situación, el desplazamiento 327f resulta en una distancia más pequeña entre la brida de salida y la brida de herramienta, lo que resulta en el hecho de que el sensor de fuerza detecta una fuerza de contacto positiva y, con el contacto, la fuerza de contacto aumenta en comparación con la fuerza de contacto antes del contacto, tal como indica una flecha hacia arriba en el interior del sensor 109 de fuerza. La fuerza de colisión se transferirá a la brida 216f de salida a través del sensor de fuerza y causará la desaceleración de la brida de salida. Por consiguiente, en la Fig. 3f, el sensor 115 de aceleración detectará una aceleración 331 de parte negativa. Cabe señalar que un brazo robótico en una situación de reposo está configurado para mantener la articulación de herramienta de robot en una posición fija y, de esta manera, tras el contacto, está configurado para añadir una fuerza (no ilustrada) en la dirección opuesta con el fin de mantener la articulación de herramienta de robot en la posición fija. Por consiguiente, el sensor de aceleración solo detectará la aceleración de parte negativa en un corto periodo de tiempo. En la Fig. 4b, el sensor 415 de aceleración detectará también una aceleración 459 negativa debida a la fuerza 333 de colisión.

Las Figs. 3g y 4g ilustran el lado 314 de salida de la articulación de herramienta de robot en una situación en la que la articulación de herramienta de robot está en reposo y en la que el objeto 332 está en contacto con la brida de herramienta y en la que, tras un cambio en el contacto, el objeto y la brida de herramienta se separan uno de otra. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en una situación en la que la articulación de herramienta de robot está dispuesta en una posición fija y en la que el objeto empuja contra la brida de herramienta de robot. En una situación de reposo, el brazo robótico está configurado para retener la articulación de herramienta de robot en una posición fija. Con el fin de mantener la articulación de herramienta de robot en la posición fija bajo la influencia de fuerzas externas, el brazo robótico está configurado para añadir una fuerza 334 de retención en la dirección opuesta a la fuerza externa. Antes de la separación, el objeto proporcionará una fuerza 335 de objeto a la brida de herramienta y el brazo robótico, con el fin de mantener la articulación de herramienta de robot, proporcionará una fuerza 334 de retención opuesta al lado de salida de la articulación de herramienta de robot a través del eje 218f de salida. Antes de la separación entre la brida de herramienta y el objeto, la fuerza 335 y la fuerza 334 de retención se cancelan entre sí y, por consiguiente, el sensor de aceleración no detectará una aceleración de parte. Tanto la fuerza de retención como la fuerza de objeto causan un desplazamiento de la brida de salida y la brida de herramienta, una hacia la otra, y el sensor 109 de fuerza detectará una fuerza de contacto positiva antes de la separación. Tras la separación, el objeto se moverá en la dirección indicada mediante la flecha 336 y no existirá ningún contacto entre la brida de herramienta de robot y el objeto. Por consiguiente, la fuerza 335 de objeto se eliminará y el desplazamiento de la brida de herramienta hacia la brida de salida debido a la fuerza de objeto se reducirá, de manera que el desplazamiento 327g entre la brida de salida y la brida de herramienta aumentará. De esta manera, el sensor de fuerza detectará una disminución (indicada mediante la flecha hacia abajo) de la fuerza de contacto tras la separación del objeto y la brida de herramienta de robot. La eliminación de la fuerza de objeto causa, debido a la fuerza de retención, que la articulación de herramienta de robot se acelere y los sensores 115 y 415 de aceleración detectarán respectivamente un aumento de la aceleración 329 y 429 de parte positiva. Cabe señalar que un brazo robótico en una situación de reposo está configurado para mantener la articulación de herramienta de robot en una posición fija y, de esta manera, tras la separación, el controlador del robot está configurado para reducir la fuerza de retención con el fin de mantener la articulación de herramienta de robot en la posición fija. Por consiguiente, los sensores de aceleración solo detectarán el aumento de la aceleración de parte positiva durante un corto periodo de tiempo.

Las Figs. 3h y 4h ilustran el lado 314 de salida de la articulación de herramienta de robot en una situación en la que la articulación de herramienta del brazo robótico está moviendo el objeto 332 en la dirección 336a y en la que el contacto entre el objeto y la brida de herramienta cambia durante el movimiento. El brazo robótico está configurado para mover la articulación de herramienta de robot en la dirección 326 mediante la activación de los actuadores de las articulaciones de robot anteriores. Esto puede ocurrir, por ejemplo, durante tareas de ensamblado en las que el brazo robótico está configurado para ensamblar varios objetos, por ejemplo, disponiendo el objeto en un montaje de ajuste a presión, donde se necesita una fuerza para empujar el objeto a un ajuste a presión y la fuerza de resistencia se reduce en cuanto se realiza el ajuste a presión. En las Figs. 3h y 4h, dicha tarea se ilustra como una situación simplificada, en la que la brida de herramienta empuja el objeto a lo largo de una superficie con una primera área 337a de superficie que tiene una primera propiedad de fricción y una segunda área 337b de superficie que tiene una segunda propiedad de fricción. Debe superarse una primera fuerza 338a de fricción para mover el objeto a lo largo de la primera área de superficie y debe superarse una segunda fuerza 338b de fricción para mover el objeto a lo largo de la segunda área de superficie. En una situación, el brazo robótico puede estar configurado para mover el objeto a lo largo de las áreas de superficie primera y segunda sustancialmente a la misma velocidad empujando el objeto. Cabe señalar que las fuerzas de fricción actúan entre la superficie y el objeto, pero se ilustran como actuando sobre la brida de herramienta de robot, ya que deben ser superadas por una fuerza opuesta proporcionada por la articulación de herramienta de robot. Para superar las fuerzas de fricción y mover el objeto a lo largo de la superficie, el brazo robótico está configurado para proporcionar una fuerza 339 de movimiento al lado de salida de la articulación de herramienta de robot a través del eje 218f de salida. La fuerza de movimiento es mayor que las fuerzas de fricción y, de esta manera, se introduce un desplazamiento entre la brida de salida y la brida de herramienta y, de esta manera, el sensor de fuerza detectará una fuerza de contacto positiva, tal como se ilustra mediante un signo más en el interior del sensor de fuerza. Una vez que el objeto se mueve desde la primera área

de superficie a la segunda área de superficie, la fuerza de fricción cambia, lo que causa un cambio en el desplazamiento entre la brida de salida y la brida de herramienta y el sensor de fuerza indica un cambio en la fuerza de contacto. Además, el cambio en la fuerza de fricción resulta en el hecho de que la fuerza total que actúa sobre el lado de salida de la articulación de herramienta de robot es un cambio que resulta en un cambio en la aceleración de la articulación de herramienta de robot y los sensores 115 y 415 de aceleración detectarán también un cambio en la aceleración.

En la realización ilustrada, la primera área 337a de superficie tiene una fricción mayor que la segunda área 337d de superficie, y la fuerza 338a de fricción es, de esta manera, mayor que la segunda fuerza 338b de fricción cuando se mueve el objeto sustancialmente a la misma velocidad. Por consiguiente, el sensor de fuerza detectará una disminución en la fuerza de contacto cuando el objeto es empujado desde la primera área de superficie a la segunda área de superficie, tal como se ilustra mediante la flecha hacia abajo en el interior del sensor 109 de fuerza. El sensor de aceleración detectará un aumento en la aceleración de parte a medida que se acelere la aceleración de la brida de herramienta de robot. Por consiguiente, el cambio en el contacto entre la brida de herramienta de robot y el objeto debido a la disminución de la resistencia en el objeto puede indicarse en base a un aumento de la aceleración de parte y una disminución de la fuerza de contacto.

En otra realización, la primera área 337a de superficie tiene una fricción menor que la segunda área de superficie, y la fuerza 338a de fricción es, de esta manera, menor que la segunda fuerza de fricción cuando se mueve el objeto sustancialmente a la misma velocidad. Por consiguiente, el sensor de fuerza detectará un aumento en la fuerza de contacto cuando el objeto es empujado desde la primera área de superficie a la segunda área de superficie y el sensor de aceleración detectará una disminución en la aceleración de parte a medida que se desacelere la aceleración de la brida de herramienta de robot. Por consiguiente, el cambio en el contacto entre la brida de herramienta de robot y el objeto debido al aumento de la resistencia en el objeto puede indicarse en base a una disminución en la aceleración de parte de la parte de contacto y un aumento en la fuerza de contacto.

Las Figs. 3i y 4i ilustran el lado 314 de salida de la articulación de herramienta de robot en una situación en la que la articulación de herramienta de robot está moviendo el objeto 332 en la dirección 336b y en la que el contacto entre el objeto y la brida de herramienta cambia durante el movimiento. El brazo robótico está configurado para mover la articulación de herramienta de robot en una dirección 326 opuesta activando los actuadores de las articulaciones de robot anteriores. En comparación con las Figs. 3h y 4h, en esta situación, el objeto se mueve en la dirección 336b que es opuesta a 336a y las áreas de superficie primera y segunda se han reorganizado una con relación a la otra. En esta situación, debe superarse la primera fuerza 338c de fricción para mover el objeto a lo largo de la primera área de superficie y debe superarse una segunda fuerza 338d de fricción para mover el objeto a lo largo de la segunda área de superficie. En esta situación, el brazo robótico está configurado para mover el objeto a lo largo de las áreas de superficie primera y segunda sustancialmente a la misma velocidad tirando del objeto. Cabe señalar que las fuerzas de fricción actúan entre la superficie y el objeto, pero se ilustran como actuando sobre la brida de herramienta de robot, ya que deben ser superadas por una fuerza opuesta proporcionada por la articulación de herramienta de robot. Para superar las fuerzas de fricción y mover el objeto a lo largo de la superficie, el brazo robótico está configurado para proporcionar una fuerza 339b de movimiento al lado de salida de la articulación de herramienta de robot a través del eje 218f de salida. La fuerza 339b de movimiento es mayor que las fuerzas de fricción y, de esta manera, se introduce un desplazamiento que causa un aumento de la distancia entre la brida de salida y la brida de herramienta. De esta manera, el sensor de fuerza detectará una fuerza de contacto negativa, tal como se ilustra mediante un signo menos en el interior del sensor de fuerza. Una vez que el objeto se mueve desde la primera área de superficie a la segunda área de superficie, la fuerza de fricción cambia, lo que causa un cambio en el desplazamiento entre la brida de salida y la brida de herramienta y el sensor de fuerza indica un cambio en la fuerza de contacto. Además, el cambio en la fuerza de fricción resulta en el hecho de que la fuerza total que actúa sobre el lado de salida de la articulación de herramienta de robot es un cambio que resulta en un cambio en la aceleración de la articulación de herramienta de robot y los sensores 115 y 415 de aceleración detectarán también un cambio en la aceleración.

En la realización ilustrada, la primera área 337a de superficie tiene una fricción más elevada que la segunda área 337d de superficie, y de esta manera la fuerza 338c de fricción es mayor que la segunda fuerza 338d de fricción cuando se mueve el objeto sustancialmente a la misma velocidad. Por consiguiente, el sensor de fuerza detectará un aumento en la fuerza de contacto cuando se tira del objeto desde la primera área de superficie a la segunda área de superficie, tal como se ilustra mediante la flecha hacia arriba en el interior del sensor 109 de fuerza. El sensor de aceleración detectará una disminución (aumento de la desaceleración) en la aceleración de parte a medida que se desacelera la aceleración de la brida de herramienta de robot. Por consiguiente, el cambio en el contacto entre la brida de herramienta de robot y el objeto debido a la disminución de la resistencia en el objeto puede indicarse en base a una disminución en la aceleración de parte de la parte de contacto y un aumento en la fuerza de contacto.

En otra realización, la primera área 337a de superficie tiene una fricción menor que la de la segunda área 337d de superficie, y de esta manera la fuerza 338c de fricción es menor que la segunda fuerza 338d de fricción cuando se mueve el objeto sustancialmente a la misma velocidad. Por consiguiente, el sensor de fuerza detectará una disminución en la fuerza de contacto cuando se tira del objeto desde la primera área de superficie a la segunda área de superficie. El sensor de aceleración detectará un aumento de la aceleración de parte a medida que se acelera la aceleración de la brida de herramienta de robot. Por consiguiente, el cambio en el contacto entre la brida de herramienta de robot y el objeto debido al aumento de la resistencia en el objeto puede indicarse en base a un aumento en la aceleración de parte de la parte de contacto y una disminución en la fuerza de contacto.

Tal como se ilustra y se describe con relación a las Figs. 3a-3i y 4a-4i, es posible indicar que se ha producido un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo robótico y un objeto en base a una fuerza aplicada a la parte de contacto del brazo robótico y la aceleración de parte de la parte de contacto del brazo robótico. A velocidad constante, tal como se ilustra en las Figs. 3c y 4c, y en reposo, tal como se ilustra en las Figs. 3f y 4f, el cambio en el contacto puede indicarse como un contacto introducido entre el objeto y el contacto si en una dirección se detecta una fuerza positiva y en la misma dirección se detecta una aceleración negativa. Durante la aceleración, tal como se ilustra en las Figs. 3d y 4d, un cambio en el contacto puede indicarse como un contacto introducido si el sensor de fuerza y el sensor de aceleración indican, respectivamente, un aumento positivo de la fuerza de contacto y una disminución en la aceleración detectada. Durante la aceleración, tal como se ilustra en las Figs. 3e y 4e, un cambio en el contacto puede indicarse como un contacto introducido si el sensor de fuerza y el sensor de aceleración indican, respectivamente, un aumento de la fuerza de contacto y una disminución negativa de la aceleración detectada. A velocidad constante o en reposo, tal como se ilustra en las Figs. 3g y 4g, el cambio en el contacto puede indicarse como una separación del objeto y la parte de contacto si en una dirección se detecta una disminución de la fuerza de contacto y en la misma dirección se detecta un aumento de la aceleración de parte de la parte de contacto. A velocidad constante o en reposo, tal como se ilustra en las Figs. 3g y 4g, el cambio en el contacto puede indicarse como una separación del objeto y la parte de contacto si en una dirección se detecta una reducción de la fuerza de contacto y en la misma dirección se detecta un aumento de la aceleración de parte de la parte de contacto. Tal como se ilustra en las Figs. 3g-3h y 4g-4h durante el movimiento del objeto usando la parte de contacto del brazo robótico, los cambios en el contacto pueden indicarse si se producen cambios opuestos de la fuerza de contacto y la aceleración de parte.

En todas las situaciones, se produce un aumento en la fuerza de contacto y una disminución en la aceleración de parte de la parte de contacto a lo largo de la misma dirección cuando hay cambios en el contacto entre la parte de contacto del robot y el objeto. En 3 dimensiones, el sensor de fuerza-par de torsión puede estar configurado para detectar la dirección de la fuerza de contacto y el acelerómetro puede estar configurado para detectar la dirección de la aceleración detectada. Entonces, el controlador de robot puede estar configurado para obtener la aceleración de parte a lo largo de la dirección de la fuerza de contacto y comparar la aceleración de parte a lo largo de la dirección de la fuerza de contacto e indicar si se ha producido o no un contacto en base a la aceleración de parte a lo largo de la dirección de la fuerza de contacto. Además, o de manera alternativa, el controlador del robot puede estar configurado para obtener la fuerza de contacto a lo largo de la dirección de la aceleración de parte y comparar la fuerza de contacto a lo largo de la dirección de la aceleración de parte e indicar si se ha producido o no un cambio en el contacto en base a la fuerza de contacto a lo largo de la dirección de la aceleración de parte.

El controlador puede estar configurado para indicar que se ha producido un cambio en el contacto entre una parte de contacto del robot y un objeto realizando el método descrito e ilustrado en las Figs. 5-11, por ejemplo, implementando el método descrito como una serie de instrucciones que indican al controlador que realice las etapas del método.

La Fig. 5 ilustra un método para controlar un brazo robótico que comprende el método para detectar un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo robótico y un objeto según la presente invención. El método comprende una etapa 540 de inicialización, una etapa 550 de activación de detección de un cambio en el contacto; una etapa 560 de obtención de parámetros relacionados con el brazo robótico, una etapa 570 de indicación de un cambio en el contacto, una etapa 590 de ejecución de acciones tras el cambio detectado en el contacto.

La etapa 540 de inicialización comprende configurar el brazo robótico, tal como establecer los parámetros necesarios para controlar el brazo robótico, verificar que los componentes necesarios del brazo robótico están funcionando, etc. Típicamente, la etapa de inicialización comprende una etapa de obtención del modelo D_{robot} dinámico del brazo robótico y puede basarse en el conocimiento previo del brazo robótico y las articulaciones de robot, KoR [conocimiento del robot], tales como las dimensiones y el peso de las articulaciones de robot y los enlaces de robot; propiedades de los motores de las articulaciones; información relacionada con una eventual carga útil fijada al brazo robótico, orientación del brazo robótico con relación a la gravedad y propiedades de fricción del brazo robótico y de las articulaciones de robot. El modelo dinámico del brazo robótico puede definirse y almacenarse previamente en la memoria del controlador y, en alguna realización, puede permitirse que el usuario modifique el modelo dinámico del brazo robótico, por ejemplo, proporcionando información de carga útil de una carga útil fijada al brazo robótico o definiendo la orientación del brazo robótico con relación a la gravedad.

El método comprende una etapa 550 de activación de detección de un cambio en el contacto. Por ejemplo, la etapa de activación de detección de un cambio en el contacto puede integrarse en una parte de un programa para controlar el brazo robótico, en el que, durante el programa, el método de detección de un cambio en el contacto entre una parte de contacto del brazo robótico y un objeto se activa, por ejemplo, para realizar varias acciones tras un cambio detectado en el contacto. La detección de un cambio en el contacto puede ser activada manualmente por un usuario, por ejemplo, un usuario que activa la detección de un cambio en el contacto durante el funcionamiento del brazo robótico. El método de detección de un cambio en el contacto puede estar configurado para ejecutarse simultáneamente con otras partes de un programa de robot. En el caso en el que el método de detección de un cambio en el contacto está activado, el método precede a las siguientes etapas, tal como se indica mediante un icono de pulgar hacia arriba y, si la detección de un cambio en el contacto no está activada, el cambio en el contacto del robot, tal como se indica con un icono de pulgar hacia abajo, no entrará al modo de detección de un cambio en el contacto. Cabe señalar que no es necesario realizar la etapa 550 de activación de detección de un cambio en el contacto como una prueba, tal como se ilustra, ya que la detección de un cambio en el contacto simplemente puede activarse ejecutando un código de programa que realiza automáticamente la etapa 560 de

obtención de parámetros y la etapa 570 de indicación de un cambio en el contacto.

