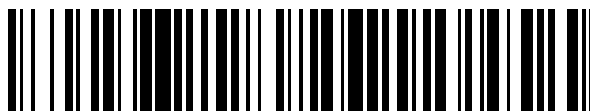


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 136**

51 Int. Cl.:

B25J 9/16 (2006.01)

B25J 11/00 (2006.01)

G05D 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.06.2014 E 14305850 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2019 EP 2952301**

54 Título: **Robot humanoide con capacidades para evitar colisiones y de recuperación de trayectoria**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.07.2020

73 Titular/es:

SOFTBANK ROBOTICS EUROPE (100.0%)
43 rue du Colonel Pierre Avia
75015 Paris, FR

72 Inventor/es:

DALIBARD, SÉBASTIEN;
GARCIA, ALDENIS;
COLLETTE, CYRILLE;
GARCIA, NICOLAS y
SOUCHET, LUCAS

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 773 136 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Robot humanoide con capacidades para evitar colisiones y de recuperación de trayectoria

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al campo de los sistemas de programación de robots. Más específicamente, se aplica a la edición y el control de comportamientos y movimientos de robots que se mueven en extremidades articuladas o las usan, notablemente robots de forma humana o animal.

Antecedentes de la técnica anterior

10 Un robot puede ser calificado como humanoide desde el momento en que tiene ciertos atributos de apariencia humana: una cabeza, un tronco, dos brazos, dos manos, etc. Un robot humanoide puede, sin embargo, ser más o menos sofisticado. Sus extremidades pueden tener un mayor o menor número de articulaciones. Puede controlar su propio equilibrio estática y dinámicamente y caminar sobre dos extremidades, posiblemente en tres dimensiones, o simplemente rodar sobre una base. Puede captar señales del entorno ("escuchar", "ver", "tocar", "sentir", etc.) y reaccionar de acuerdo con comportamientos más o menos sofisticado e interactuar con otros robots o humanos, ya sea por discurso o por gesto.

15 Un robot humanoide puede navegar en un entorno determinado solo para ir de un punto A a un punto B, o de acuerdo con un escenario predefinido, o incluso ejecutar un baile. Incluso puede haber una pluralidad de robots humanoides que colaboran en una coreografía. En todos estos escenarios, es importante que los robots puedan hacer frente a situaciones inesperadas, por ejemplo, cuando los obstáculos se topan con su trayectoria o los movimientos de sus miembros. También, es cada vez más importante desarrollar la impresión de que el robot es de hecho humanoide de que el robot es capaz de hacer frente a estas situaciones inesperadas en una forma similar a la humana, es decir, con cambios suaves de trayectoria o gestos para evitar colisiones en lugar de cambios rápidos de direcciones que denotan un comportamiento mecánico. También, cuando para evitar una colisión, un robot debe cambiar su trayectoria o interrumpir un gesto que se ha ejecutado antes de la secuencia de evitación, es altamente deseable que el robot reanude su trayectoria o gestos anteriores, como lo haría un humano.

20 En algunas soluciones de la técnica anterior, la prevención de colisiones se trata principalmente poniendo el robot en un modo de seguridad, ya sea ordenando una parada abrupta o cambiando de dirección antes de la colisión. Por supuesto, esta no es una experiencia de usuario satisfactoria.

25 Otra solución, proporcionada en particular por la patente de Estados Unidos n.º 7.778.776 consiste en establecer áreas de no invasión o seguridad alrededor de obstáculos y detener el robot a una distancia de detención, o calcular una trayectoria de evitación. Pero esta solución de la técnica anterior requiere mucha informática, puesto que las áreas de seguridad deben calcularse para todos los obstáculos.

30 Un documento más avanzado a este respecto está representado por el documento WO 2009/055707 A1 que desvela un procedimiento para evitar colisiones para un sistema articulado, por ejemplo, un robot, para una aplicación de navegación móvil con robot, que implica redirigir un segmento del cuerpo basándose en un movimiento articular redirigido para evitar chocar con una estructura desconectada.

Sumario de la invención

La invención resuelve este problema calculando un área de seguridad alrededor del robot, de modo que se necesita mantener una sola área de seguridad.

