



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 315 130**

② Número de solicitud: 200602797

⑤ Int. Cl.:  
**B25J 9/16** (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **03.11.2006**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **16.03.2009**

Fecha de la concesión: **21.01.2010**

⑮ Fecha de anuncio de la concesión: **03.02.2010**

⑯ Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**03.02.2010**

⑰ Titular/es: **Universidad de Jaén  
Campus "Las Lagunillas", s/n  
Edificio Rectorado B-1  
23071 Jaén, ES**

⑱ Inventor/es: **Gámez García, Javier;  
Robertsson, Anders;  
Gómez Ortega, Juan y  
Johansson, Rolf**

⑳ Agente: **Fernández Marquina, Pilar**

⑳ Título: **Dispositivo para la estimación de fuerzas y pares de contacto en robots manipuladores industriales y procedimiento de implementación del mismo.**

㉑ Resumen:

Dispositivo para la estimación de fuerzas y pares de contacto en robots manipuladores industriales y procedimiento de implementación del mismo.

A partir de la estructuración convencional en la que al robot (1) manipulador se le establece un sensor de fuerza/par (2) situado sobre su muñeca (3), el dispositivo de la invención centra sus características en el hecho de que conjuntamente con dicho sensor participan un sensor inercial (6) así como una serie de sensores de posición (7) de las articulaciones del brazo del robot, de manera que los parámetros registrados por los diferentes sensores son interpretados a través del correspondiente software, utilizando técnicas de fusión sensorial. De forma más concreta, las medidas de posición de las articulaciones son convertidas a medidas de posición y orientación de la herramienta en el espacio cartesiano, tras lo que se procede al auto-calibrado del robot, a la posterior transformación de las medidas de los sensores al sistema de referencia adecuado, diseñando seguidamente la ganancia del observador utilizando técnicas de diseño para resolver tanto el modelo identificado como el de la herramienta, compararlos y obtener una estimación de las fuerzas y pares de contacto.

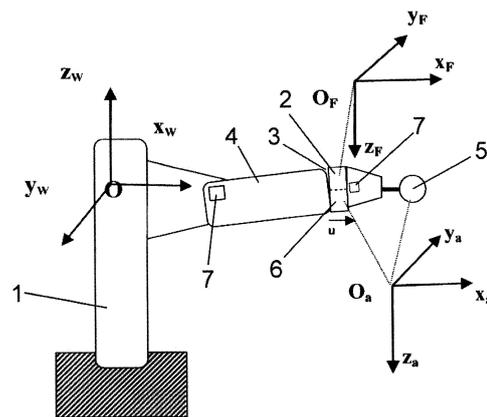


FIG. 1

ES 2 315 130 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo para la estimación de fuerzas y pares de contacto en robots manipuladores industriales y procedimiento de implementación del mismo.

### Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un dispositivo que ha sido especialmente concebido para realizar la medición de fuerzas y pares de contacto ejercidas por un robot manipulador a su entorno en las tres dimensiones del espacio.

El objeto de la invención es proporcionar un dispositivo de medida fiable, que permita optimizar el rendimiento del robot al que está asociado, de manera que los valores de fuerza y par tomados no se vean distorsionados por las fuerzas y pares inerciales debidos a las características propias del robot.

La invención se refiere asimismo al procedimiento de implementación del dispositivo.

La invención se sitúa pues en el ámbito de la robótica industrial.

### Antecedentes de la invención

En el campo de aplicación de la invención, es necesario que los robots interactúen con su entorno, en múltiples operaciones, tales como puede ser el pulido de una superficie, el desbarbado de otra, test de fatigas, etc. En este tipo de procesos es necesario que el robot controle la fuerza y los pares de contacto que se ejercen sobre la superficie de contacto.

Para ello, se coloca normalmente un único sensor de fuerza/par en la muñeca del robot manipulador. Sin embargo, la utilización únicamente de sensores de fuerza/par para controlar esta interacción presenta una serie de problemas, entre los que cabe destacar la aparición de perturbaciones producidas por las fuerzas y pares de inercia debidos a las propiedades dinámicas propias de la herramienta.

Obviamente, este inconveniente implica un decremento en el rendimiento de la ejecución de la tarea, en tiempo y calidad de ejecución.