Una vez que se ha activado la detección de un cambio en el contacto, se realiza una etapa 560 de obtención de parámetros. Esta etapa comprende una etapa 561 de obtención de una fuerza F_{contacto} de contacto proporcionada en una parte de contacto del brazo robótico y una etapa 562 de obtención de la aceleración A_{parte} de parte de la parte de contacto.

5 La etapa 561 de obtención de la fuerza F_{contacto} de contacto puede realizarse detectando una fuerza proporcionada a una parte del brazo robótico, por ejemplo, usando un sensor de fuerza configurado para detectar una fuerza proporcionada a cualquier parte del brazo robótico y donde la fuerza F_{contacto} de contacto se obtiene en base a la fuerza F_{sensor} detectada. Por ejemplo, la fuerza de contacto puede obtenerse en la etapa 561 transfiriendo una fuerza detectada en cualquier parte del brazo robótico a una fuerza de contacto en la forma de contacto en base al modelo dinámico y/o el modelo cinemático del brazo robótico. Esto es posible porque que las partes del brazo robótico están conectadas entre sí y, de esta manera, las fuerzas se transfieren entre las partes del brazo robótico y el modelo dinámico y/o el modelo cinemático puede usarse para definir cómo una fuerza detectada en cualquier parte del brazo robótico puede transferirse a la fuerza de contacto aplicada a la parte de contacto. En una realización, la fuerza de contacto puede obtenerse en base a una fuerza detectada en la parte del brazo robótico que comprende la parte de contacto, ya que esto simplifica la transformación de la fuerza detectada a la fuerza de contacto y, de esta manera, reduce las inexactitudes entre el brazo robótico físico y el modelo dinámico/cinemático del brazo robótico. Además, pueden reducirse y/o evitarse los retrasos eventuales causados por las propiedades físicas del brazo robótico en el tiempo entre el contacto real y el tiempo en el que se detecta la fuerza en otra parte del brazo robótico. Puede reducirse y/o evitarse también la amortiguación de la fuerza mientras se transfiere a través de las partes del brazo robótico. Por ejemplo, la fuerza de contacto puede detectarse directamente en la parte de contacto configurando el sensor de fuerza para detectar la fuerza F_{contacto} de contacto directamente en la parte de contacto. Por ejemplo, tal como se ilustra en las Figs. 1-4, el sensor 109 de fuerza está configurado para detectar las fuerzas aplicadas a la brida de herramienta, donde la brida de herramienta de robot forma la parte de contacto. De manera alternativa o adicional, la fuerza de contacto puede obtenerse también en base a otros parámetros que indican la fuerza de contacto en una parte del brazo robótico, tal como la posición de los ejes de articulación y/o las corrientes de los motores, etc. Tanto la fuerza F_{sensor} detectada como la fuerza F_{contacto} de contacto obtenida pueden almacenarse en una memoria del brazo robótico.

La etapa 562 de obtención de la aceleración A_{parte} de parte de la parte de contacto puede realizarse detectando la aceleración de al menos una parte del brazo robótico, por ejemplo, usando un sensor de aceleración configurado para detectar la aceleración en cualquier parte del brazo robótico y la aceleración A_{parte} de parte se obtiene entonces en base a la aceleración A_{sensor} detectada. Por ejemplo, la aceleración de parte puede obtenerse en la etapa 562 transformando una aceleración detectada en cualquier parte del brazo robótico a la aceleración de parte en la parte de contacto en base al modelo dinámico y/o el modelo cinemático del brazo robótico. Esto es posible porque las partes del brazo robótico están conectadas entre sí y la aceleración de una parte del brazo robótico puede transferirse a una aceleración de otra parte del brazo robótico en base al modelo dinámico del brazo robótico. En una realización, la aceleración de parte puede obtenerse en base a una aceleración detectada en la parte del brazo robótico que comprende la parte de contacto, ya que esto simplifica la transformación de la aceleración detectada a la aceleración de parte y, de esta manera, reduce las inexactitudes entre el brazo robótico físico y el modelo dinámico/cinemático del brazo robótico. Además, pueden reducirse y/o evitarse los retrasos eventuales causados por las propiedades físicas del brazo robótico en el tiempo entre el contacto real y el tiempo en que se detecta la aceleración en otra parte del brazo robótico. Puede reducirse y/o evitarse también la amortiguación de la aceleración mientras se transfiere a través de las partes del brazo robótico. Por ejemplo, tal como se ilustra en las Figs. 1-4, el sensor 115 de aceleración está configurado para detectar la aceleración de la articulación de herramienta de robot que se acelera sustancialmente de manera simultánea con la brida de herramienta de robot que forma la parte de contacto. Para mayor precisión, la aceleración de parte puede detectarse directamente en la parte de contacto configurando el sensor de aceleración para detectar la aceleración de parte directamente en la parte de contacto. Por ejemplo, el sensor 415 de aceleración está configurado para detectar la aceleración de la articulación de herramienta de robot que forma la parte de contacto. De manera alternativa o adicional, la aceleración de parte puede obtenerse también en base a otros parámetros que indican una aceleración en una parte del brazo robótico, tal como la posición de los ejes de articulación y/o las corrientes de los motores, etc. Tanto la aceleración A_{sensor} detectada como la aceleración A_{parte} de parte obtenida pueden almacenarse en una memoria del brazo robótico.

50 La etapa 570 de indicación de si se ha producido o no un cambio en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico se basa en la fuerza de contacto y la aceleración de parte. La indicación de cambio en el contacto puede indicarse de diferentes maneras, por ejemplo, como una indicación de usuario que indica a un usuario del brazo robótico que se ha producido un cambio en el contacto. Dicha indicación de usuario puede ser, por ejemplo, en forma de indicaciones visuales, indicaciones de audio y/o indicaciones hápticas que permitan a un usuario registrar la indicación. Sin embargo, debe entenderse también que no es necesario que la indicación sea perceptible por un usuario del brazo robótico, y que la indicación puede proporcionarse como una entrada a un controlador que controla el brazo robótico. Por ejemplo, como una señal de activación o un parámetro de indicación en un programa de robot que indica al brazo robótico que realice ciertas acciones/tareas en base a la indicación del cambio en el contacto. La etapa 570 de indicación de si se ha producido un cambio en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico comprende una etapa 571 de comparación de la fuerza de contacto con un valor umbral de fuerza y una etapa 572 de comparación de la aceleración de parte con un valor umbral de aceleración y se ha producido un cambio en el contacto si ambas pruebas son positivas, tal como se ilustra con los iconos de pulgar hacia arriba.

Etapa 571 de comparación de la fuerza F_{contacto} de contacto con un valor F_{umbral} umbral de fuerza, en el que el valor umbral de fuerza ha sido predeterminado y, por ejemplo, almacenado en la memoria. Tal como se ha descrito con relación a las Figs. 3c, 3f, 4c y 4f, a velocidad constante o en estado de reposo de la parte de contacto del robot, se produce una fuerza de contacto positiva tras un cambio en el contacto entre la parte de contacto del robot y el objeto. La etapa de comparación de la fuerza de contacto con el valor umbral de fuerza está configurado para abandonar (indicado mediante un icono de pulgar hacia abajo) la etapa 570 de indicación de un cambio en el contacto, si la fuerza de contacto es menor que el valor umbral de fuerza, ya que esto indica que no se ha producido un cambio en el contacto. Por el contrario, la etapa de comparación de la fuerza de contacto con el valor umbral de fuerza está configurada para continuar (indicado mediante un icono de pulgar hacia arriba) a la siguiente etapa de la etapa 570 de indicación de un cambio en el contacto, si la fuerza de contacto es mayor que el valor umbral de fuerza, ya que esto indica que puede haberse producido un cambio en el contacto. En la situación ideal, en la que el sensor de fuerza detecta una fuerza de contacto muy precisa, el valor umbral de fuerza puede establecerse a cero, ya que una fuerza de contacto positiva indica un posible cambio en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico y un objeto. Sin embargo, se conoce que la fuerza de contacto puede ser inexacta debido a ruidos y/o a la inexactitud del sensor de fuerza. De esta manera, en algunas situaciones puede ser beneficioso asignar un valor al valor umbral de fuerza, con el fin de superar eventuales inexactitudes de las fuerzas de contacto, lo que puede resultar en falsos positivos. Por consiguiente, la fuerza de contacto debe ser positiva y mayor que el valor umbral de fuerza para resultar en un progreso adicional del método. De esta manera, el umbral de fuerza puede establecerse en base al conocimiento del tipo de sensor de fuerza y/o las condiciones bajo las cuales funciona el brazo robótico. En una realización, el umbral de fuerza puede obtenerse en base a la masa de una carga útil fijada a la parte de contacto del brazo robótico y a la aceleración de la parte de contacto del brazo robótico. Antes de que se produzca un cambio en el contacto, se espera que el sensor de fuerza indique una fuerza correspondiente a la multiplicación de la aceleración por la masa de la carga útil, por consiguiente, el umbral de fuerza puede establecerse como la multiplicación de la aceleración de la parte de contacto del robot por la masa de la carga útil en la parte de contacto del robot con una tolerancia de fuerza adicional. Tras el cambio en el contacto, la fuerza de contacto aumenta y puede haberse producido un cambio en el contacto cuando la fuerza de contacto es mayor que el umbral de fuerza obtenido en base a la aceleración y la masa de la carga útil. La masa de la carga útil se proporciona como un parámetro de control para controlar el brazo robótico, por ejemplo, introduciendo el usuario la masa de la carga útil a través de una interfaz de usuario, obtenida mediante cualquier método conocido o desarrollado en el futuro para obtener la masa de la carga útil del brazo robótico. La aceleración puede obtenerse usando el sensor de aceleración, puede obtenerse usando el modelo dinámico del brazo robótico o puede obtenerse en base a la aceleración instruida proporcionada por un usuario o un programa de robot.

En la realización ilustrada, la etapa 570 comprende una etapa 572 de comparación de la aceleración A_{parte} de parte con un valor A_{umbral} umbral de aceleración, en el que el valor umbral de aceleración ha sido predeterminado y, por ejemplo, almacenado en la memoria. Tal como se ha descrito con relación a las Figs. 3c, 3f y 4c, a velocidad constante o en estado de reposo, el sensor de aceleración detectará una aceleración negativa tras un cambio en el contacto entre la parte de contacto del robot y el objeto. Por consiguiente, tras un cambio en el contacto, la aceleración A_{parte} de parte será negativa. La etapa de comparación de la aceleración de parte con el valor umbral de aceleración está configurada para abandonar (indicado mediante un icono de pulgar hacia abajo) la etapa 570 de indicación de un cambio en el contacto, si la aceleración de parte es mayor que el valor umbral de aceleración, ya que esto indica que no se ha producido ningún cambio en el contacto. Al contrario, la etapa de comparación de la aceleración de parte con el valor umbral de aceleración está configurada para continuar (indicado mediante un icono de pulgar hacia arriba) a la siguiente etapa, si la aceleración de parte es menor que el valor umbral de aceleración, ya que esto indica que se ha producido un cambio en el contacto. En la situación ideal en la que la aceleración de parte es precisa, el valor umbral de aceleración puede establecerse a cero, ya que una diferencia negativa en la aceleración de parte indica un posible cambio en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico y un objeto. Sin embargo, se conoce que la aceleración de parte puede ser inexacta debido a ruidos y/o a la inexactitud del sensor de aceleración. De esta manera, en algunas situaciones puede ser beneficioso asignar un valor al valor umbral de aceleración, con el fin de superar eventuales inexactitudes de las aceleraciones de parte, lo que puede resultar en falsos positivos. Por consiguiente, la aceleración de parte debe ser menor que el valor umbral de aceleración para resultar en un progreso adicional del método. El umbral de aceleración puede obtenerse en base al modelo dinámico del brazo robótico y/o la aceleración deseada instruida de la parte de contacto del brazo robótico según lo proporcionado por un usuario y/o un programa de robot.

El orden de la etapa 571 de comparación de la fuerza F_{contacto} de contacto con un valor F_{umbral} umbral de fuerza y la etapa 572 de comparación de la aceleración A_{parte} de parte con un valor A_{umbral} umbral de aceleración no es importante y las dos etapas pueden ejecutarse en cualquier orden, ya que deben cumplirse ambas condiciones para garantizar que se ha producido un cambio en el contacto. Debe entenderse también que las etapas pueden integrarse en una única etapa en la que una función lógica evalúa ambos requisitos.

El método puede comprender también una etapa 585 opcional (ilustrada en líneas discontinuas) de confirmación de un cambio en el contacto que se asegura de que el cambio en el contacto indicado por las etapas de comparaciones positivas anteriores sea causado por un cambio real en el contacto y no sea causado por falsos positivos, por ejemplo, debido a ruidos u otras perturbaciones. El cambio en el contacto puede confirmarse, por ejemplo, repitiendo las etapas de obtención de parámetros y realizando las comparaciones varias veces, ya que las pruebas son típicamente positivas durante un período de tiempo después de que se haya producido un cambio inicial en el contacto. La etapa de confirmación de un cambio en el contacto puede comprender, de esta manera, una etapa 586 de comparación de un contador C_i de confirmaciones con un umbral C_{umbral} de contador de confirmaciones, en el que el contador C_i de confirmaciones indica el

número de casos en los que se ha indicado un cambio en el contacto en base a la fuerza de contacto y la aceleración de parte, y el umbral de contador de confirmaciones indica un número deseado de casos en los que debe haberse detectado un cambio en el contacto para confirmar el cambio en el contacto. Por consiguiente, siempre y cuando el contador C_i de confirmaciones sea menor que el umbral de contador de confirmaciones, la etapa de indicación de cambio en el contacto se reinicia y el contador de confirmaciones se incrementa en 1 en la etapa 587 antes de reiniciar la etapa 570 de indicación de un cambio en el contacto. Cabe señalar que la etapa 587 puede disponerse también antes de la etapa 586 de comparación del contador C_i de confirmaciones con el umbral de contador de confirmaciones. Además, puede realizarse una etapa 588 de restablecimiento del contador de confirmaciones en el caso en el que las etapas 571, 572 de comparación que indican un cambio en el contacto sean negativas; esto puede hacerse, por ejemplo, estableciendo el contador de confirmaciones a cero. El umbral de contador de confirmaciones puede indicar, por ejemplo, el número de casos constructivos en los que se ha indicado un cambio en el contacto o puede indicar un porcentaje de cambios indicados en los contactos de entre un número predeterminado de casos en los que puede haber ocurrido un cambio en el contacto.

Si la fuerza de contacto es mayor (positiva) que el valor umbral de fuerza y la aceleración de parte es menor (negativa) que el valor umbral de aceleración, puede indicarse un cambio en el contacto. En la realización ilustrada, la indicación tiene como resultado que la etapa 590 ejecuta acciones tras detectarse un cambio en el contacto. Las acciones realizadas en la etapa 590 pueden ser cualquier acción, por ejemplo:

- detener dicho brazo robótico; por ejemplo, instantáneamente, en una distancia y un tiempo predeterminados, en una posición predeterminada, etc.
- mover una parte de dicho brazo robótico en un patrón de movimiento predeterminado; por ejemplo, cambiando la dirección de movimiento, moviéndose en una dirección predeterminada, girando una parte del robot, girando la parte de contacto, etc.
- proporcionar una fuerza predeterminada por parte de una parte de dicho brazo robótico,
- activar una herramienta de robot conectada a una parte del brazo robótico; por ejemplo, agarrar con una pinza, atornillar con una máquina atornilladora, soldar con una máquina de soldadura, etc.
- desactivar una herramienta de robot conectada a una parte del brazo robótico; por ejemplo, liberar una pinza, dejar de atornillar con una máquina atornilladora, dejar de soldar con una máquina de soldadura, etc.
- realizar una tarea predeterminada; por ejemplo, proporcionar indicaciones de usuario, esperar hasta que se haya detectado un cambio adicional en el contacto, esperar a otras señales de activación, etc.

Por ejemplo, la etapa 590 puede comprender opcionalmente una etapa 550 de activación de detección de un cambio en el contacto para realizar un cambio adicional en el contacto. Debe entenderse que las acciones de la etapa 590 pueden cambiarse para conseguir un resultado diferente o realizar diferentes acciones tras la próxima detección de cambio en el contacto. Esto hace posible realizar una serie de acciones diferentes en base a la detección de un cambio en el contacto y, de esta manera, permite una programación basada en la detección de un cambio en los contactos de un brazo robótico.

La Fig. 6 ilustra un diagrama de flujo de un método para controlar un brazo robótico que comprende otra realización del método de detección de un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo robótico y un objeto según la presente invención. El método es similar al método descrito en la Fig. 5 y a las etapas y elementos similares se les han proporcionado los mismos números de referencia que en la Fig. 5 y no se describirán más detalladamente. Cabe señalar que la etapa 585 opcional de confirmación de un cambio en el contacto no se ha ilustrado en la Fig. 6, pero debe entenderse que dicha etapa puede realizarse también como una parte del método.

En esta realización, la etapa 660 de obtención de parámetros comprende una etapa 663 de almacenamiento de la fuerza de contacto en un búfer 664 de memoria de fuerzas, en el que el búfer de memoria de fuerzas comprende un número n de fuerzas $F_{\text{contacto}, t-n}$ de contacto anteriores. En una realización, las fuerzas pueden detectarse a intervalos de tiempo regulares y, en dicha realización, n indicará la cantidad de intervalos de tiempo entre la fuerza de contacto actual y la primera de las fuerzas de contacto anteriores en el búfer de memoria de fuerzas. La etapa 561 de detección de la fuerza y la etapa 663 de almacenamiento de la fuerza de contacto en un búfer de memoria de fuerzas pueden realizarse de manera continua durante el funcionamiento del brazo robótico, por ejemplo, como un proceso separado. De esta manera, el búfer 664 de memoria de fuerzas comprende varias fuerzas de contacto anteriores y el número n de fuerzas de contacto anteriores puede establecerse en base al número necesario de fuerzas de contacto anteriores para la evaluación de datos, la memoria disponible del controlador del brazo robótico o cualquier otra propiedad deseada del búfer de memoria de fuerzas.