35 Para este efecto, la invención desvela un procedimiento para controlar una trayectoria de al menos uno de los miembros superiores e inferiores de un robot humanoide, dicho procedimiento comprende: almacenar una trayectoria inicial con un punto objetivo en una memoria del robot; adquirir, desde al menos un procedimiento de detección controlado desde el robot a bordo, datos representativos de una posición de uno o más obstáculos; calcular, por un procesador a bordo del robot: una envoltura de una de las huellas de dicho robot y dicho al menos uno de los miembros superiores e inferiores del mismo; una posición relativa de la envoltura y el uno o más obstáculos; una probabilidad de colisión de la envoltura con un obstáculo; y, una serie de comandos para cambiar al menos una de las trayectorias y una velocidad de al menos uno de los miembros superiores e inferiores del robot; Estando dicho procedimiento caracterizado porque la serie de comandos está condicionada en al menos uno de espacio y tiempo para: i) evitar la colisión de la envoltura con un obstáculo; y ii) cuando sea adecuado y posible, reunirse con el punto objetivo de la trayectoria inicial almacenada en la memoria.

40 De forma ventajosa, Se hace referencia a la trayectoria inicial en espacio y tiempo.

De forma ventajosa, el procedimiento de detección es realizado por al menos uno de una pluralidad de generadores de líneas láser, una pluralidad de sensores de formación de imágenes, una pluralidad de sensores acústicos y una pluralidad de detectores de contacto.

De forma ventajosa, el procedimiento de detección es realizado por al menos dos de una pluralidad de generadores

de líneas láser, una pluralidad de sensores de formación de imágenes, una pluralidad de sensores acústicos y una pluralidad de detectores de contacto.

5 De forma ventajosa, el dato representativo de una ubicación de uno o más obstáculos es una extracción de un número de puntos característicos de un mapa de píxeles que representan una probabilidad de ausencia de un obstáculo en dichos píxeles.

De forma ventajosa, el mapa de píxeles se produce a la salida de al menos un segundo procedimiento de detección y un procedimiento de fusión de datos que aumenta una estimación de un nivel de confianza de las probabilidades de ausencia de un obstáculo en dicho mapa de píxeles en relación con un primer procedimiento de detección.

10 De forma ventajosa, la probabilidad de ausencia de un obstáculo en un píxel del mapa disminuye durante un parámetro de tiempo preestablecido hasta 0,5 a menos que se actualice mediante la salida de un procedimiento de detección con una probabilidad más alta.

De forma ventajosa, una envoltura de una huella del robot se calcula en función de la velocidad del robot y los protectores predeterminados alrededor del robot.

15 De forma ventajosa, la serie de comandos se calcula para determinar una trayectoria cambiada para evitar la colisión de la envoltura con cualquier obstáculo.

De forma ventajosa, la serie de comandos se calcula además para determinar una trayectoria cambiada y una velocidad cambiada para reunirse con un punto objetivo de la trayectoria inicial en un momento en que el robot debería haber alcanzado el punto objetivo en la trayectoria inicial.

20 De forma ventajosa, un miembro superior del robot comprende una cadena de segmentos articulados entre sí por articulaciones motoras.

De forma ventajosa, una envoltura de un miembro del robot se calcula en función de una protección predeterminada alrededor de los segmentos articulados.

De forma ventajosa, la serie de comandos se calcula para determinar una reducción en las velocidades angulares de los motores de las juntas de los segmentos articulados cuando la envoltura se acerca a un obstáculo.

25 De forma ventajosa, la reducción en las velocidades angulares de los motores de las articulaciones se calcula para saturar la velocidad máxima de la cadena.

30 La invención desvela también un robot humanoide que comprende: al menos un miembro superior y un miembro inferior; una memoria que almacena una trayectoria inicial con un punto objetivo e instrucciones de código informático; una pluralidad de módulos de detección configurados para adquirir datos representativos de una posición de uno o más obstáculos; un procesador configurado para ejecutar dichas instrucciones de código informático para calcular: una envoltura de una de las huellas de dicho robot y dicho al menos uno de los miembros superiores e inferiores del mismo; una posición relativa de la envoltura y el uno o más obstáculos; una probabilidad de colisión de la envoltura con un obstáculo; y, una serie de comandos para cambiar al menos una de las trayectorias y una velocidad de al menos uno de los miembros superiores e inferiores del robot; dicho robot se caracteriza porque la serie de comandos está condicionada en al menos uno de espacio y tiempo para: i) evitar la colisión de la envoltura con un obstáculo; y ii) cuando sea adecuado y posible, reunirse con el punto objetivo de la trayectoria inicial almacenada en la memoria.