### Descripción de la invención

El dispositivo para la estimación de fuerzas y pares de contacto en robots manipuladores industriales que la invención propone resuelve de forma plenamente satisfactoria la problemática anteriormente expuesta, permitiendo estimar de forma precisa los valores de fuerza y par reales ejercidos sobre la superficie de interacción del robot. Este dispositivo permite discriminar de las medidas de fuerza y par las perturbaciones producidas por la dinámica del robot o herramienta de que se trate (i.e. fuerzas y pares de inercia).

Para ello, y a partir de la estructuración convencional en la que al robot manipulador se le establece un sensor de fuerza/par situado sobre su muñeca, el dispositivo de la invención centra sus características en el hecho de que conjuntamente con dicho sensor participan un sensor inercial así como una serie de sensores de posición de las articulaciones del brazo del robot.

El sensor inercial mide las aceleraciones lineales y las velocidades o aceleraciones angulares de la herramienta, mientras que los sensores de posición permiten estimar la posición concreta de la herramienta.

De ésta forma, los parámetros registrados por los diferentes sensores son interpretados a través del correspondiente software, utilizando técnicas de fusión sensorial, para obtener una estimación de la fuerza de contacto real ejercida por el robot manipulador a su entorno.

De forma más concreta, el procedimiento de implementación del dispositivo de la invención comprende las siguientes fases operativas:

- Colocación de los sensores de fuerza/par.
- Colocación de los sensores inerciales.
- Conversión de las medidas tomadas por los sensores de posición de las articulaciones al espacio cartesiano.
- Auto-calibración del dispositivo respecto del brazo de robot en el que está implantado.
- Transformación de las medidas de los sensores a un sistema de referencia adecuado.
- Resolución del modelo que define la dinámica de la herramienta

## ES 2 315 130 B1

- Construcción de un observador y diseño de su ganancia.
- Comparación de ambos sistemas: modelo y observador, y obtención de la estimación de las fuerzas y pares de contacto.

5

### Descripción de los dibujos

10 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, de acuerdo con un ejemplo de realización práctica del mismo, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, una hoja única de planos en la que con carácter ilustrativo y no limitativo y en su única figura, se ha representado de forma esquemática y en alzado lateral los distintos elementos que participan en el dispositivo para la estimación de fuerzas y pares de contacto realizado de acuerdo con el objeto de la invención.

### 15 Realización preferente de la invención

20 A la vista de la figura reseñada puede observarse como en el dispositivo para la estimación de fuerzas que se preconiza, aplicable a cualquier tipo de robot industrial manipulador (1), participa un sensor de fuerza/par (2) que se establece entre la muñeca (3) del brazo (4) del robot manipulador (1) y la herramienta (5) de que se trate, en el que se establece un sistema de referencia ( $O_F X_F Y_F Z_F$ ), así como un sensor inercial, (6) en el que se establece un sistema de referencia ( $O_A X_A Y_A Z_A$ ), dotado de sensores inerciales lineales así como angulares, que registran tanto las aceleraciones lineales como las velocidades o aceleraciones angulares, que puede estar instalado indistintamente sobre la muñeca (3) del robot (1), o sobre la herramienta de trabajo (5), tal como muestra la figura.

25 La estructura anteriormente descrita se complementa con una serie de sensores de posición (7), cuyo número variará en función de la arquitectura del brazo robot, concretamente del número de articulaciones del mismo, y a través de los cuales, a partir del modelo cinemático o dinámico del brazo del robot permiten determinar la posición de la herramienta, así como de los dos sistemas de referencia ( $O_F X_F Y_F Z_F$ ) y ( $O_A X_A Y_A Z_A$ ), respecto a un sistema de referencia ( $O_W X_W Y_W Z_W$ ) estático.

30

Tal y como se ha mencionado anteriormente, las distintas medidas registradas por los distintos sensores son tratadas mediante un determinado software, que incluye técnicas de fusión sensorial, en las que se diseña un estimador formado por el modelo dinámico completo de la herramienta (5) definido a partir de las ecuaciones de Newton-Euler y cuyas entradas son las medidas de los sensores numerados anteriormente, salvo en el caso de los sensores articulares de posición, que son transformadas al espacio cartesiano a través del modelo cinemática/dinámico correspondiente. También se considera como entrada las fuerzas y pares de contacto.