En esta realización, la etapa 660 de obtención de parámetros comprende una etapa 665 de almacenamiento de la aceleración de parte en un búfer 666 de memoria de aceleraciones, en el que el búfer de memoria de aceleraciones comprende un número m de aceleraciones $A_{\text{parte}, t-m}$ de parte anteriores. En una realización, la aceleración puede detectarse a intervalos de tiempo regulares y, en dicha realización, m indicará el número de intervalos de tiempo entre la presente aceleración de parte y una primera aceleración de parte del búfer de memoria de aceleraciones. La etapa 562 de detección de la aceleración y la etapa 665 de almacenamiento de la aceleración de parte en un búfer de memoria de aceleraciones pueden realizarse de manera continua durante el funcionamiento del brazo robótico, por ejemplo, como un proceso

separado. De esta manera, el búfer 666 de memoria de aceleraciones comprende varias aceleraciones de parte anteriores y el número m de aceleraciones de parte anteriores puede establecerse en base al número necesario de aceleraciones de parte anteriores para la evaluación de datos, la memoria disponible del controlador del brazo robótico o cualquier otra propiedad deseada del búfer de memoria de aceleraciones.

- 5 En esta realización, la etapa 670 de indicación de un cambio en el contacto comprende una etapa 673 de obtención de una diferencia $\Delta F_{\text{contacto}}$ de fuerzas entre al menos dos fuerzas de contacto obtenidas en diferentes puntos en el tiempo. Esto puede conseguirse, por ejemplo, restando a la última fuerza $F_{\text{contacto}, t}$ de contacto una fuerza $F_{\text{contacto}, t-i}$ de contacto anterior detectada antes de la última fuerza de contacto. La fuerza $F_{\text{contacto}, t-i}$ de contacto anterior puede obtenerse, por ejemplo, desde el búfer 664 de memoria de fuerzas. De esta manera, la diferencia de fuerzas puede obtenerse como:

10 ec. 5
$$\Delta F_{\text{contacto}} = F_{\text{contacto}, t} - F_{\text{contacto}, t-i}$$

A continuación, la diferencia $\Delta F_{\text{contacto}}$ de fuerzas puede almacenarse en una memoria para su uso posterior, tal como se describe a continuación.

- 15 En la realización ilustrada, la etapa 670 de indicación de un cambio en el contacto comprende una etapa 674 de obtención de una diferencia de aceleraciones entre al menos dos aceleraciones de parte obtenidas en diferentes puntos en el tiempo. Esto puede conseguirse, por ejemplo, restando a la última aceleración $A_{\text{parte}, t}$ de parte una aceleración $A_{\text{parte}, t-j}$ de parte anterior detectada antes de la última aceleración de parte. La aceleración $A_{\text{parte}, t-j}$ de parte anterior puede obtenerse, por ejemplo, desde el búfer 664 de memoria de fuerzas. De esta manera, la diferencia de aceleraciones puede obtenerse como:

ec. 6
$$\Delta A_{\text{parte}} = A_{\text{parte}, t} - A_{\text{parte}, t-j}$$

- 20 A continuación, la diferencia ΔA_{parte} de aceleraciones puede almacenarse en una memoria para su uso posterior, tal como se describe a continuación.

- En la realización ilustrada, la etapa 670 comprende una etapa 671 de comparación de la diferencia $\Delta F_{\text{contacto}}$ de fuerzas con un valor F_{umbral} umbral de fuerza, en el que el valor umbral de fuerza ha sido predeterminado y, por ejemplo, almacenado en la memoria. Tal como se ha descrito con relación a las Figs. 3a-3i y 4a-4i, se produce un aumento en la fuerza de contacto tras un cambio en el contacto entre la parte de contacto del robot y el objeto. Por consiguiente, tras el cambio en el contacto, la diferencia $\Delta F_{\text{contacto}}$ de fuerzas será positiva tras el cambio de contacto, si la última fuerza $F_{\text{contacto}, t}$ de contacto se obtiene tras el cambio en el contacto y la fuerza $F_{\text{contacto}, t-i}$ de contacto anterior se obtiene antes del cambio en el contacto. La etapa de comparación de la diferencia de fuerzas con el valor umbral de fuerza está configurada para abandonar (indicado mediante un icono pulgar hacia abajo) la etapa 670 de indicación de un cambio en el contacto, si la diferencia de fuerzas es menor que el valor umbral de fuerza, ya que esto indica que no se ha producido ningún cambio en el contacto. Por el contrario, la etapa de comparación de la diferencia de fuerzas con el valor umbral de fuerza está configurada para continuar (indicado mediante un icono de pulgar hacia arriba) a la siguiente etapa de la etapa 670 de indicación de un cambio en el contacto, si la diferencia de fuerzas es mayor que el valor umbral de fuerza, ya que esto indica que se ha producido un cambio en el contacto. En la situación ideal en la que la fuerza de contacto es precisa, el valor umbral de fuerza puede establecerse a cero, ya que la diferencia positiva de la fuerza de contacto indica un posible cambio en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico y un objeto. Sin embargo, se conoce que la fuerza de contacto puede ser inexacta debido a ruidos y/o a la falta de precisión del sensor de fuerza. De esta manera, en algunas situaciones puede ser beneficioso asignar un valor al valor umbral de fuerza, con el fin de superar las eventuales inexactitudes de las fuerzas de contacto, que pueden resultar en falsos positivos. Por consiguiente, la diferencia de fuerzas debe ser positiva y mayor que el valor umbral de fuerza para resultar en un progreso adicional del método.

- En la realización ilustrada, la etapa 670 comprende una etapa 672 de comparación de la diferencia ΔA_{parte} de aceleraciones con un valor A_{umbral} umbral de aceleración, en el que el valor umbral de aceleración ha sido predeterminado y, por ejemplo, almacenado en la memoria. Tal como se ha descrito con relación a las Figs. 3a-3i y 4a-4i, se produce una disminución en la aceleración de parte tras un cambio en el contacto entre la parte de contacto del robot y el objeto. Por consiguiente, tras un cambio en el contacto, la diferencia ΔA_{parte} de aceleraciones será negativa tras un cambio en el contacto, si la última aceleración $A_{\text{parte}, t}$ de parte se obtiene tras un cambio en el contacto y la aceleración $A_{\text{parte}, t-j}$ de parte anterior se obtiene antes del cambio en el contacto. La etapa de comparación de la diferencia de aceleraciones con el valor umbral de aceleración está configurada para abandonar (indicado mediante un icono de pulgar hacia abajo) la etapa 670 de indicación de un cambio en el contacto, si la diferencia de aceleraciones es mayor que el valor umbral de aceleración, ya que esto indica que no se ha producido un cambio en el contacto. Por el contrario, la etapa de comparación de la diferencia de aceleraciones con el valor umbral de aceleración está configurada para continuar (indicado mediante un icono de pulgar hacia arriba) a la siguiente etapa de la etapa 670 de indicación de un cambio en el contacto, si la diferencia de aceleraciones es menor que el valor umbral de aceleración, ya que esto indica que se ha producido un cambio en el contacto. En la situación ideal en la que la aceleración de parte es precisa, el valor umbral de aceleración puede establecerse a cero, ya que una diferencia negativa en la aceleración de parte indica un posible cambio en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico y un objeto. Sin embargo, se conoce que la aceleración de parte puede ser inexacta debido a ruidos y/o a la inexactitud del sensor de aceleración. De esta manera, en algunas situaciones puede ser beneficioso asignar un valor al valor umbral de aceleración, con el fin de superar las eventuales inexactitudes de las aceleraciones de parte, que pueden

resultar en falsos positivos. Por consiguiente, la diferencia de aceleraciones debe ser positiva y mayor que el valor umbral de aceleración para resultar en un progreso adicional del método.

El orden de una etapa 671 de comparación de la diferencia $\Delta F_{\text{contacto}}$ de fuerzas con un valor F_{umbral} umbral de fuerza y la etapa 672 de comparación de la diferencia ΔA_{parte} de aceleraciones con un valor A_{umbral} umbral de aceleración no es importante y las dos etapas pueden ejecutarse en cualquier orden, ya que deben cumplirse ambas condiciones para garantizar que se ha producido un cambio en el contacto. Debe entenderse también que las etapas pueden integrarse en una única etapa en la que una función lógica evalúa ambos requisitos.

El método puede comprender también una etapa 685 opcional (ilustrada en líneas discontinuas) de confirmación de un cambio en el contacto que se asegura de que el cambio en el contacto indicado por las etapas de comparaciones positivas anteriores es causado por un cambio real en el contacto y no es causado por falsos positivos, por ejemplo, debido a ruidos u otras perturbaciones. En esta realización, la etapa 685 de confirmación de un cambio en el contacto se realiza en base a un número de fuerzas de contacto anteriores almacenadas en el búfer de memoria de fuerzas y un número de aceleraciones de parte anteriores almacenadas en el búfer de memoria de aceleraciones. Esto puede realizarse, por ejemplo, repitiendo las etapas 673, 674, 671 y 672, donde la diferencia de fuerzas obtenida en la etapa 673 y la diferencia de aceleraciones obtenida en la etapa 674 se realizan en base a un conjunto diferente de fuerzas de contacto y aceleraciones de parte anteriores que, por ejemplo, pueden obtenerse desde el búfer de memoria de fuerzas y el búfer de memoria de aceleraciones. En la realización ilustrada, la etapa 685 de confirmación de un cambio en el contacto puede comprender una etapa 586 de comparación de un contador C_i de confirmaciones con un umbral C_{umbral} de contador de confirmaciones, tal como se ha descrito anteriormente. Siempre y cuando el contador C_i de confirmaciones sea menor que el umbral de contador de confirmaciones, el contador de confirmaciones se incrementa en 1 en la etapa 587 y el conjunto de fuerzas de contacto y aceleraciones de parte anteriores se cambia en la etapa 689 de manera que las etapas 673 y 674 se ejecutarán en base a un conjunto diferente de fuerzas de contacto y aceleraciones de parte. Por ejemplo, el conjunto de fuerzas de contacto y aceleraciones de parte anteriores puede cambiarse actualizando el contador t de temporizador que indica qué fuerzas de contacto y aceleraciones de parte del búfer de memoria de fuerzas y del búfer de memoria de aceleraciones se usan en las etapas 673 y 674. En esta realización, el contador t de temporizador se decrementa en 1 en la etapa 689, lo que resulta en el hecho de que las etapas 673 y 674 se realizarán sobre un conjunto de fuerzas de contacto y aceleraciones anteriores que se ha obtenido un intervalo de tiempo más atrás en el tiempo. El umbral de contador de confirmaciones definirá el número de intervalos de tiempo atrás en el tiempo en los que se ha indicado un cambio en el contacto que debe cumplirse antes de que la etapa 670 indique un cambio en el contacto. La etapa 588 de restablecimiento del contador de confirmaciones puede realizarse al inicio de la etapa 670. En el caso en el que las etapas 571, 572 de comparación que indican un cambio en el contacto sean negativas; esto puede realizarse, por ejemplo, estableciendo el contador de confirmaciones a cero.

La Fig. 7 ilustra un diagrama de flujo de un método para controlar un brazo robótico que comprende otra realización del método para detectar un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo robótico y un objeto según la presente invención. El método es similar a los métodos descritos en las Figs. 5 y 6 y a las etapas y elementos similares se les han proporcionado los mismos números de referencia que en las Figs. 5 y 6 y no se describirán más detalladamente. Cabe señalar que la etapa 585 opcional y/o la etapa 686 de confirmación de un cambio en el contacto no se han ilustrado en la Fig. 7 y debe entenderse que dichas etapas pueden realizarse también como una parte del método.

En esta realización, la etapa 770 de indicación de un cambio en el contacto comprende una etapa 775 de obtención de una relación $FA_{\text{relación}}$ entre la fuerza de contacto y la aceleración de parte. Esto puede conseguirse, por ejemplo, dividiendo la diferencia $\Delta F_{\text{contacto}}$ de fuerzas por la diferencia ΔA_{parte} de aceleraciones, de manera que la relación $FA_{\text{relación}}$ fuerza-aceleración pueda obtenerse mediante:

$$\text{ec. 7} \quad FA_{\text{relación}} = \Delta F_{\text{contacto}} / \Delta A_{\text{parte}}$$

En la realización ilustrada, la etapa 770 comprende una etapa 776 de comparación de la relación $FA_{\text{relación}}$ entre la fuerza de contacto y la aceleración de parte con un valor FA_{umbral} umbral de relación fuerza-aceleración, en el que el valor umbral de relación fuerza-aceleración ha sido predeterminado y, por ejemplo, almacenado en la memoria. Tal como se ha descrito con relación a las Figs. 3a-3i y 4a-4i, se produce un aumento en la fuerza de contacto y una disminución en la aceleración de parte tras un cambio en el contacto entre la parte de contacto del robot y el objeto. Por consiguiente, tras un cambio en el contacto, la relación $FA_{\text{relación}}$ fuerza-aceleración obtenida mediante la ec. 7 será negativa. La etapa 776 de comparación de la relación fuerza-aceleración con el valor umbral de relación fuerza-aceleración está configurada para abandonar (indicado mediante un icono pulgar hacia abajo) la etapa 770 de indicación de un cambio en el contacto, si la relación fuerza-aceleración es mayor que el valor umbral de relación fuerza-aceleración, ya que esto indica que no se ha producido un cambio en el contacto. Al contrario, si la etapa de comparación de la relación fuerza-aceleración es menor que el valor umbral de relación fuerza-aceleración, ya que esto indica que se ha producido un cambio en el contacto. En la situación ideal en la que la fuerza de contacto y la aceleración de parte son precisas, el valor umbral de relación fuerza-aceleración puede establecerse a cero, ya que una relación fuerza-aceleración negativa indica un cambio en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico y un objeto. Sin embargo, se conoce que tanto la fuerza de contacto como la aceleración de parte pueden ser inexactas debido a ruidos y/o a la inexactitud de los sensores; de esta manera, en algunas situaciones puede ser beneficioso asignar un valor al valor umbral de relación fuerza-aceleración que considere las eventuales

inexactitudes de la fuerza de contacto y de la aceleración de parte.

También es posible definir un segundo valor umbral de relación fuerza-aceleración que indica un valor que la relación fuerza-aceleración obtenida debe superar para indicar un cambio en el contacto. Esto permite evitar falsos positivos en situaciones en las que se ha obtenido una pequeña diferencia de aceleraciones y en las que los signos de la diferencia de fuerzas y la diferencia de aceleraciones obtenidas son diferentes, ya que esto puede causar una gran relación fuerza-aceleración negativa sin un cambio real en el contacto. De esta manera, es posible proporcionar un segundo umbral de relación fuerza-aceleración para resolver dichos falsos positivos.

Cabe señalar que la relación $FA_{relación}$ entre la fuerza de contacto y la aceleración de parte puede obtenerse, de manera alternativa, dividiendo la diferencia ΔA_{parte} de aceleraciones por la diferencia $\Delta F_{contacto}$ de fuerzas y que, en dicha realización, la relación fuerza-aceleración sería también negativa tras un cambio en el contacto.

Además, en la realización ilustrada en la Fig. 5, puede introducirse la etapa 775 de obtención de una relación $FA_{relación}$ entre la fuerza de contacto y la aceleración de parte; por ejemplo, dividiendo la fuerza $F_{contacto}$ de contacto por la aceleración A_{parte} de parte, de manera que la relación $FA_{relación}$ fuerza-aceleración pueda obtenerse mediante:

$$ec. 8 \quad FA_{relación} = F_{contacto} / A_{parte}$$

Además, la etapa 776 de comparación de la relación $FA_{relación}$ entre la fuerza de contacto y la aceleración de parte con un valor FA_{umbral} umbral de relación fuerza-aceleración puede incorporarse también en la realización ilustrada en la Fig. 5. Por consiguiente, tras un cambio en el contacto, la relación $FA_{relación}$ fuerza-aceleración obtenida mediante la ec. 8 será negativa y la etapa 776 de comparación de la relación fuerza-aceleración con el umbral de relación fuerza-aceleración puede estar configurada para abandonar (indicado mediante un icono de pulgar hacia abajo) la etapa 770 de indicación de un cambio en el contacto, si la relación fuerza-aceleración es mayor que el valor umbral de relación fuerza-aceleración y para continuar (indicado mediante un icono de pulgar hacia arriba) a la siguiente etapa de la etapa 770 de indicación de un cambio en el contacto. La etapa 775 de obtención de una relación $FA_{relación}$ entre la fuerza de contacto y la aceleración de parte y la etapa 776 de comparación de la relación $FA_{relación}$ entre la fuerza de contacto y la aceleración de parte con un valor FA_{umbral} umbral de relación fuerza-aceleración puede reemplazar de esta manera las etapas 571 de comparación de la fuerza $F_{contacto}$ de contacto con un valor F_{umbral} umbral de fuerza, y la etapa 572 de comparación de la aceleración A_{parte} de parte con un valor A_{umbral} umbral de aceleración. Debe entenderse que, en una realización, puede proporcionarse también la etapa 776, además de las etapas 571 y la etapa 572, de manera que deban cumplirse todas las condiciones para indicar un cambio en el contacto.

La Fig. 8 ilustra un diagrama de flujo de un método para controlar un brazo robótico que comprende otra realización del método para detectar un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo robótico y un objeto según la presente invención. El método es similar a los métodos descritos en las Figs. 5-7 y a las etapas y elementos similares se les han proporcionado los mismos números de referencia que en las Figs. 5-7 y no se describirán más detalladamente. Cabe señalar que la etapa 585 opcional y/o la etapa 686 de confirmación de un cambio en el contacto no se han ilustrado en la Fig. 8 y debe entenderse que dichas etapas pueden realizarse también como una parte del método.

En esta realización, la etapa 870 de indicación de un cambio en el contacto se basa en múltiples fuerzas de contacto detectadas en diferentes puntos en el tiempo. Esto hace posible proporcionar una detección de cambio en el contacto más robusta, ya que pueden reducirse las variaciones de la fuerza de contacto debidas, por ejemplo, a cambios de temperatura, condiciones de trabajo, etc. En la realización ilustrada, la etapa 870 de indicación de un cambio en el contacto comprende una etapa 877 de obtención de un valor F_{estad} de fuerza estadístico basado en múltiples fuerzas de contacto. Tal como se ilustra, el valor F_{estad} de fuerza estadístico puede obtenerse, por ejemplo, en base a un número de fuerzas de contacto anteriores almacenadas en el búfer de memoria de fuerzas. En la realización ilustrada, el valor de fuerza estadístico se obtiene como el valor medio de las n fuerzas de contacto anteriores almacenadas en el búfer de memoria de fuerzas. Sin embargo, debe entenderse que el valor de fuerza estadístico puede obtenerse como cualquier valor basado en múltiples fuerzas de contacto, tal como un promedio, media, mediana, modo, variabilidad, intervalo, varianza, desviación (estándar), distribución de frecuencia, etc. Entonces, la diferencia de fuerzas obtenida en la etapa 873 puede basarse en el valor F_{estad} de fuerza estadístico mediante el uso de:

$$ec. 9 \quad \Delta F_{contacto} = F_{contacto,t} - F_{estad}$$

en la que $F_{contacto,t}$ es la fuerza detectada en el instante de tiempo t y F_{estad} es el valor medio de las fuerzas de contacto anteriores almacenadas en el búfer de memoria de fuerzas. De esta manera, la diferencia de fuerzas indica la diferencia entre la última fuerza de contacto y el valor medio de las fuerzas de contacto anteriores almacenadas en el búfer de memoria.