40 La invención permite también que el robot se reúne con una trayectoria calculada previamente, si esta trayectoria solo se calcula como parte de una etapa de navegación del robot para moverse a una ubicación predeterminada, o es parte de una coreografía, ejecutada por el robot solamente, o dentro de una coreografía ejecutada por una pluralidad de robots. En estas realizaciones, la trayectoria del robot se vuelve a sincronizar con la trayectoria planificada previamente, para que la evitación sea vista como algo absolutamente natural. De forma ventajosa, los miembros superiores del robot se controlan también para evitar obstáculos en su entorno. En estas realizaciones, los gestos de los miembros superiores también se vuelven a sincronizar con los gestos planificados previamente, o se adaptan para que parezcan más naturales.

45 **Breve descripción de los dibujos**

La invención se entenderá mejor y sus diversas características y ventajas surgirán de la siguiente descripción de un número de realizaciones ejemplares y sus Figuras adjuntas en las que:

- la Figura 1 muestra una arquitectura física de un robot humanoide en un número de realizaciones de la invención;
- la Figura 2 muestra una arquitectura funcional de los módulos de software del robot en un número de realizaciones de la invención;
- la Figura 3 muestra un diagrama de flujo para implementar un aspecto del procedimiento de la invención en un número de sus realizaciones;
- las Figuras 4a, 4b, 4c, 4d, 4e y 4f ilustran de forma más detallada el cálculo de las áreas de seguridad alrededor del robot en un número de realizaciones de la invención;

- las Figuras 5a, 5b y 5c ilustran de forma más detallada el cálculo de la trayectoria resincronizada en un número de realizaciones de la invención;
- la Figura 6 muestra un diagrama de flujo para implementar otro aspecto de la invención en un número de sus realizaciones;
- 5 - la Figura 7 ilustra el accionamiento de los miembros de los miembros superiores del robot de la invención en un número de sus realizaciones;
- la Figura 8 ilustra el cálculo del área de seguridad teniendo en cuenta los miembros superiores del robot en un número de realizaciones de la invención;
- 10 - las Figuras 9a, 9b, 9c y 9d ilustran diferentes estrategias para evitar colisiones en un número de realizaciones de la invención.

La Figura 1 muestra una arquitectura física de un robot humanoide en un número de realizaciones de la invención.

El robot 100 específico en la Figura se toma como un ejemplo solo de un robot humanoide en el que se puede implementar la invención. La extremidad inferior del robot en la Figura no es funcional para caminar, pero puede moverse en cualquier dirección en su base 140 que rueda sobre la superficie sobre la que descansa. La invención se puede implementar fácilmente en un robot apto para caminar. A modo de ejemplo, Este robot tiene una altura 110 que puede ser de aproximadamente 120 cm, una profundidad 120 de aproximadamente 65 cm y una anchura 130 de aproximadamente 40 cm. En una realización específica, el robot de la invención tiene una tableta 150 con la que puede comunicar mensajes (audio, vídeo, páginas web) a su entorno, o recibir entradas de los usuarios a través de la interfaz táctil de la tableta. Además del procesador de la tableta, el robot de la invención usa también el procesador de su propia placa base, que puede ser, por ejemplo, un ATOM™ Z530 de Intel™. El robot de la invención incluye también ventajosamente un procesador que se dedica al manejo de los flujos de datos entre la placa base y, notablemente, las placas que llevan los codificadores giratorios magnéticos (MRE) y los sensores que controlan los motores de las articulaciones en una extremidad y las bolas que el robot usa como ruedas, en una realización específica de la invención. Los motores pueden ser de diferentes tipos, dependiendo de la magnitud del par máximo que se necesita para una unión definida. Por ejemplo, se pueden usar motores sin núcleo de CC con escobillas de e-minebea™ (SE24P2CTCA, por ejemplo), o motores de CC sin escobillas de Maxon™ (por ejemplo, EC45_70W). Los MRE son preferentemente de un tipo que usa el efecto Hall, con precisión de 12 o 14 bits.