35

Igualmente el estimador incluye un observador de estado para el modelo anterior, con la salvedad de que este segundo sistema no tiene en cuenta las fuerzas y pares de contacto, teniendo un comportamiento definido a través de una serie de parámetros de configuración del estimador.

40

A través del citado software se compara la dinámica del modelo del sistema con la dinámica del observador obteniéndose una estimación de las fuerzas y pares de contacto con una respuesta adecuada.

45 Para modelar correctamente la dinámica del estimador se utilizan distintas técnicas de diseño tales como el filtro Kalman o por ubicación de polos. En cuanto a las ganancias de los sensores, offsets, ganancias del observador, masas, inercias, y demás parámetros configurables, el aparato cuenta con un procedimiento de auto-calibración en el que, tras aplicar una serie de movimientos predefinidos, éstos parámetros son identificados.

50 De acuerdo con lo anteriormente expuesto, el procedimiento de implementación del dispositivo sería el siguiente:

En primer lugar se procede a la colocación de un sensor (2) de fuerza/par de seis grados de libertad entre la muñeca (3) del robot manipulador (1) y la herramienta (5) de éste.

55 Seguidamente se procede a la colocación de uno o varios sensores inerciales (6), hasta completar los seis grados de libertad, sobre la herramienta del robot (1) que permitan medir tanto la aceleración lineal, como la aceleración o velocidad angular.

60 Opcionalmente el sensor de fuerza/par puede incorporar un sensor inercial, de manera que los dos pasos anteriores queden agrupados en uno.

Las medidas de posición de las articulaciones tomadas por los sensores se convierten a las medidas de posición y orientación de la herramienta en el espacio cartesiano.

65 A continuación se procede a la auto calibración que consiste en la aplicación, por parte del robot manipulador (1), de unos movimientos predefinidos donde la herramienta se orienta de distinta forma con respecto al campo gravitacional y donde además se aplican una serie de aceleraciones conocidas. Este procedimiento permite identificar los parámetros de configuración de los sensores excepto para el sensor de fuerza y par que ya viene calibrado de fábrica

## ES 2 315 130 B1

y se utiliza como sensor de referencia. Mediante este proceso se puede obtener también la masa y las inercias de la herramienta.

5        Posteriormente se procede a transformar las medidas de los sensores al sistema de referencia adecuado utilizando las matrices de transformación homogéneas que definen la relación entre los distintos sistemas de referencia.

      A continuación se procede a diseñar la ganancia del observador utilizando técnicas de diseño como el filtro de Kalman o por ubicación de polos.

10       Seguidamente se procede a resolver, tanto el modelo identificado de la herramienta como el observador propuesto, donde en ambos casos las entradas son las medidas de los sensores.

      Finalmente se comparan ambos sistemas (restan), el modelo identificado y el observador, obteniéndose una estimación precisa y real de las fuerzas y pares de contacto.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

## REIVINDICACIONES

5 1. Dispositivo para la estimación de fuerzas y pares de contacto en robots manipuladores industriales, que sien-  
do del tipo de los que están destinados a implantarse sobre el brazo articulado de un robot manipulador (1), y que  
comprenden al menos un sensor de fuerza/par (2) establecido en la en la muñeca (3) del citado robot manipulador,  
**caracterizado** porque junto con el citado sensor de fuerza/par (2) participan sensores inerciales, (6) tanto lineales co-  
mo angulares, así como sensores de posición (7) del robot (1), incorporando un software de programación específico  
con técnicas de fusión sensorial para la obtención una estimación de la fuerza de contacto real ejercida por el robot  
10 manipulador a su entorno en función de los parámetros obtenidos de los diferentes sensores (2-6-7).

2. Dispositivo para la estimación de fuerzas y pares de contacto en robots manipuladores industriales, según rei-  
vindicación 1ª, **caracterizado** porque los sensores inerciales (6) se establecen indistintamente sobre la muñeca (5) del  
robot (1) o sobre la herramienta (5) del mismo.