En la etapa 671, la diferencia de fuerzas se compara con un valor umbral de fuerza, tal como se ha descrito anteriormente, y el método continúa en el caso en el que la diferencia de fuerzas es mayor que el valor umbral de fuerza. En esta realización, el valor umbral de fuerza se establece en un valor mayor que cero para evitar que un pequeño aumento en la fuerza de contacto en comparación con el valor de fuerza estadístico resulte en un resultado de prueba positivo en la etapa 671. El umbral de fuerza puede obtenerse, por ejemplo, en base al valor de fuerza estadístico, por ejemplo, dinámicamente

durante el funcionamiento del brazo robótico. Esto permite ajustar el valor umbral de fuerza a lo largo del tiempo, por ejemplo, para compensar los cambios de temperatura, las condiciones de trabajo, etc. del robot. Por ejemplo, el valor umbral de fuerza puede obtenerse en base al valor medio de las fuerzas de contacto anteriores y la varianza de las fuerzas de contacto anteriores, lo que hace posible ajustar el valor umbral de fuerza a lo largo del tiempo y, de esta manera, evitar detecciones con falsos positivos debido a la deriva del sensor de fuerza.

De manera similar, la etapa 870 de indicación de un cambio en el contacto se basa en múltiples aceleraciones de parte detectadas en diferentes puntos en el tiempo. Esto hace posible proporcionar una detección de cambio en el contacto más robusta, ya que pueden reducirse las variaciones de las aceleraciones de parte, por ejemplo, debidas a cambios de temperatura, condiciones de trabajo, etc. En la realización ilustrada, la etapa 870 de indicación de un cambio en el contacto comprende una etapa 878 de obtención de un valor A_{estad} de aceleración estadístico basado en múltiples aceleraciones de parte. El valor A_{estad} de aceleración puede obtenerse, por ejemplo, en base a un número de aceleraciones de parte anteriores almacenadas en el búfer de memoria de aceleraciones. En la realización ilustrada, el valor de aceleración estadístico se obtiene como el valor medio de las n aceleraciones de parte anteriores almacenadas en el búfer de memoria de aceleraciones. Sin embargo, debe entenderse que el valor de aceleración estadístico puede obtenerse como cualquier valor basado en múltiples aceleraciones de parte, tal como un promedio, media, mediana, modo, variabilidad, intervalo, varianza, desviación (estándar), distribución de frecuencia, etc. La diferencia de aceleraciones obtenida en la etapa 874 puede basarse entonces en el valor A_{estad} de fuerza estadístico usando:

$$ec. 10 \quad \Delta A_{parte} = A_{parte,t} - A_{estad}$$

en la que $A_{parte,t}$ es la aceleración detectada en el instante de tiempo t y A_{estad} es el valor medio de las aceleraciones de parte anteriores almacenadas en el búfer de memoria de fuerzas. De esta manera, la diferencia de aceleraciones indica la diferencia entre la última aceleración de parte y el valor medio de las aceleraciones de parte anteriores almacenadas en el búfer de memoria.

En la etapa 672, la diferencia de aceleraciones se compara con un valor umbral de aceleración, tal como se ha descrito anteriormente, y el método continúa en el caso en el que la diferencia de aceleraciones es menor que el valor umbral de aceleración. En esta realización, el valor umbral de aceleración se establece a un valor mayor que cero para evitar que una pequeña disminución en la aceleración en comparación con el valor de aceleración estadístico resulte en un resultado de prueba positivo en la etapa 672. El valor umbral de aceleración puede obtenerse, por ejemplo, en base al valor de aceleración estadístico, por ejemplo, dinámicamente durante el funcionamiento del robot. Esto hace posible ajustar el valor umbral de aceleración a lo largo del tiempo, por ejemplo, para compensar los cambios de temperatura, las condiciones de trabajo, etc. del robot. Por ejemplo, el valor umbral de aceleración puede obtenerse en base al valor medio y la varianza de las aceleraciones de parte anteriores, lo que hace posible ajustar el valor umbral de aceleración a lo largo del tiempo y, de esta manera, evitar detecciones con falsos positivos debido a la deriva del sensor de aceleración.

Cabe señalar que la etapa 775 de obtención de una relación fuerza-aceleración ilustrada tal como se describe en la Fig. 7 puede basarse en un valor de fuerza estadístico y/o un valor de aceleración estadístico y que el valor umbral de fuerza-aceleración puede basarse en un valor de fuerza estadístico y/o un valor de aceleración estadístico.

La Fig. 9 ilustra un diagrama de flujo de un método para controlar un brazo robótico que comprende otra realización del método para detectar un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo robótico y un objeto según la presente invención. El método es similar a los métodos descritos en las Figs. 5-8 y a las etapas y elementos similares se les han proporcionado los mismos números de referencia que en las Figs. 5-8 y no se describirán más detalladamente. Cabe señalar que la etapa 585 opcional y/o la etapa 686 de confirmación de un cambio en el contacto no se han ilustrado en la Fig. 9 y debe entenderse que dichas etapas pueden realizarse también como una parte del método.

En esta realización, la etapa 977 de obtención de un valor F_{estad} de fuerza estadístico basado en múltiples fuerzas de contacto comprende una etapa 979 de obtención de un primer valor $F_{estad,1}$ de fuerza estadístico basado en un primer conjunto de fuerzas de contacto anteriores y una etapa 980 de obtención de un segundo valor $F_{estad,2}$ de fuerza estadístico basado en un segundo conjunto de fuerzas de contacto anteriores, en el que el primer conjunto de fuerzas de contacto anteriores y el segundo conjunto de fuerzas de contacto anteriores son diferentes. Que el primer conjunto de fuerzas de contacto anteriores y el segundo conjunto de fuerzas de contacto sean diferentes significa que al menos uno de los conjuntos de fuerzas de contacto comprende una fuerza de contacto anterior que no forma parte del otro conjunto de fuerzas de contacto. Por consiguiente, el valor $F_{estad,1}$ de fuerza estadístico y el segundo valor $F_{estad,2}$ de fuerza estadístico se han obtenido en base a diferentes bases estadísticas. En la realización ilustrada, el primer conjunto de fuerzas de contacto anteriores comprende las primeras p fuerzas de contacto del búfer de memoria de fuerzas y el segundo conjunto de fuerzas de contacto anteriores comprende las últimas q fuerzas de contacto en el búfer de memoria de fuerzas. El primer conjunto de fuerzas de contacto anteriores comprende, de esta manera, las fuerzas de contacto $F_{contacto,t}$ a $F_{contacto,t-p}$ y el segundo conjunto de fuerzas de contacto anteriores comprende, de esta manera, las fuerzas de contacto $F_{contacto,t-(n-q)}$ a $F_{contacto,t-n}$. En el caso en el que $n=p+q$ y $p=q$, el primer conjunto de fuerzas de contacto anteriores comprende la primera mitad del búfer de memoria de fuerzas y el segundo conjunto de fuerzas de contacto anteriores comprende la segunda mitad del búfer de memoria de fuerzas. Tal como se ha descrito anteriormente, los valores de fuerza estadísticos primero y segundo pueden obtenerse como cualquier valor basado en los conjuntos respectivos de fuerzas de contacto, tales como un promedio, media, mediana, modo, variabilidad, intervalo, varianza, desviación (estándar), distribución de frecuencia, etc.

En esta realización, la etapa 970 de indicación de un cambio en el contacto comprende una etapa 981 de obtención de un valor $F_{estad,prueba}$ de fuerza estadístico de prueba basado en el primer valor de fuerza estadístico y el segundo valor de fuerza estadístico, por ejemplo, el valor de fuerza estadístico de prueba puede obtenerse como una relación entre el primer valor de fuerza estadístico y el segundo valor de fuerza estadístico, la diferencia entre el primer valor de fuerza estadístico y el segundo valor de fuerza estadístico, la suma/producto del primer valor de fuerza estadístico y el segundo valor de fuerza estadístico o cualquier valor derivado basado en el primer valor de fuerza estadístico y el segundo valor de fuerza estadístico.

En esta realización, la etapa 978 de obtención de un valor de aceleración estadístico basado en múltiples aceleraciones de parte comprende una etapa 982 de obtención de un primer valor $A_{estad,1}$ de aceleración estadístico basado en un primer conjunto de aceleraciones de parte anteriores y una etapa 983 de obtención de un segundo valor $A_{estad,2}$ de aceleración estadístico basado en un segundo conjunto de aceleraciones de parte anteriores, en el que el primer conjunto de aceleraciones de parte anteriores y el segundo conjunto de aceleraciones de parte anteriores son diferentes. Que el primer conjunto de aceleraciones de parte anteriores y el segundo conjunto de aceleraciones de parte anteriores sean diferentes significa que al menos uno de los conjuntos de aceleraciones de parte comprende una aceleración de parte anterior que no forma parte del otro conjunto de aceleraciones de parte. Por consiguiente, el valor $A_{estad,1}$ de aceleración estadístico y el segundo valor $A_{estad,2}$ de aceleración estadístico se han obtenido en base a diferentes bases estadísticas. En la realización ilustrada, el primer conjunto de aceleraciones de parte anteriores comprende las primeras p aceleraciones de parte del búfer de memoria de aceleraciones y el segundo conjunto de aceleraciones de parte anteriores comprende las últimas q aceleraciones de parte en el búfer de memoria de aceleraciones. El primer conjunto de aceleraciones de parte anteriores comprende, de esta manera, las aceleraciones de parte $A_{parte,t}$ a $A_{parte,t-p}$ y el segundo conjunto de aceleraciones de parte anteriores comprende, de esta manera, las aceleraciones de parte $A_{parte,t-(m-q)}$ a $A_{parte,t-m}$. En el caso en el que $m=p+q$ y $p=q$, el primer conjunto de aceleraciones de parte anteriores comprende la primera mitad del búfer de memoria de aceleraciones y el segundo conjunto de aceleraciones de parte anteriores comprende la segunda mitad del búfer de memoria de aceleraciones. Tal como se ha descrito anteriormente, los valores de aceleración estadísticos primero y segundo pueden obtenerse como cualquier valor obtenido en base a los conjuntos de aceleraciones de parte respectivos, como una media, media, mediana, modo, variabilidad, intervalo, varianza, desviación (estándar), distribución de frecuencia, etc.

En esta realización, la etapa 970 de indicación de un cambio en el contacto comprende una etapa 984 de obtención de un valor $A_{estad,prueba}$ de aceleración estadístico de prueba basado en el primer valor de aceleración estadístico y el segundo valor de aceleración estadístico, por ejemplo, el valor de aceleración estadístico de prueba puede obtenerse como una relación entre el primer valor de aceleración estadístico y el segundo valor de aceleración estadístico, la diferencia entre el primer valor de aceleración estadístico y el segundo valor de aceleración estadístico, la suma/producto del primer valor de aceleración estadístico y el segundo valor de aceleración estadístico o cualquier valor derivado basado en el primer valor de aceleración estadístico y el segundo valor de aceleración estadístico.

El método comprende una etapa 975 de obtención de una relación $FA_{relación,estad}$ de fuerza-aceleración estadística y la etapa 976 de comparación de la relación $FA_{relación,estad}$ de fuerza-aceleración estadística con un umbral FA_{umbral} de relación de fuerza-aceleración. La relación $FA_{relación,estad}$ de fuerza-aceleración estadística puede conseguirse, por ejemplo, dividiendo el valor $F_{estad,prueba}$ de fuerza estadístico de prueba por el valor $A_{estad,prueba}$ de aceleración estadístico de prueba de manera que la relación $FA_{relación,estad}$ de fuerza-aceleración pueda obtenerse mediante:

$$ec. 11 \quad FA_{relación,estad} = F_{estad,prueba} / A_{estad,prueba}$$

El valor umbral de relación fuerza-aceleración puede determinarse o determinarse dinámicamente durante el funcionamiento del brazo robótico. Esto hace posible obtener un valor de fuerza estadístico de prueba y un valor de aceleración estadístico basado en la evolución histórica de la fuerza estadística y el valor o los valores de aceleración y el valor histórico pueden compararse en la etapa 976 con un valor umbral, de manera que pueda detectarse de manera más robusta un cambio en el contacto. Esto es útil con relación a situaciones en las que el brazo robótico se mueve lentamente, ya que en dicha situación un aumento en la fuerza de contacto y una disminución en la aceleración de parte debido al cambio en el contacto ocurren lentamente y puede no resultar en un aumento en la fuerza de contacto y en una disminución en la aceleración de parte suficientes en el instante de tiempo t usado como parámetro en los métodos de detección de cambio en el contacto descritos anteriormente. Por consiguiente, el uso de diferentes valores de fuerza estadísticos y diferentes valores de aceleración estadísticos hace posible detectar un cambio en el contacto durante los movimientos lentos del brazo robótico.

Como ejemplo en una realización, el primer valor de fuerza estadístico y el segundo valor de fuerza estadístico pueden obtenerse como el valor medio respectivamente de un primer conjunto de fuerzas de contacto anteriores y un segundo conjunto de fuerzas de contacto anteriores, en el que al menos una parte de las fuerzas de contacto anteriores del primer conjunto de fuerzas de contacto anteriores y una parte del segundo conjunto de fuerzas de contacto anteriores se han detectado en diferentes puntos en el tiempo. Por consiguiente, el primer valor de fuerza estadístico puede obtenerse como el valor medio de las primeras p fuerzas de contacto del búfer de memoria de fuerzas:

$$ec. 12 \quad F_{estad,1} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p F_{contacto,i}$$

y el segundo valor de fuerza estadístico puede obtenerse como el valor medio de las últimas q fuerzas de contacto del búfer de memoria de fuerzas:

$$\text{ec. 13} \quad F_{estad,2} = \frac{1}{q} \sum_{i=n-q}^n F_{contacto,i}$$

en la que $F_{contacto,i}$ es la i-ésima fuerza de contacto en el búfer de memoria de fuerzas, y n es el número de fuerzas de contacto en el búfer de memoria de fuerzas.

Además, el primer valor de aceleración estadístico puede obtenerse como el valor medio de las primeras p aceleraciones de parte del búfer de memoria de aceleraciones:

$$\text{ec. 14} \quad A_{estad,1} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p A_{parte,i}$$

y el segundo valor de aceleración estadístico puede obtenerse como el valor medio de las últimas q aceleraciones de parte del búfer de memoria de aceleraciones:

$$\text{ec. 15} \quad A_{estad,2} = \frac{1}{q} \sum_{i=m-q}^m A_{parte,i}$$

en la que $A_{parte,i}$ es la i-ésima aceleración de parte en el búfer de memoria de aceleraciones, y m es el número de aceleraciones de parte en el búfer de memoria de aceleraciones.

El valor de fuerza estadístico de prueba puede obtenerse entonces como la diferencia entre el primer valor de fuerza estadístico y el segundo valor de fuerza estadístico:

$$\text{ec. 16} \quad F_{estad,prueba} = F_{estad,1} - F_{estad,2}$$

y el valor de aceleración estadístico de prueba puede obtenerse entonces como la diferencia entre el primer valor de aceleración estadístico y el segundo valor de aceleración estadístico:

$$\text{ec. 17} \quad A_{estad,prueba} = A_{estad,1} - A_{estad,2}$$

Tal como se ha descrito con relación a las Figs. 3a-3i y 4a-4i, se produce un aumento en la fuerza de contacto y una disminución en la aceleración de parte tras un cambio en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico y el objeto, y, con relación a un movimiento lento del brazo robótico, el aumento de la fuerza y la disminución de la aceleración ocurren lentamente. Un cambio lento en el contacto puede compararse con una situación de sujeción en la que el brazo robótico se sujeta contra un objeto, en el que la fuerza aumenta y en el que el brazo robótico se desacelera con el tiempo. Por consiguiente, tras un cambio lento en el contacto, la relación $FA_{relación,estad}$ fuerza-aceleración obtenida mediante la ec. 11 en base al segundo valor de fuerza estadístico y al segundo valor de aceleración estadístico será negativa y el FA_{umbral} puede establecerse a cero para indicar un cambio lento en el contacto. Además, una vez que empieza a producirse la sujeción, el valor de aceleración estadístico se aproximará a cero, ya que la parte de contacto del brazo robótico se mantiene en la misma posición, lo que resulta en un valor enorme (infinito) de $FA_{relación,estad}$ y un segundo valor FA_{umbral} pueden establecerse entonces como un valor umbral superior que indica la sujeción en el caso en el que la $FA_{relación,estad}$ excede ese valor.

La etapa 976 de comparación de la relación de fuerza-aceleración estadística con el valor umbral de relación fuerza-aceleración está configurada para abandonar (indicado mediante un icono pulgar hacia abajo) la etapa 970 de indicación de cambio en el contacto, si la relación de fuerza-aceleración estadística es mayor que el valor umbral de relación fuerza-aceleración, ya que esto indica que no se ha producido ningún cambio en el contacto. Por el contrario, la etapa de comparación de la diferencia de relación fuerza-aceleración estadística con el valor umbral de relación fuerza-aceleración es menor que el valor umbral de relación fuerza-aceleración, ya que esto indica que se ha producido un cambio en el contacto.

Además, puede configurarse una etapa adicional (no mostrada) de comparación de la relación de fuerza-aceleración estadística con el valor umbral de relación fuerza-aceleración para indicar, si la relación de fuerza-aceleración estadística es mayor que un segundo valor umbral de relación fuerza-aceleración, que indica que se ha producido una situación de sujeción.

La Fig. 10 ilustra un diagrama de flujo de un método para controlar un brazo robótico que comprende otra realización del método para detectar un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo robótico y un objeto según la presente invención. El método es similar a los métodos descritos en las Figs. 5-9, y a las etapas y elementos similares se les han proporcionado los mismos números de referencia que en las Figs. 5-9 y no se describirán más detalladamente. Cabe señalar que la etapa 585 opcional y/o la etapa 686 de confirmación de un cambio en el contacto no se han ilustrado en la Fig. 10 y debe entenderse que dichas etapas pueden realizarse también como una parte del método.