En realizaciones de la invención, el robot que se muestra en la Figura 1 comprende también varios tipos de sensores. Algunos de ellos se utilizan para controlar la posición y los movimientos del robot. Este es el caso, por ejemplo, de una unidad inercial, situada en el torso del robot, que comprende un girómetro de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes. El robot puede incluir también dos cámaras 160 RGB a color de 2D en la frente del robot (superior e inferior) del tipo System On Chip (SOC), como las de Shenzhen V-Vision Technology Ltd™ (OV5640), con una resolución de 5 megapíxeles a 5 cuadros por segundo y un campo de visión (FOV) de aproximadamente 57° horizontal y 44° vertical. También se puede incluir un sensor 170 3D detrás de los ojos del robot, como un sensor ASUS XTION™ SOC con una resolución de 0,3 megapíxeles a 20 cuadros por segundo, con aproximadamente el mismo campo de visión que las cámaras 2D. El robot de la invención puede equiparse también con generadores de líneas láser, por ejemplo tres en la cabeza 180a y tres en la base 180b, para poder sentir su posición relativa a los objetos/seres en su entorno. El robot de la invención puede incluir también micrófonos para poder detectar sonidos en su entorno. En una realización, se pueden implantar cuatro micrófonos con una sensibilidad de 300 mV/ Pa +/- 3 dB a 1kHz y un intervalo de frecuencia de 300 Hz a 12 kHz (-10 dB en relación a 1 kHz) en la cabeza del robot. El robot de la invención puede incluir también dos sensores 190 de sonar, posiblemente ubicados en la parte delantera y trasera de su base, para medir la distancia a objetos/seres humanos en su entorno.

El robot puede incluir también sensores táctiles, sobre su cabeza y sobre sus manos, para permitir la interacción con los seres humanos. También puede incluir parachoques 1B0 en su base para detectar los obstáculos que encuentra en su ruta.

El robot puede detectar también el contacto de sus miembros superiores con los objetos que tocan al calcular la diferencia entre una trayectoria planificada y una trayectoria real. La solicitud de patente europea presentada el mismo día por el mismo solicitante con el n.º EP14305848.5 desvela un procedimiento para este efecto.

Para traducir sus emociones y comunicarse con los seres humanos en su entorno, el robot de la invención puede incluir también:

- LED, por ejemplo en sus ojos, orejas y sobre sus hombros;
- Altavoces, por ejemplo dos, ubicados en sus oídos.

El robot de la invención puede comunicarse con una estación base u otros robots a través de una conexión Ethernet RJ45 o WiFi 802.11.

55 El robot de la invención puede alimentarse por una batería de fosfato de hierro y litio con una energía de aproximadamente 400 Wh. El robot puede acceder a una estación de carga adecuada para el tipo de batería que incluye.

La posición/movimientos de los robots son controlados por sus motores, utilizando algoritmos que activan las cadenas

definidas por cada extremidad y los efectores definidos al final de cada extremidad, en vista de las mediciones de los sensores.

5 De los sensores 160, 170, 180, 190, 1A0 o 1B0, o del resultado de una evaluación de un contacto de sus miembros superiores con un objeto, los módulos informáticos del robot pueden calcular un mapa local de los obstáculos en su entorno, de acuerdo con lo desvelado por la solicitud de patente europea presentada el mismo día que esta solicitud con el n.º EP14305849.3.

La Figura 2 muestra una arquitectura funcional de los módulos de software del robot en un número de realizaciones de la invención.

10 La Figura 2 es un diagrama de una arquitectura física y funcional que permite la implementación de la invención en varias de sus realizaciones. Un robot de este tipo está dotado ventajosamente de un software de alto nivel que permite el pilotaje de las funciones del robot en una realización de la invención. Una arquitectura de software de este tipo, apodada NAOQI, se ha desvelado notablemente en la solicitud de patente WO2009/124955 publicada el 15/10/2009. La misma comprende las funciones básicas para gestionar las comunicaciones entre un robot y una PC o un sitio remoto e intercambiar software que proporciona la infraestructura de software necesaria para la implementación de la presente invención. También, la solicitud de patente europea n.º EP14305578.8 desvela un sistema operativo
15 diseñado para operar un robot con capacidades avanzadas de interacción/diálogo.

NAOQI es un marco optimizado para aplicaciones robóticas; es compatible con varios idiomas, notablemente C ++, Python y Urbi. Dentro del contexto de la presente invención, los siguientes módulos de NAOQI son particularmente útiles:

- 20
- el módulo ALMemory, 210, gestiona una memoria compartida entre los diversos módulos de NAOQI;
 - el módulo DCM, 220, gestiona las comunicaciones con el robot físico (motores, sensores);
 - el módulo ALRobotPose, 230, calcula la postura actual del robot comparándola con las posturas de referencia;
 - el módulo ALMotion, 240, gestiona los movimientos del robot.