15 3. Procedimiento de implementación del dispositivo de la reivindicación 1ª y 2ª, **caracterizado** porque comprende  
las siguientes fases operativas:

- 20 - Implantación de un sensor (2) de fuerza/par de seis grados de libertad entre la muñeca (3) del robot mani-  
pulador (1) y la herramienta (5) de éste.
- Implantación de uno o varios sensores inerciales (6), hasta completar los seis grados de libertad, sobre la  
herramienta del robot (1) medidores de la aceleración lineal y la aceleración o velocidad angular.
- 25 - Conversión de las medidas de posición de las articulaciones tomadas por los sensores a las medidas de  
posición y orientación de la herramienta en el espacio cartesiano.
- Autocalibración del dispositivo mediante la aplicación, por parte del robot manipulador (1), de unos movi-  
mientos predefinidos donde la herramienta se orienta de distinta forma con respecto al campo gravitacional  
y donde además se aplican serie de aceleraciones conocidas.
- 30 - Transformación de las medidas de los sensores al sistema de referencia adecuado utilizando las matrices de  
transformación homogéneas.
- 35 - Diseño de la ganancia del observador a partir técnicas de diseño tales como el filtro de Kalman o por  
ubicación de polos.
- Resolución, tanto el modelo identificado de la herramienta como el observador propuesto.
- 40 - Comparación de ambos modelos; el modelo identificado y el observador, y obtención de las fuerzas y pares  
de contacto.

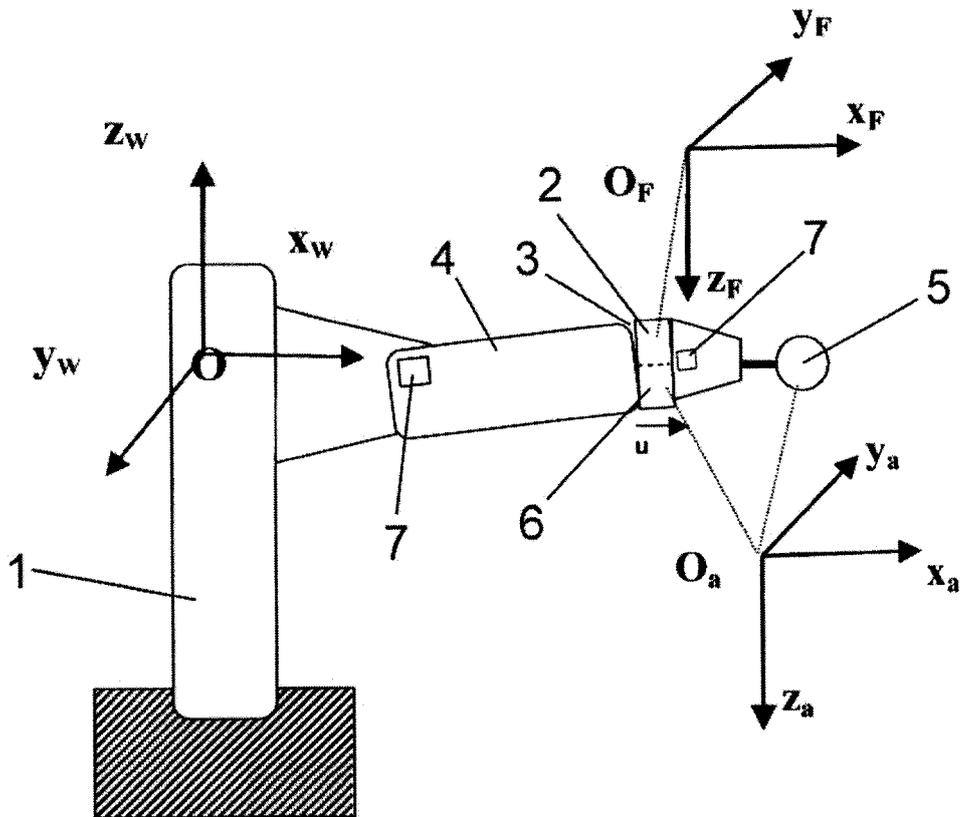


FIG. 1



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 315 130

②1 N° de solicitud: 200602797

②2 Fecha de presentación de la solicitud: **03.11.2006**

③2 Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤1 Int. Cl.: **B25J 9/16** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤6 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	GÁMEZ GARCÍA, J. et al. "Force and Acceleration Sensor Fusion for Compliant Robot Motion Control," Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on, pp. 2709-2714, 18-22 abril 2005.	1-3
X	GÁMEZ GARCÍA, J. et al. "Automatic Calibration Procedure for a Robotic Manipulator Force Observer," Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on, pp. 2703-2708, 18-22 abril 2005.	1-3

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

20.02.2009

Examinador

P. Valbuena Vázquez

Página

1/1