En esta realización, la etapa 1070 de indicación de un cambio en el contacto comprende una etapa 1091 de

almacenamiento del valor $F_{estad,t}$ de fuerza estadístico obtenido en la etapa 979 en un búfer 1092 de memoria de valores de fuerza estadísticos, en el que el búfer de memoria de valores de fuerza estadísticos comprende un número v de valores $F_{stat,t-v}$ de fuerza estadística anteriores. El búfer de memoria de fuerza estadístico puede comprender también diferentes tipos de valores, por ejemplo, tanto la media como la desviación del mismo número de fuerzas de contacto pueden almacenarse en el búfer de memoria de valores de fuerza estadísticos. En dicha realización, la etapa 981 de obtención de un valor $F_{estad,prueba}$ de fuerza estadístico de prueba puede basarse en al menos dos de los valores de fuerza estadísticos del búfer de memoria de valores de fuerza estadísticos.

De manera similar, la etapa 1070 de indicación de un cambio en el contacto puede comprender una etapa 1093 de almacenamiento de un valor A_{estad} de aceleración estadístico en un búfer 1094 de valores de aceleración estadísticos, en el que el búfer de valores de aceleración estadísticos comprende un número w de valores $A_{estad,t-w}$ de aceleración estadísticos anteriores. El búfer de memoria de aceleraciones estadísticas puede comprender también diferentes tipos de valores, por ejemplo, pueden almacenarse tanto la media como la desviación del mismo número de fuerzas de contacto en el búfer de memoria de valores de aceleración estadísticos. En dicha realización, la etapa de obtención de un valor $A_{estad,prueba}$ de aceleración estadístico de prueba puede basarse en al menos dos de los valores de aceleración estadísticos del búfer de memoria de valores de aceleración estadísticos.

El almacenamiento del valor de fuerza estadístico y/o el valor de aceleración estadístico en un búfer hace posible realizar una detección de un cambio en el contacto en base a un gran número de valores estadísticos obtenidos en base a diferentes conjuntos de valores detectados, en el que los valores se han detectado en diferentes puntos en el tiempo. Por consiguiente, las variaciones a lo largo del tiempo en los valores estadísticos pueden usarse para determinar si se ha producido o no un cambio en el contacto. El almacenamiento adicional de los valores estadísticos en el búfer hace posible obtener los valores directamente desde el búfer en lugar de volver a calcular los valores estadísticos.

La Fig. 11 ilustra un diagrama de flujo de un método para controlar un brazo robótico que comprende otra realización del método para detectar un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo robótico y un objeto según la presente invención. El método es similar a los métodos descritos en las Figs. 5-10 y a las etapas y elementos similares se les han proporcionado los mismos números de referencia que en las Figs. 5-10 y no se describirán más detalladamente. En esta realización, la etapa 1170 de indicación de un cambio en el contacto entre una parte de contacto del brazo robótico y un objeto comprende al menos dos métodos diferentes para indicar un cambio en el contacto entre el brazo robótico y un objeto, en el que al menos uno de los métodos se basa en la fuerza de contacto y en la aceleración de parte en la parte de contacto del brazo robótico. Esto hace posible proporcionar diferentes tipos de métodos para detectar un cambio en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico y un objeto, lo que puede aumentar la robustez de la detección de un cambio en el contacto y puede garantizar una detección de cambio de contacto correcta en varios modos de funcionamiento del brazo robótico. Los al menos dos métodos diferentes para detectar un cambio en el contacto pueden realizarse independientemente entre sí y puede indicarse un cambio en el contacto en el caso en el que uno de los métodos indique un cambio en el contacto. De manera adicional o alternativa, al menos algunos de los al menos dos métodos diferentes para detectar un cambio en el contacto pueden depender uno de otro, de manera que ambos métodos deben indicar un cambio en el contacto para indicar un cambio en el contacto.

En la realización ilustrada, la etapa 1170 comprende las etapas 770, 870 y 1070 de indicación de un cambio en el contacto, tal como se describe e ilustra en las Figs. 7, 8 y 10. Las etapas 770, 870 y 1070 se realizan después de la etapa 660 de obtención de parámetros y se ejecutan independientemente entre sí. En esta realización, se indica un cambio en el contacto si al menos una de las etapas 770, 870 y 1070 indica que se ha producido un cambio en el contacto.

La etapa 770 comprende las etapas 673, 674, 775 y 776, tal como se describe con relación a la Fig. 7. Además, la etapa 770 comprende una etapa 786 de comparación de un contador $C_{i,h}$ de confirmaciones con un umbral $C_{umbral,h}$ de contador de confirmaciones, en el que el contador $C_{i,h}$ de confirmaciones indica el número de casos en los que se ha indicado un cambio en el contacto en base a las etapas 673, 674, 775 y 776 y el contador de confirmaciones se incrementa cada vez que se ha indicado un cambio en el contacto. El umbral $C_{umbral,h}$ de contador de confirmaciones, indica un número deseado de casos en los que debe detectarse un cambio en el contacto para confirmar el cambio en el contacto. En esta realización, el contador de umbrales de confirmación es dos, lo que resulta en el hecho de que es necesario indicar dos cambios constructivos en los contactos antes de que la etapa 770 indique el cambio en el contacto. La etapa 770 indica que se ha producido un cambio en el contacto rápidamente, ya que la etapa de indicación de un cambio en el contacto se basa en tres conjuntos de fuerzas de contacto y aceleraciones de parte. En primer lugar, la relación FA_{umbral} obtenida en base a los conjuntos de fuerzas de contacto y aceleraciones de parte primero y segundo excede el valor FA_{umbral} umbral de relación fuerza-aceleración. En segundo lugar, la relación FA_{umbral} obtenida en base a los conjuntos de fuerzas de contacto y aceleraciones de parte segundo y tercero excede el valor FA_{umbral} umbral de relación fuerza-aceleración. El valor FA_{umbral} se establece a un nivel suficientemente elevado para proporcionar una detección sólida de un cambio en el contacto y para evitar falsos positivos debidos, por ejemplo, a ruidos en la detección. Por consiguiente, la etapa 770 proporciona un método robusto y rápido para indicar cuándo se produce un cambio fuerte en el contacto entre una parte de contacto del robot y un objeto, en el que la fuerza de contacto aumenta rápidamente y a una velocidad mayor que las tolerancias del sensor de fuerza y en el que la aceleración de parte disminuye rápidamente y a una velocidad mayor que las tolerancias del sensor de aceleración.

La etapa 870 comprende las etapas 877, 673, 878, 674, 671 y 672, tal como se describe con relación a la Fig. 8. Además, la etapa 870 comprende una etapa 887 de comparación de un contador $C_{i,s}$ de confirmaciones con un umbral $C_{umbral,s}$ de

contador de confirmaciones, en el que el contador $C_{i,s}$ de confirmaciones indica el número de casos en los que se ha indicado un cambio en el contacto en base a las etapas 877, 673, 878, 674, 671 y 672 y el contador de confirmaciones se incrementa cada vez que se ha indicado un cambio en el contacto. El umbral $C_{umbral,s}$ de contador de confirmaciones indica un número deseado de casos en los que debe detectarse un cambio en el contacto para confirmar el cambio en el contacto.

En esta realización, el contador de umbral de confirmación es cuatro, lo que resulta en el hecho de que es necesario indicar cuatro cambios constructivos en los contactos antes de que la etapa 870 indique el cambio en el contacto. Sin embargo, debe entenderse que el contador de umbral de confirmación puede ser cualquier número dependiendo de la robustez deseada y de la rapidez con la que debe indicarse un cambio en el contacto. En una realización, el contador de umbral de confirmación puede establecerse a un intervalo entre 3-10 del cambio constructivo indicado en el contacto. La etapa 870 indica que se ha producido un cambio en el contacto relativamente rápido, ya que la etapa de indicación de un cambio en el contacto se basa en los últimos cinco conjuntos de fuerzas de contacto y aceleraciones de parte, sin embargo, la etapa 870 requiere que el búfer de memoria de fuerzas y el búfer de memoria de aceleraciones se hayan llenado, ya que el cambio en el contacto se indica en base al valor F_{estad} de fuerza estadístico y el valor A_{estad} de aceleración estadístico obtenido en base a las fuerzas de contacto anteriores y las aceleraciones de parte anteriores, respectivamente. Tal como se describe con relación a la Fig. 8, la diferencia $\Delta F_{contacto}$ de fuerzas debe ser mayor que el umbral F_{umbral} de fuerza y, en una realización, el umbral de fuerza puede establecerse como el límite superior del intervalo de confianza de las fuerzas de contacto anteriores. De manera similar, la diferencia ΔA_{parte} de aceleraciones debe ser menor que el umbral A_{umbral} de aceleración y, en una realización, el umbral de aceleración puede establecerse como el límite inferior del intervalo de confianza de la aceleración de parte anterior. Los intervalos de confianza pueden establecerse en base al nivel deseado de robustez y tiempo de reacción del método de detección de cambio en el contacto. Esto hace posible proporcionar un método que detecta un cambio en el contacto en situaciones en las que las etapas 770 no indican un cambio en el contacto, por ejemplo, debido a que la $FA_{relación}$ no excede el valor FA_{umbral} . Esto puede ocurrir, por ejemplo, en situaciones en las que el brazo robótico se mueve a velocidad media y/o entra en contacto con un objeto blando, causando solo un pequeño cambio en la $FA_{relación}$. Por consiguiente, la etapa 870 proporciona un método robusto y rápido para indicar cuándo se produce un cambio suave en el contacto entre una parte de contacto del robot y un objeto, en el que la fuerza de contacto aumenta rápidamente y a una velocidad cercana a las tolerancias del sensor de fuerza y en el que la aceleración de parte disminuye rápidamente y a una velocidad cercana a las tolerancias del sensor de aceleración.

La etapa 1170 comprende las etapas 979, 1091, 981, 982, 1093, 984, 975 y 976, tal como se describe con relación a las Figs. 9 y 10. Además, la etapa 1070 comprende una etapa 1086 de comparación de un contador $C_{i,s}$ de confirmaciones con un umbral $C_{umbral,c}$ de contador de confirmaciones, en el que el contador $C_{i,s}$ de confirmaciones indica el número de casos en los que se ha indicado un cambio en el contacto en base a las etapas 979, 1091, 981, 982, 1093, 984, 975 y 976 y el contador de confirmaciones se incrementa cada vez que se indica un cambio en el contacto. El umbral $C_{umbral,c}$ de contador de confirmaciones indica un número deseado de casos en los que debe detectarse un cambio en el contacto para confirmar el cambio en el contacto. En esta realización, el contador de umbral de confirmación es 20, lo que resulta en el hecho de que es necesario indicar 20 cambios constructivos en el contacto antes de que la etapa 1070 indique un cambio en el contacto. La etapa 1070 indica que se ha producido un cambio en el contacto relativamente lento, ya que la etapa de indicación de un cambio en el contacto se basa en los últimos 20 conjuntos de fuerzas de contacto y aceleraciones de parte y requiere que el búfer de memoria de fuerzas, el búfer de memoria de aceleraciones, el búfer de valores de fuerza estadísticos y el búfer de valores de aceleración estadísticos se hayan llenado. Tal como se describe con relación a las Figs. 9 y 10, se indica un cambio en el contacto si la relación fuerza-aceleración estadística es menor que el umbral de relación fuerza-aceleración estadístico. Esto hace posible proporcionar un método para detectar un cambio en el contacto en situaciones en las que las etapas 770 y 870 no indican ningún cambio en el contacto. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en situaciones en las que el brazo robótico se mueve a baja velocidad y/o entra en contacto con un objeto, causando solo un cambio pequeño y lento en la fuerza de contacto y las aceleraciones de parte. Esto puede resultar, por ejemplo, en la sujeción entre el brazo robótico y el objeto. Por consiguiente, la etapa 1070 proporciona un método robusto para indicar cuándo se produce un cambio en el contacto por sujeción entre una parte de contacto del robot y un objeto.

En otra realización, el método comprende una etapa (no ilustrada) de obtención de un valor umbral de cambio en el contacto que indica un nivel de sensibilidad de la etapa de indicación de cambio en el contacto. Esto hace posible ajustar la sensibilidad de la etapa de indicación de un cambio en el contacto, por ejemplo, en base a una entrada de usuario, en el que el usuario indica el nivel de sensibilidad que deberá tener la etapa de indicación de un cambio en el contacto. Por ejemplo, el usuario puede establecer un parámetro de sensibilidad al cambio en el contacto usando una interfaz de usuario del brazo robótico en el que un parámetro de sensibilidad baja al cambio en el contacto indica que la etapa de indicación de un cambio en el contacto requiere un cambio claro y robusto en el contacto para indicar que se ha producido un cambio en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico y el objeto; sin embargo, una sensibilidad baja al cambio en el contacto resulta también típicamente en una detección de cambio en el contacto más lenta. Por el contrario, un parámetro de sensibilidad alta indica que la etapa de indicación de un cambio en el contacto indica incluso un cambio suave en el contacto entre la parte de contacto del brazo robótico y el objeto; sin embargo, una sensibilidad alta al cambio en el contacto puede resultar en falsos positivos. El valor umbral de cambio en el contacto puede obtenerse también en base al modo de funcionamiento del brazo robótico, por ejemplo, el valor umbral de cambio en el contacto puede establecerse a un valor alto en un modo de funcionamiento en el que la detección de un cambio en el contacto es crucial para que el robot funcione correctamente y puede establecerse a un valor bajo en un modo de funcionamiento en el que el brazo robótico solo necesita reaccionar ante un cambio claro y robusto en el contacto. El valor umbral de cambio en el contacto puede obtenerse también, por ejemplo, en base a los parámetros de funcionamiento del brazo robótico, en el que los parámetros de funcionamiento indican varios parámetros relacionados con el funcionamiento del brazo robótico y pueden estar

relacionados con todo el robot o con partes del robot, por ejemplo, una velocidad de movimiento objetivo que indica la velocidad de movimiento a la que se moverá una parte del brazo robótico, una aceleración objetivo que indica la aceleración a la que se moverá una parte del brazo robótico, una fuerza objetivo que proporcionará una parte del brazo robótico, un par de torsión objetivo que proporcionará una parte del brazo robótico, una posición objetivo que indica una posición de una parte del brazo robótico, un ángulo de articulación que indica el ángulo de articulación de al menos una de las articulaciones del robot, una distancia de articulación que indica una distancia angular de la articulación del robot, un par de torsión proporcionado por las articulaciones de robot y/o los motores de las articulaciones, las corrientes de motor que controlan los motores de las articulaciones, etc. En las realizaciones ilustradas en las Figs. 5-8, el valor umbral de cambio en el contacto puede usarse, por ejemplo, para definir el valor umbral de fuerza, el valor umbral de aceleración y/o el valor umbral de fuerza-aceleración.

En otra realización, la etapa de obtención de parámetros comprende una etapa de obtención de al menos un parámetro de postura que indica al menos una de entre la posición y la orientación de al menos una parte del brazo robótico. El parámetro de postura puede indicar, por ejemplo, la posición y/o la orientación del lado de salida de las articulaciones de robot, la posición y/o la orientación de la brida de herramienta del robot o cualquier otra parte del brazo robótico. Las posiciones y/u orientaciones pueden indicarse, por ejemplo, con relación a un punto de referencia, tal como la base del robot. Los parámetros de postura pueden obtenerse, por ejemplo, en base a codificadores de posición que detectan la posición de diferentes partes del brazo robótico; por ejemplo, los codificadores de posición pueden estar configurados para detectar la posición angular de la brida de salida de las articulaciones giratorias del robot y/o la posición cartesiana de la brida de salida de las articulaciones prismáticas del robot, tal como se describe en las Figs. 1 y 2. De manera alternativa, los parámetros de postura pueden obtenerse en base a un programa de robot configurado para controlar el brazo robótico, por ejemplo, el programa de robot puede comprender un plan de trayectoria que indica los parámetros de postura. La obtención del parámetro de postura hace posible obtener la postura del brazo robótico cuando se ha indicado el contacto entre la parte de contacto y el objeto. Esto hace posible usar la postura del brazo robótico obtenida tras el contacto para controlar el brazo robótico, por ejemplo, el brazo robótico puede moverse hacia y/o con relación a la postura del brazo robótico tras el contacto.

La etapa de obtención de parámetros puede comprender también una etapa de almacenamiento del al menos un parámetro de postura en un búfer de memoria de posturas, en el que el búfer de memoria de posturas comprende un número n de parámetros de postura anteriores. En una realización, los parámetros de postura pueden detectarse a intervalos de tiempo regulares y, en dicha realización, indicarán el número de intervalos de tiempo entre el parámetro de postura actual y el primero de los parámetros de postura anteriores en el búfer de memoria de posturas. La etapa de obtención del parámetro de postura y la etapa de almacenamiento del parámetro de postura en un búfer de memoria de posturas pueden realizarse de manera continua durante el funcionamiento del brazo robótico, por ejemplo, como un proceso separado. De esta manera, el búfer de memoria de posturas comprende varios parámetros de postura anteriores y el número n de parámetros de postura anteriores puede establecerse en base al número necesario de parámetros de postura anteriores para la evaluación de datos, la memoria disponible del controlador del brazo robótico o cualquier otra propiedad deseada del búfer de memoria de posturas.