25 Estos cuatro módulos están codificados ventajosamente en C ++. La Figura indica también los flujos de datos entre módulos. En particular, las entradas necesarias para la implementación de las funciones de prevención de colisión por caída son:

- los valores de los sensores (cámaras, generadores de líneas láser, sonares, sensor táctil, por ejemplo);
- la postura del robot.

30 En el caso de detectar una posible colisión, las funciones específicas diseñadas para implementar los comandos de envío de la invención instantánea para actualizar la trayectoria del robot.

También indicado en la Figura, puramente a modo de ilustración, están los valores de los ciclos de actualización para los datos procesados por cada módulo: 20 ms para la actualización de la postura del robot y los datos de gestión de caídas; 10 ms para los valores de algunos de los sensores. Un mapa de los obstáculos en el entorno del robot se puede actualizar cada 100 ms, que es el tiempo de ciclo convencional para procesar imágenes adquiridas por una
35 cámara 3D, a modo de ejemplo, solamente.

La Figura 3 muestra un diagrama de flujo para implementar un aspecto del procedimiento de la invención en un número de sus realizaciones.

40 La velocidad instantánea del robot y la aceleración obtenida 310 del módulo 230 ALRobotPose se procesan continuamente para calcular 320 una distancia de detención del robot, y a partir de ella se calcula 330 una distancia de seguridad frontal del robot.

A partir de esta salida y una posición calculada del robot, se determina 340 una región de seguridad del robot.

La invención define regiones alrededor del robot que deben estar libres de obstáculos para que el robot se mueva. El tamaño y la forma de estas regiones dependen de la velocidad instantánea del robot, en traslación y rotación. La forma de la región de seguridad se determina de forma que:

- 45
- Ningún punto del robot debe acercarse más a un obstáculo que una cierta distancia llamada *distancia mínima*, 10 cm en una implementación puramente ejemplar;
 - Ningún punto debe estar dentro de la región barrida por el robot que se detiene, si el robot se detiene de inmediato;
 - El tamaño de la región de seguridad en la dirección del movimiento aumenta en cierta distancia, Denominada *distancia frontal*, que depende continuamente de la distancia de detención del robot; en una implementación de la invención, tomada únicamente a modo de ejemplo, la distancia frontal se considera igual a la distancia mínima a
50 baja velocidad (es decir, 10 cm) y 40 cm a toda velocidad, pero dependen de las velocidades reales del robot, Se pueden seleccionar y calcular diferentes valores utilizando la siguiente fórmula que devuelve los resultados en la tabla.

La distancia adicional incluida en la distancia frontal máxima está ahí para dar cuenta de la incertidumbre del sensor,

retraso del sensor y la comodidad de las personas alrededor del robot.

La tabla a continuación proporciona ejemplos de la distancia de seguridad frontal (en metros) en función de la velocidad del robot (en metros por segundo):

Velocidad (m/s)	Distancia de seguridad frontal (m)
0,1	0,12
0,2	0,17
0,3	0,25
0,35	0,30
0,4	0,35
0,5	0,40
0,55	0,40