Breve descripción de las referencias de las figuras

101	brazo robótico
102	controlador de robot
103a-103f	articulación de robot
104	dispositivo de interfaz
105	base de robot
106	pantalla
107	brida de herramienta de robot
108	dispositivos de entrada
109	sensor de fuerza
110	punto de referencia
111a-111f	eje de las articulaciones del robot
112	dirección de la gravedad
113a-113f	flecha de rotación de las articulaciones del robot

ES 3 012 126 T3

314	lado de salida de la articulación de herramienta de robot
115	sensor de aceleración
216a; 216b; 216f	brida de salida
217a; 217b; 2179f	motores de las articulaciones
218a; 218b, 218f	eje de salida
219a; 219b; 219f	sensor de articulación
220	procesador
221	memoria
222a; 222b; 222f	señal de sensor de articulación
223a, 223b, 223f	señales de control de los motores
224	señal de fuerza
225	señal de aceleración
326	dirección de movimiento positiva
327	brida de herramienta de desplazamiento relativo y brida de salida
328	fuerza de aceleración
329, 429	aceleración positiva
330	fuerza de desaceleración
331, 431	desaceleración/aceleración negativa
332	objeto
333	fuerza de colisión
334	fuerza de retención
335	fuerza de objeto
336	movimiento del objeto
337a; 337b	área de superficie
338a, 338b; 338c; 338d	fuerza de fricción
339a;339b	fuerza de movimiento
540	etapa de inicialización
550	etapa de activación de la detección de contactos
560, 660	etapa de obtención de parámetros
561	etapa de obtención de fuerza de contacto
562	etapa de obtención de aceleración de punto
663	almacenamiento de la fuerza detectada en el búfer de memoria de fuerzas
664	búfer de memoria de fuerzas
665	almacenamiento de la aceleración detectada en el búfer de memoria de aceleraciones
666	búfer de memoria de aceleraciones

ES 3 012 126 T3

570, 670, 770, 870, 970, 1070, 1170	etapa de indicación de contacto
571, 671	etapa de comparación del parámetro de fuerza con el umbral
572	etapa de comparación del parámetro de aceleración con el umbral
673, 873	etapa de obtención de la diferencia de fuerzas
674, 874	etapa de obtención de la diferencia de aceleraciones
775, 975	etapa de obtención de relación fa
776, 976	etapa de comparación de la relación fa con el umbral fa
877, 977	etapa de obtención del valor de fuerza estadístico
878, 978	etapa de obtención de la media de aceleración
979	etapa de obtención del primer valor de fuerza estadístico
980	etapa de obtención del segundo valor de fuerza estadístico
981	etapa de obtención del valor de fuerza de prueba estadístico
982	etapa de obtención del primer valor de aceleración estadístico
983	etapa de obtención del segundo valor de aceleración estadístico
984	etapa de obtención del valor de aceleración estadístico
585, 685	etapa de confirmación de contacto
586, 886, 1086	etapa de comparación del contador de confirmaciones con el umbral de confirmación
587	incrementar el contador de confirmaciones
588	restablecer el contador de confirmaciones
689	etapa de cambio del conjunto de fuerzas y aceleraciones detectadas en el pasado
590	etapa de ejecución de acciones tras la detección de un contacto
1091	etapa de almacenar el valor de fuerza estadístico en el búfer
1092	búfer de valores de fuerza estadísticos
1093	etapa de almacenamiento del valor de aceleración estadístico
1094	búfer de valores de aceleración estadísticos

REIVINDICACIONES

1. Método para detectar un cambio en el contacto entre una parte de contacto de un brazo (101) robótico y un objeto, en el que dicho brazo robótico comprende una base (105) de robot, una brida (107) de herramienta de robot y múltiples articulaciones (103) de robot que conectan dicha base de robot y dicha brida de herramienta de robot, en el que dicha parte de contacto está formada en una parte de dicho brazo robótico, comprendiendo dicho método las etapas de:
 - 5 obtener una fuerza de contacto proporcionada en dicha parte de contacto de dicho brazo robótico mediante la detección de una fuerza (328, 330) proporcionada a una parte de dicho brazo robótico;
 - obtener la aceleración de parte de dicha parte de contacto de dicho brazo robótico mediante la detección de la aceleración (329, 331, 429, 431) de la parte de dicho brazo robótico que comprende dicha parte de contacto;
 - 10 indicar si se ha producido o no un cambio en el contacto entre dicha parte de contacto de dicho brazo robótico y dicho objeto en base tanto a dicha fuerza de contacto como a dicha aceleración de parte, en el que dicha etapa de indicación de si se ha producido o no el cambio en el contacto entre dicha parte de contacto de dicho brazo robótico y dicho objeto comprende las etapas de
 - obtener la dirección de dicha fuerza de contacto con relación a dicha parte de contacto de dicho brazo robótico,
 - 15 obtener la dirección de dicha aceleración de parte de dicha parte de contacto de dicho brazo robótico,
 - comparar dicha dirección de dicha fuerza de contacto con relación a dicha parte de contacto de dicho brazo robótico con dicha dirección de dicha aceleración de parte de dicho brazo robótico, y
 - indicar que el cambio en el contacto entre dicha parte de contacto de dicho brazo robótico y dicho objeto se ha producido en base a que dicha dirección de dicha fuerza de contacto y dicha dirección de dicha aceleración de parte son sustancialmente opuestas entre sí.
2. Método según la reivindicación 1, en el que dicha etapa de indicación de si se ha producido o no el cambio en el contacto entre dicha parte de contacto y dicho objeto comprende una etapa de indicación de que se ha producido dicho cambio en el contacto entre dicha parte de contacto y dicho objeto si dicha fuerza de contacto es mayor que un valor umbral de fuerza y dicha aceleración de parte es menor que un valor umbral de aceleración.
- 25 3. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que:
 - dicha etapa de obtención de dicha fuerza de contacto comprende obtener al menos dos fuerzas de contacto diferentes mediante la detección de dicha fuerza proporcionada a dicha parte de dicho brazo robótico en diferentes puntos en el tiempo;
 - dicha etapa de obtención de dicha aceleración de parte comprende obtener al menos dos aceleraciones de parte diferentes mediante la detección de dicha aceleración de dicha parte de dicho brazo robótico que comprende dicha parte de contacto en dos puntos diferentes en el tiempo; y en el que
- dicha etapa de indicación de si se ha producido o no el cambio de contacto entre dicha parte de contacto y dicho objeto comprende las etapas de:
 - obtener (673) una diferencia de fuerzas de contacto entre dichas al menos dos fuerzas de contacto diferentes;
 - 35 obtener (674) una diferencia de aceleraciones de parte entre dichas al menos dos aceleraciones de parte diferentes; y en el que
- dicha etapa de indicación de si se ha producido el cambio en el contacto entre dicha parte de contacto y dicho objeto comprende indicar que se ha producido el cambio en el contacto entre dicha parte de contacto y un objeto si dicha diferencia de fuerzas de contacto es mayor que un valor umbral de diferencia de fuerzas de contacto y dicha diferencia de aceleraciones de parte es menor que el valor umbral de diferencia de aceleraciones de parte.
- 40 4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que dicha etapa de indicación de si se ha producido o no el cambio en el contacto entre dicha parte de contacto y dicho objeto comprende las etapas de:
 - dicha etapa de obtención de dicha fuerza de contacto comprende obtener al menos dos fuerzas de contacto diferentes mediante la detección de dicha fuerza proporcionada a dicha parte de dicho brazo robótico en diferentes puntos en el tiempo;
 - 45 dicha etapa de obtención de dicha aceleración de parte comprende obtener al menos dos aceleraciones de parte diferentes mediante la detección de dicha aceleración de dicha parte de dicho brazo robótico que comprende dicha parte de contacto en dos puntos diferentes en el tiempo; y en el que
- dicha etapa de indicación de si se ha producido o no el cambio de contacto entre dicha parte de contacto y dicho objeto comprende las etapas de:

- obtener (673) una diferencia de fuerzas de contacto entre dichas al menos dos fuerzas de contacto diferentes;
- obtener (674) una diferencia de aceleraciones de parte entre dichas al menos dos aceleraciones de parte diferentes;
- 5 determinar (775) una relación entre dicha diferencia de fuerzas de contacto y dicha diferencia de aceleraciones de parte;
- indicar (770) que se ha producido el cambio en el contacto entre dicha parte de contacto y dicho objeto si dicha relación determinada entre dicha diferencia de fuerzas de contacto y dicha diferencia de aceleraciones de parte excede (776) un valor umbral de relación entre dicha diferencia de fuerzas de contacto y dicha diferencia de aceleraciones de parte.
- 10 5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 2-4, en el que al menos uno de entre dicho umbral de fuerza, dicho valor umbral de aceleración y dicho valor umbral de relación se obtiene en base a la masa de una carga útil fijada a dicha parte de contacto de dicho brazo robótico.
6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que el cambio en el contacto es una colisión.
7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que dicho método comprende las etapas de:
- 15 almacenar dicha fuerza de contacto en una memoria; y
- almacenar dicha aceleración de parte en una memoria
- en el que dichas etapas de:
- obtener dicha fuerza de contacto;
- obtener dicha aceleración de parte;
- 20 almacenar dicha fuerza de contacto; y
- almacenar dicha aceleración de parte
- se repiten múltiples veces de manera que múltiples muestras de dicha fuerza de contacto y múltiples muestras de dicha aceleración de parte se almacenen en una memoria.
- 25 8. Método según la reivindicación 7, en el que dichas etapas de indicación de si se ha producido o no el cambio en el contacto entre dicha parte de contacto y dicho objeto se basan en dicha pluralidad de muestras de dicha fuerza de contacto y dicha pluralidad de muestras de dicha aceleración de parte.
9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 7-8, en el que al menos uno de entre dicho umbral de fuerza, dicho valor umbral de aceleración y dicho valor umbral de relación se obtiene en base a dicha pluralidad de muestras de dicha fuerza de contacto y dicha pluralidad de muestras de dicha aceleración de parte.
- 30 10. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que dicho método comprende una etapa de:
- obtener al menos un parámetro de postura que indica al menos una de entre la posición de al menos una parte del brazo robótico y la orientación de al menos una parte del brazo robótico.
11. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en el que dicha etapa de obtención de dicha fuerza de contacto proporcionada en dicha parte de contacto de dicho brazo robótico comprende una etapa de detección de dicha fuerza de contacto directamente en dicha parte de contacto de dicho brazo robótico.
- 35 12. Sistema de robot que comprende:
- un brazo robótico que comprende una base de robot, una brida de herramienta de robot y múltiples articulaciones de robot que conectan dicha base de robot y dicha brida de herramienta de robot;
- un controlador de robot configurado para controlar dicho brazo robótico;
- 40 en el que dicho controlador de robot está configurado para detectar un cambio en el contacto entre una parte de contacto de dicho brazo robótico y un objeto mediante la realización del método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-11 y en el que dicha parte de contacto forma parte de dicho brazo robótico.
13. Sistema de robot según la reivindicación 12, en el que dicho sistema de robot comprende:
- 45 un sensor (109) de fuerza configurado para detectar la fuerza en una parte de dicho brazo robótico; un sensor (115, 415) de aceleración configurado para detectar la aceleración en dicha parte de contacto de dicho brazo

robótico; en el que dicho controlador de robot está configurado para:

obtener dicha fuerza de contacto proporcionada en dicha parte de contacto de dicho brazo robótico en base a dicha fuerza detectada por dicho sensor de fuerza;

- 5 obtener dicha aceleración de parte de dicha parte de contacto de dicho brazo robótico en base a dicha aceleración detectada por dicho sensor de aceleración.

14. Sistema de robot según una cualquiera de las reivindicaciones 12-13, en el que dicho sensor de fuerza está dispuesto en dicha parte de contacto de dicho brazo robótico y dicho sensor de aceleración está dispuesto en dicha parte de contacto de dicho brazo robótico.

15. Sistema de robot según una cualquiera de las reivindicaciones 12-14, en el que dicho sistema de robot comprende:

- 10 al menos un sensor de posición configurado para detectar al menos un parámetro de postura que indica al menos una de entre las posiciones de al menos una parte del brazo robótico y la orientación de al menos una parte del brazo robótico;

en el que dicho controlador de robot está configurado para obtener dicho parámetro de postura tras la indicación del cambio en el contacto entre dicha parte de contacto y dicho objeto.

- 15 16. Sistema de robot según una cualquiera de las reivindicaciones 12-15, en el que dicho controlador de robot está configurado para controlar dicho brazo robótico mediante la ejecución de al menos una acción tras la indicación de dicho cambio en el contacto entre dicha parte de contacto y dicho objeto.

17. Sistema de robot según la reivindicación 16, en el que dicha acción ejecutada tras dicha indicación de cambio en el contacto comprende al menos una de dichas acciones:

- 20 detener dicho brazo robótico;
- mover una parte de dicho brazo robótico en un patrón de movimiento predeterminado;
- proporcionar una fuerza predeterminada por parte de dicho brazo robótico;
- activar una herramienta de robot conectada a una parte del brazo robótico;
- desactivar una herramienta de robot conectada a una parte del brazo robótico; y
- 25 realizar una tarea predeterminada.