- 5 Como se puede ver, la distancia de seguridad frontal mínima para un robot que se mueve a su velocidad mínima de 0,1 m/s está justo por encima de la distancia mínima de 10 cm, que es el límite absoluto para un robot que no se mueve. La distancia de seguridad frontal aumenta entonces hasta 30 cm para la velocidad de 0,35 m/s, que es la velocidad predeterminada más común para un robot humanoide del tipo descrito por esta invención.
- 10 La distancia de seguridad frontal no aumenta por encima de la velocidad máxima del robot (0,55 m/s) para lo cual es necesaria una distancia de seguridad frontal de 40 cm.
- Las Figuras 4a, 4b, 4c, 4d, 4e y 4f ilustran de forma más detallada el cálculo de las áreas de seguridad alrededor del robot en un número de realizaciones de la invención.
- En estas Figuras, un robot 410a, 410c, 410e autónomo se mueve a la velocidad 420a, 420c o 420e orientada. Se puede ver que la velocidad 420c es mayor que la velocidad 420a. También, El movimiento del robot 410e está orientado a la izquierda del robot, aproximadamente a la misma velocidad 420e frontal que la velocidad 420c frontal o el robot 410c.
- 15 Las regiones 410b, 410d y 410f de seguridad se definen alrededor del robot y estas regiones de seguridad tienen diferentes tamaños que dependen de la velocidad del robot. En las figuras 4b, 4d, 4f, la orientación de los triángulos 420b, 420d, 420f depende de la orientación del movimiento del robot. Mientras que los tamaños de los triángulos 420b, 420d, 420f, dependen de la velocidad instantánea del robot, y sus respectivos tamaños aumentan con la velocidad del robot. La región de seguridad se define alrededor del robot y no alrededor de cada obstáculo como en la técnica anterior. También, la región de seguridad gira con el robot como se ilustra en la Figura 4f.
- 20 Las Figuras 5a, 5b y 5c ilustran de forma más detallada el cálculo de la trayectoria resincronizada en un número de realizaciones de la invención.
- 25 El robot de la invención puede ejecutar desplazamientos que solo son dirigidos por un objetivo del robot para ir de un primer punto 510a a un segundo punto 520a. Bajo estas circunstancias, el momento del desplazamiento y los movimientos asociados de los miembros del robot no son muy importantes. Por lo tanto, un robot que tendrá que cambiar su trayectoria 530a para pasar del primer punto al segundo punto para evitar un obstáculo 540b no estará limitado a tiempo para reunirse con el segundo punto después de que se haya ejecutado un desvío para evitar el
- 30 obstáculo. Pero los desplazamientos y el movimiento de los miembros del robot deben coordinarse para ejecutar una coreografía, ya sea como un robot independiente o en conjunto con otros robots o con seres humanos, el momento en que se alcanza el segundo punto 520a debe ser coherente con la coreografía, es decir, debe ser igual al tiempo inicialmente planificado.
- 35 Se puede ver en las Figuras que la trayectoria 530a inicial cambiará cuando se determina que un obstáculo 540a está posiblemente en una ruta de colisión.
- La presencia de un obstáculo en el área de seguridad alrededor del robot mientras avanza en su trayectoria se detecta utilizando, por ejemplo, el procedimiento desvelado por la patente europea n.º EP14305849.3 presentada el mismo día que esta solicitud bajo el nombre del mismo cesionario. De acuerdo con este procedimiento, se crea un mapa de píxeles local del entorno del robot alrededor del robot, donde la probabilidad de que no haya obstáculo en una trayectoria se determina correlacionando las mediciones de un número de sensores (generalmente cámaras: 2D o 3D, generadores de línea láser, sonares, sensores táctiles...). El mapa puede ser un cilindro cuya base es una proyección en la superficie de progresión del robot, pero también puede ser, en algunas implementaciones, un volumen completo en 3D.
- 40 Cuando este es el caso, la trayectoria 550c inicial no se ejecuta y se reemplaza con un nuevo segmento 560c, donde la velocidad del robot tiene que adaptarse para que el robot sea capaz de reunirse con el segundo punto 520a en el momento en que se había planificado inicialmente. Por consiguiente, el procedimiento de la invención calcula automáticamente un movimiento que se detiene o solo cambia la dirección del robot y luego reúne la trayectoria inicial en el segundo punto, mientras se mantiene en una posición absoluta correcta y el tiempo de la trayectoria.
- 45

La Figura 6 muestra un diagrama de flujo para implementar otro aspecto de la invención en un número de sus realizaciones.

La invención también resuelve el mismo problema de evitar la colisión con obstáculos en una trayectoria al tiempo que preserva el tiempo inicial de la trayectoria en el caso de movimientos ejecutados por los miembros del robot.

- 5 En este caso, el problema radica en los movimientos de las articulaciones que deben controlarse de una manera que evite la colisión y mantenga la dirección general y el contenido del gesto inicial, mientras que posiblemente cambia la velocidad y amplitud del gesto.

Este resultado se logra, por ejemplo, implementando las siguientes etapas:

- 10 - En cada ciclo de control, el controlador de movimiento toma 610 como entrada una posición objetivo conjunta para cada articulación; este objetivo puede provenir de una animación coreografiada o puede ser el resultado de un cálculo;
- Desde esta posición objetivo, el procedimiento calcula 620 la velocidad objetivo de cada punto del robot;
- 15 - Para todos los puntos, el procedimiento calcula 630 una velocidad máxima conjunta para la cadena que contiene el punto; esta velocidad depende 640 de la posición de los obstáculos cerca del punto; la velocidad es baja cuando los obstáculos están cerca del punto y en la dirección de su velocidad objetivo, no tiene límites cuando el obstáculo está lejos o cuando está en la dirección opuesta a la velocidad objetivo del punto, y depende continuamente de las posiciones relativas del obstáculo en el medio.