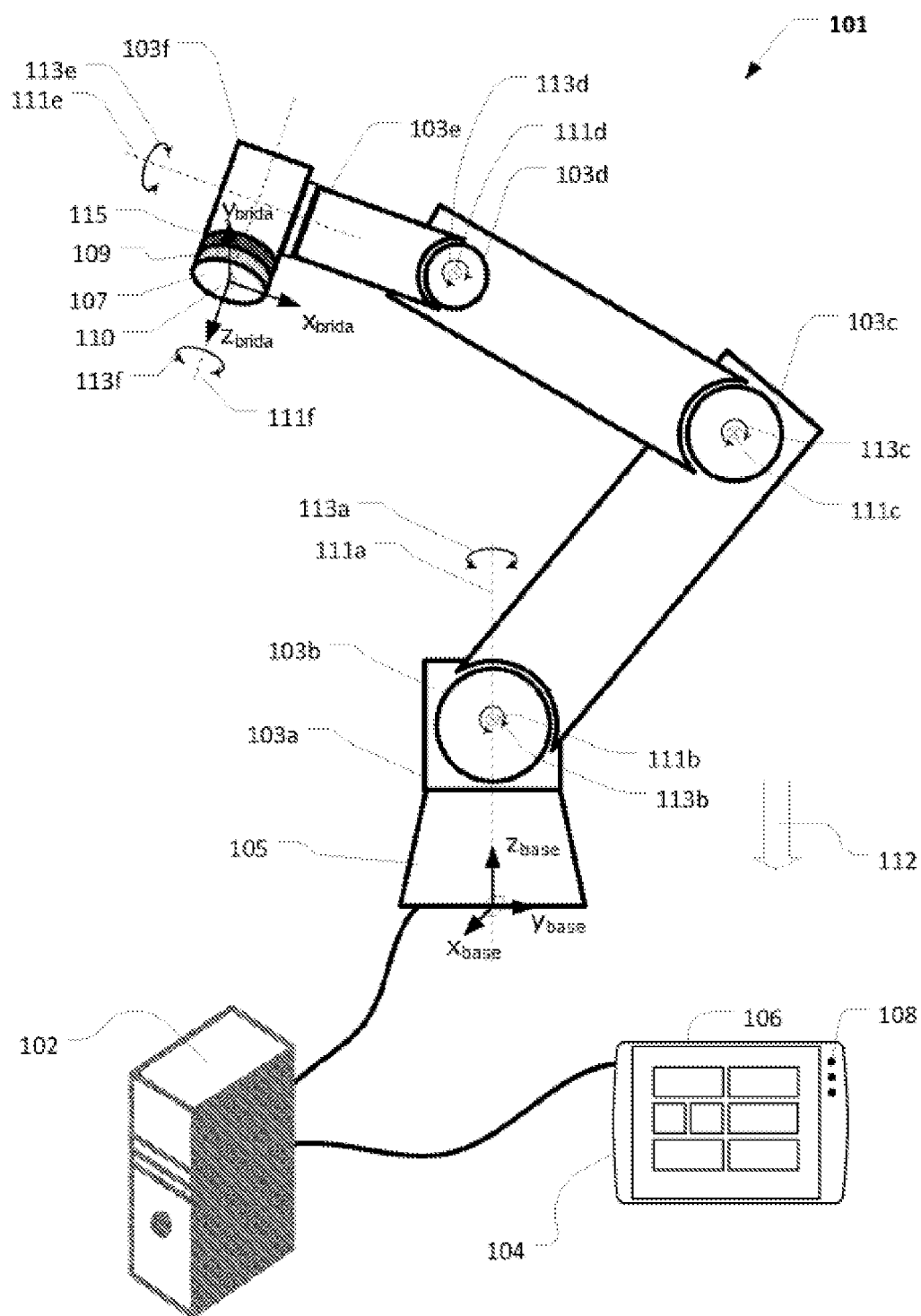


FIG. 1

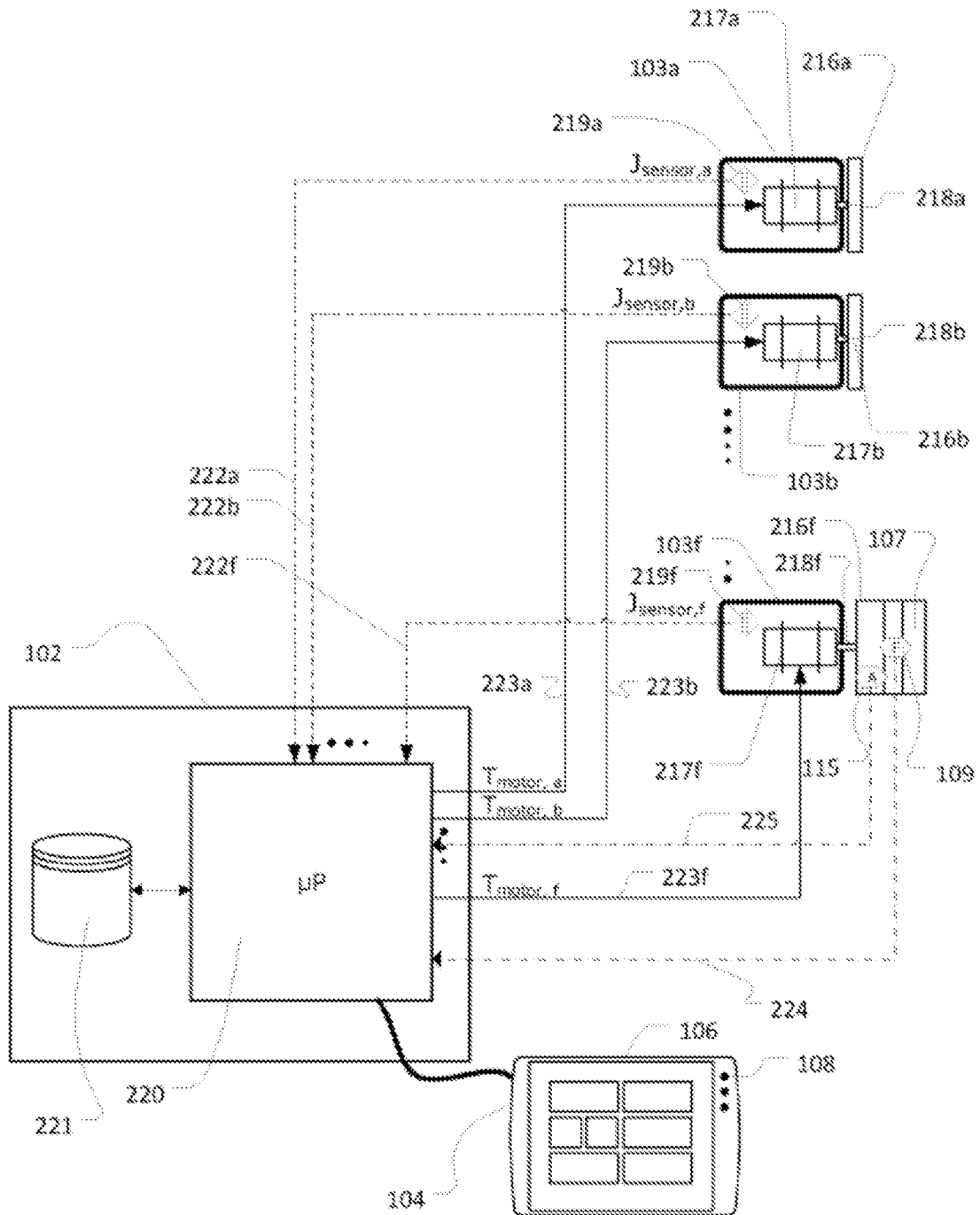


FIG. 2

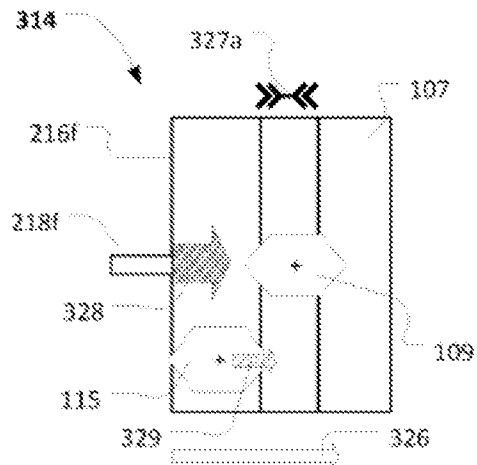


FIG. 3a

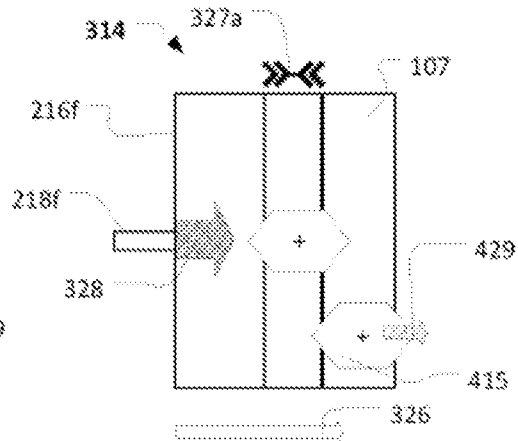


FIG. 4a

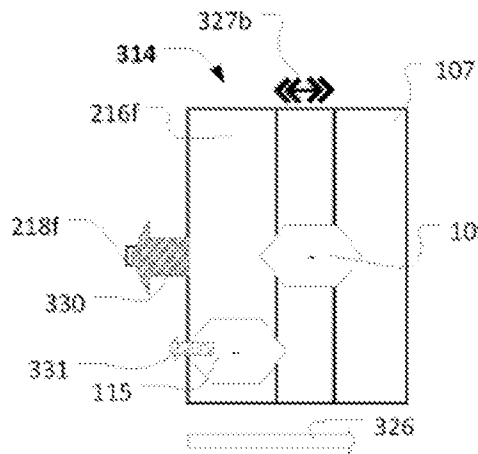


FIG. 3b

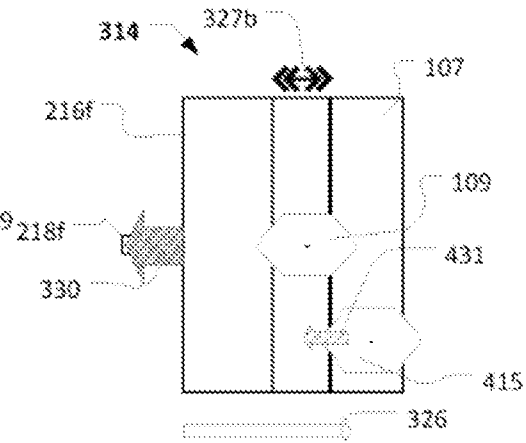


FIG. 4b

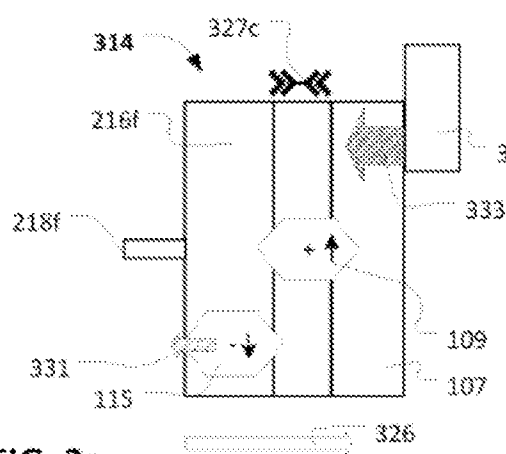


FIG. 3c

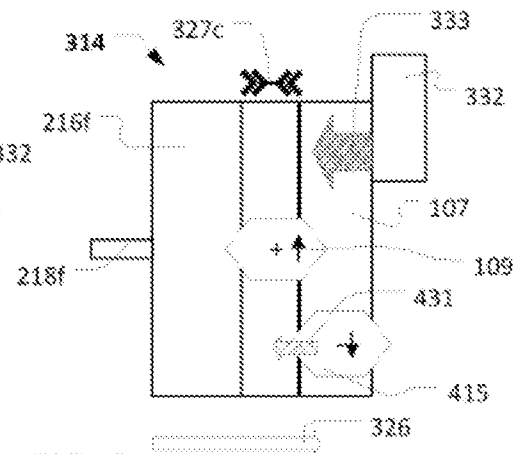


FIG. 4c

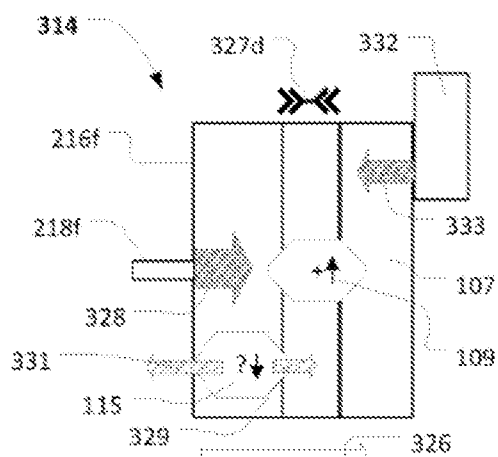


FIG. 3d

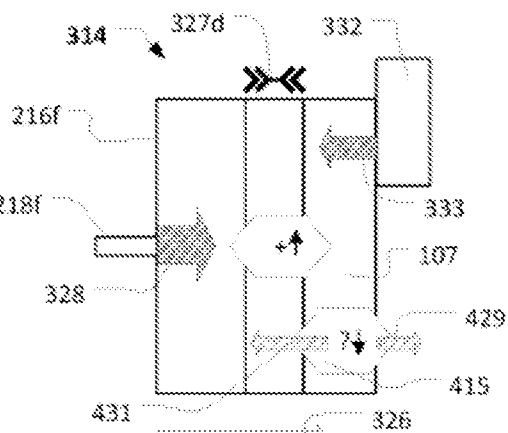


FIG. 4d

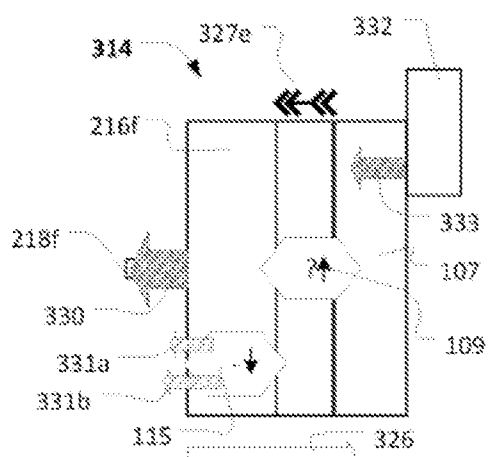


FIG. 3e

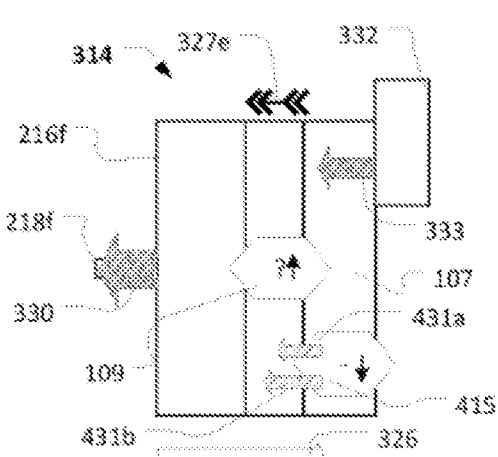


FIG. 4e

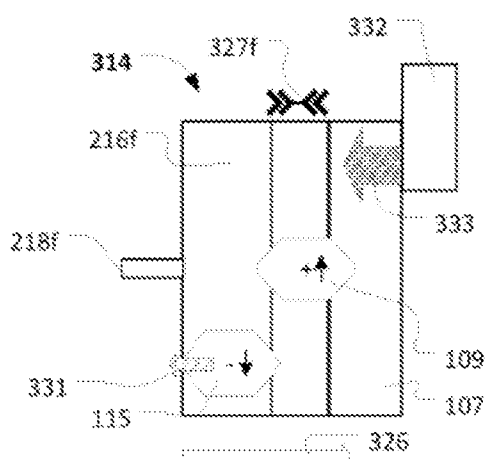


FIG. 3f

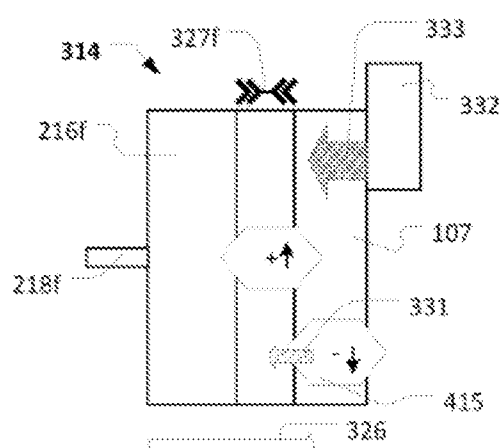


FIG. 4f

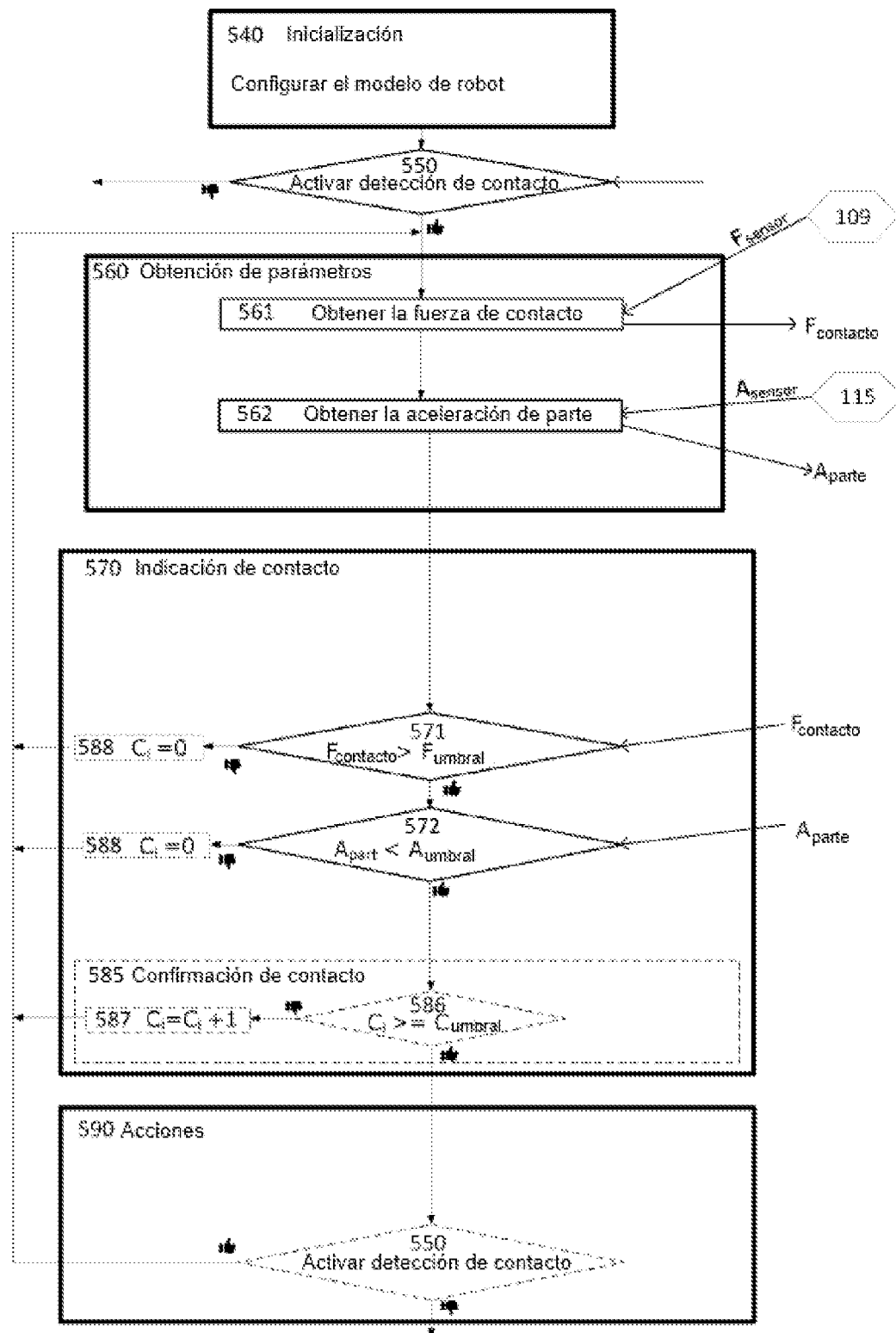


FIG. 5

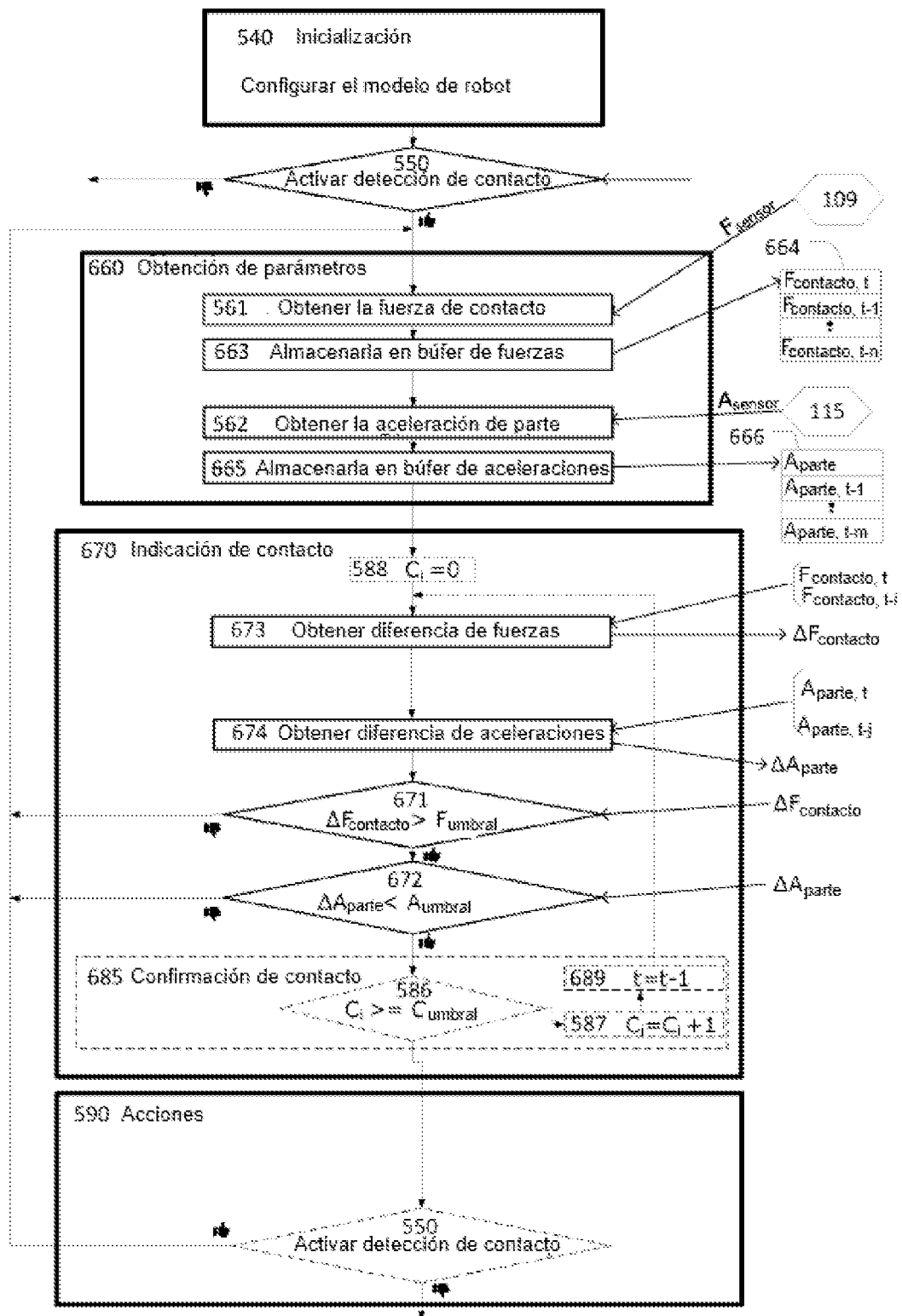


FIG. 6

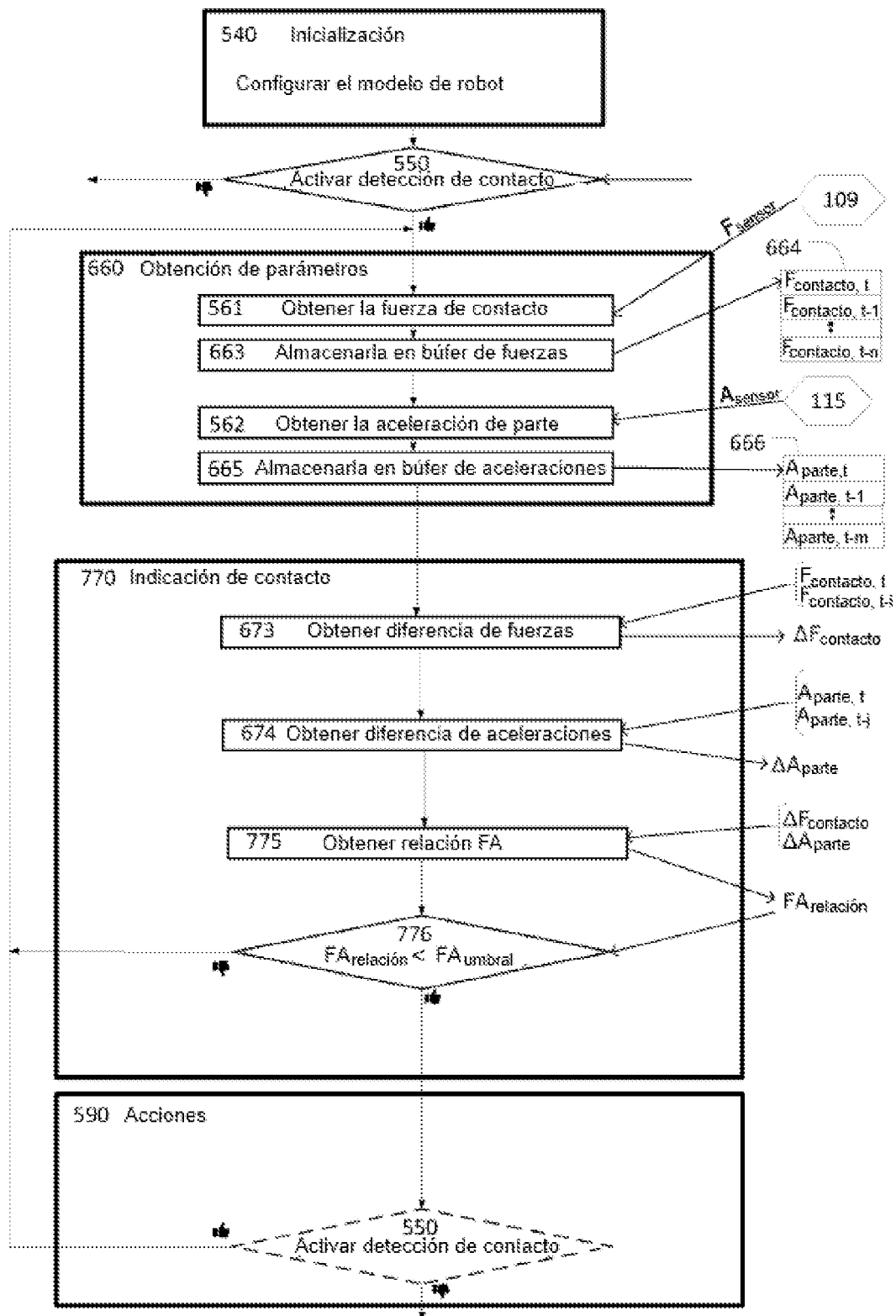


FIG. 7

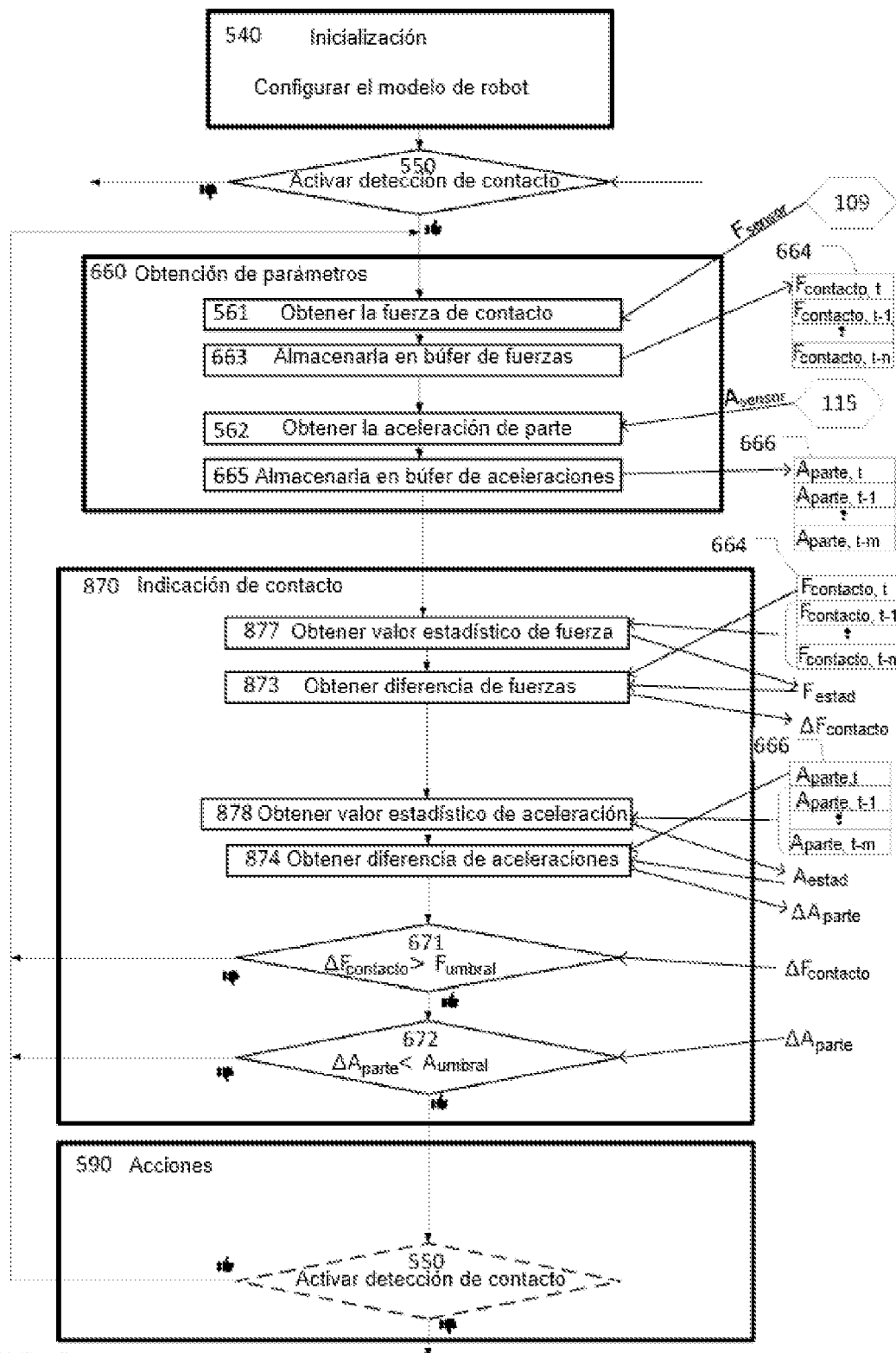


FIG. 8

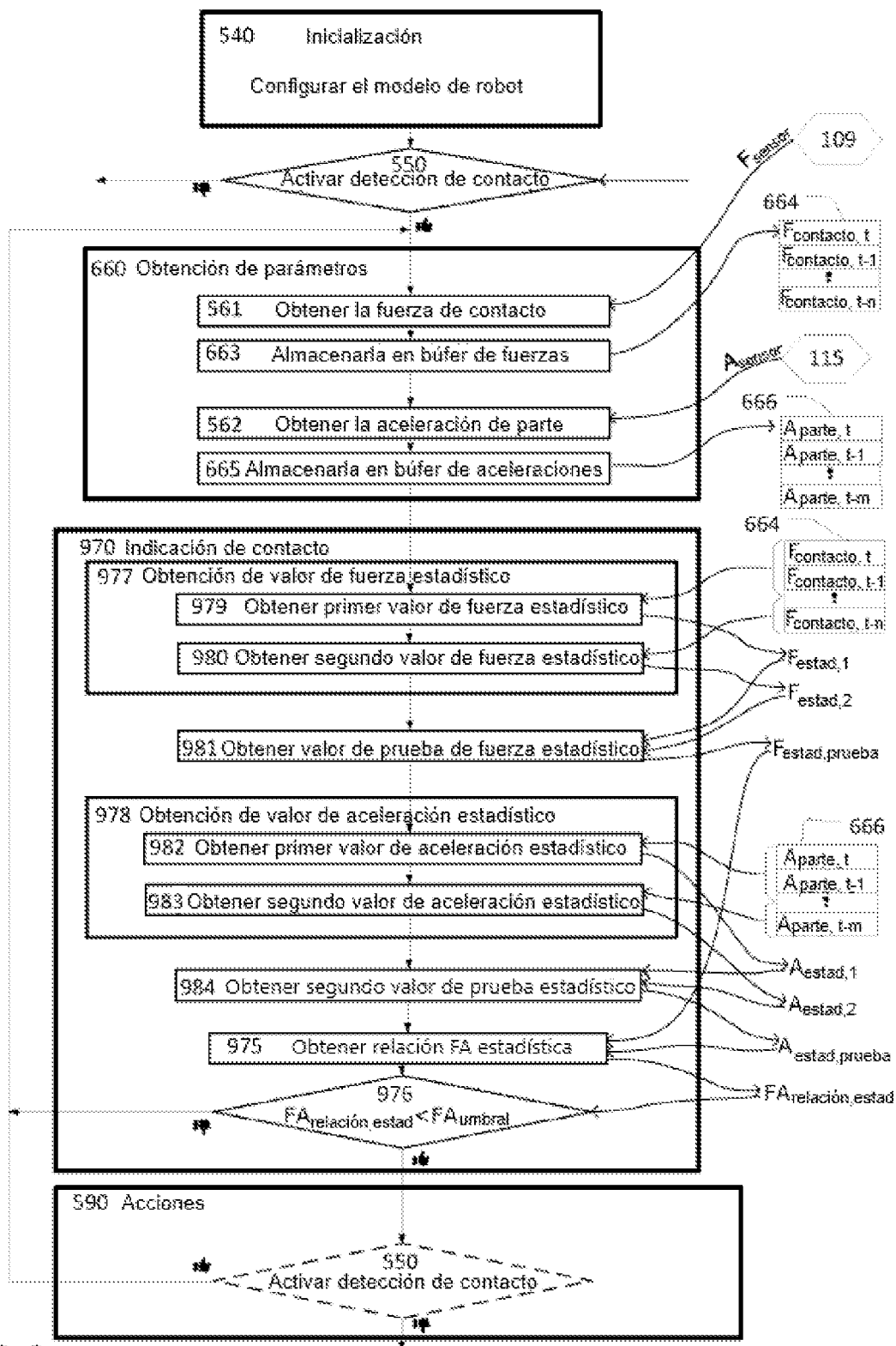


FIG. 9

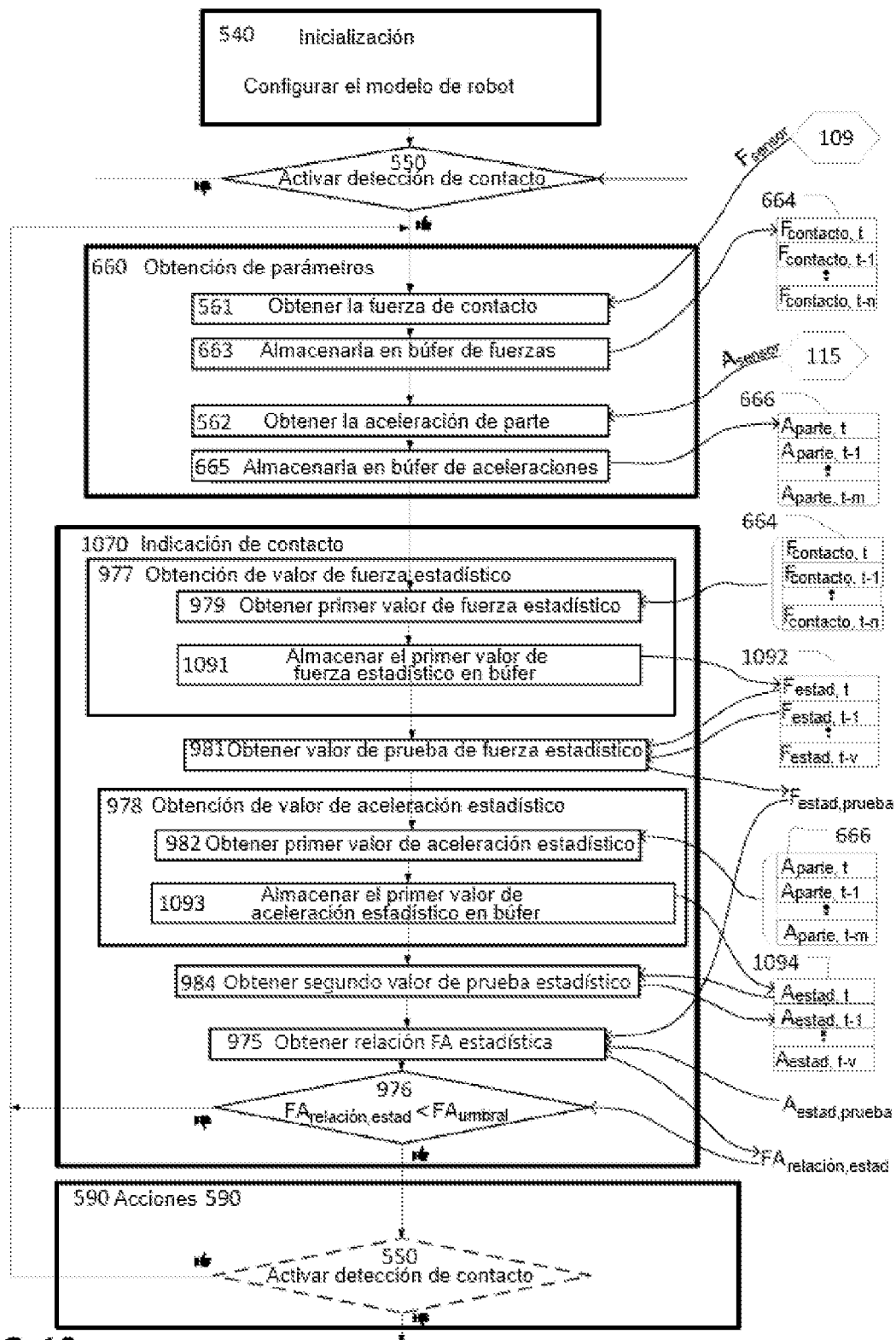


FIG. 10

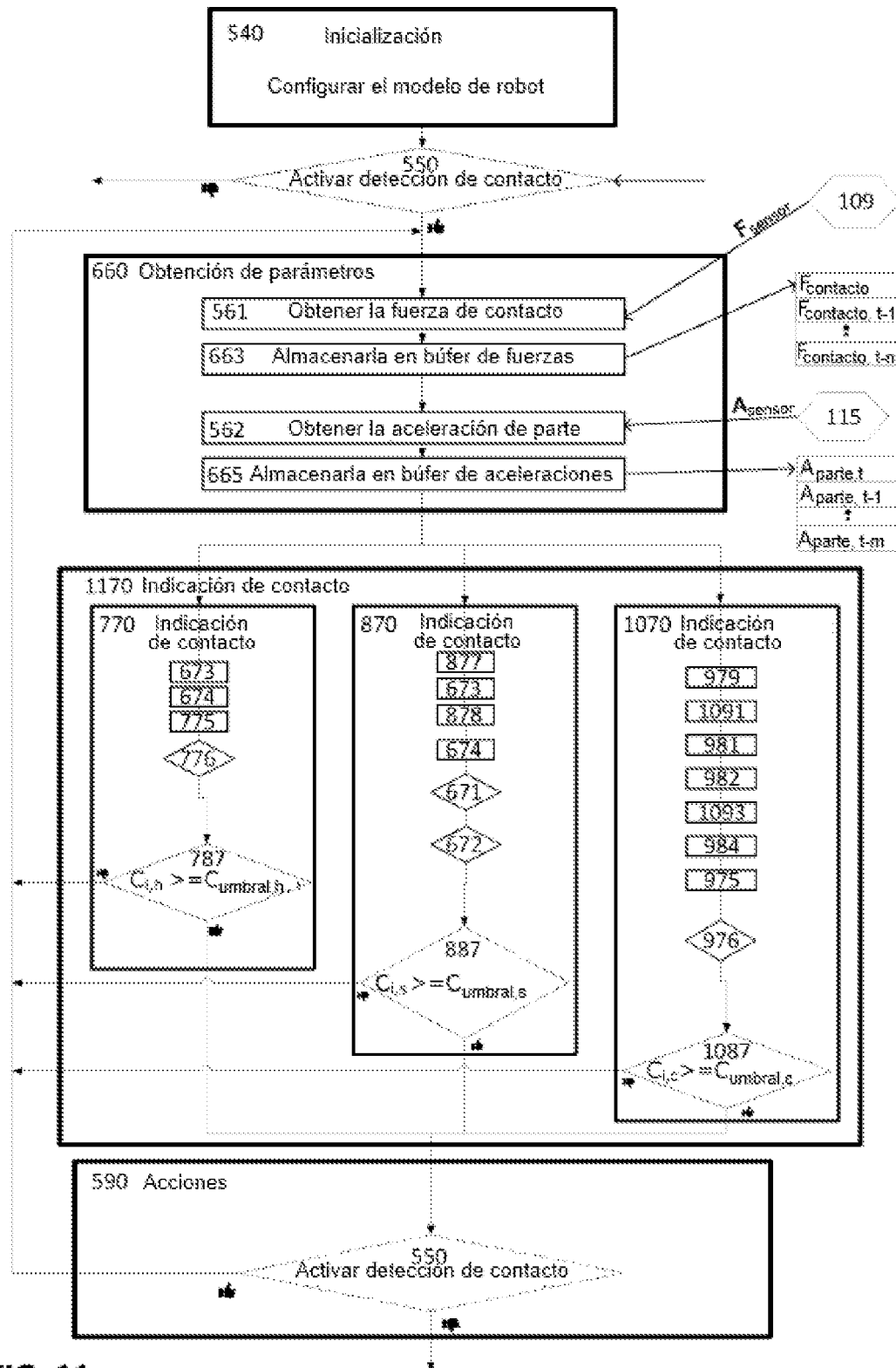


FIG. 11