Por lo tanto, la velocidad de las uniones en la cadena está saturada en su valor de seguridad máximo.

- 20 Se puede calcular el valor de seguridad máximo de la velocidad de las articulaciones, a modo de ejemplo, como se describe a continuación.

la posición polar del obstáculo en relación con el punto del robot se denota (d, θ) , donde $\theta = 0$ cuando el obstáculo está en la dirección de la velocidad objetivo. Dejando que $f(d, \theta)$ sea la velocidad máxima de seguridad de la cadena, y $\theta_{\min}, \theta_{\max}, r_{e_{\min}}, r_{e_{\max}}, F_{\min}, F_{\max}$ algunos parámetros definidos por el usuario. A continuación:

$$f(d, \theta) = f_{\min}, \text{ si } \theta \leq \theta_{\min} \text{ y } d \leq d_{\min}$$

$$25 \quad f(d, \theta) = f_{\min} + (d - d_{\min}) / (r_{e_{\max}} - d_{\min}) * f_{\max}, \text{ si } \theta \leq \theta_{\min} \text{ y } d_{\min} \leq d \leq d_{\max}$$

$$f(d, \theta) = f_{\max}, \text{ si } \theta \leq \theta_{\min} \text{ y } d_{\max} \leq d$$

$$f(d, \theta) = f(d, 0) + (\theta - \theta_{\min}) / (\theta_{\max} - \theta_{\min}) (f_{\max} - f(d, 0)), \text{ si } \theta_{\min} \leq \theta \leq \theta_{\max}$$

$$f(d, \theta) = f_{\max} \text{ si } \theta \geq \theta_{\max}$$

- 30 En una realización, podemos utilizar los siguientes parámetros definidos por el usuario: $\theta_{\min} = \pi/4$ rad, $\theta_{\max} = 3\pi/4$ rad, $r_{e_{\min}} = 0,1$ m, $r_{e_{\max}} = 0,5$ m, $F_{\min} = 0$ rad/s y $F_{\max} = 6$ rad/s.

Pero se pueden establecer otros valores, dependiendo del escenario de uso del robot. También se puede definir una configuración dinámica de los parámetros, dependiendo del entorno del robot.

A continuación, El movimiento resultante se calcula 650.

- 35 La Figura 7 ilustra el accionamiento de los miembros de los miembros superiores del robot de la invención en un número de sus realizaciones.

La posición 720 objetivo de la cadena de miembros superiores se introduce en el cálculo y el gesto para mover la cadena de miembros de la posición 710 inicial a la posición 720 objetivo, usando una trayectoria 730, se calcula para cada articulación utilizando una saturación de su velocidad teniendo en cuenta la distancia de la articulación desde un obstáculo.

- 40 La posición de los obstáculos se determina utilizando, por ejemplo, el mapa de obstáculos ya mencionado, donde se construye un cilindro sobre el mapa 2D, o usando, además del mapa 2D, una número de puntos de referencia obtenidos directamente de algunos sensores (por ejemplo, la cámara 3D). En algunas realizaciones, se puede definir una distancia de seguridad mínima absoluta alrededor de cada articulación. Ventajosamente, esta distancia de seguridad absoluta es de aproximadamente 10 cm.

- 45 La Figura 8 ilustra el cálculo del área de seguridad teniendo en cuenta los miembros superiores del robot en un número de realizaciones de la invención.

Esta Figura muestra velocidades máximas dependiendo de la posición de un obstáculo (x, y) relativamente a un punto del robot y su dirección de 840 velocidad objetivo. En la zona 810 gris oscuro, la velocidad máxima es nula. En la zona 820 gris claro, la velocidad máxima no cambia. En la zona 830 gris intermedio, la velocidad de las articulaciones en

una cadena del robot se cambia definiendo una velocidad saturada como ya se ha explicado.

Las Figuras 9a, 9b, 9c y 9d ilustran diferentes estrategias para evitar colisiones en un número de realizaciones de la invención.

5 En los ejemplos ilustrativos de estas Figuras, se considera una sola articulación, con un movimiento de referencia a la derecha, como se ve en la Figura 9a.

En la Figura 9b, el movimiento no cambia, ya que el obstáculo 910b está en la zona 820 gris claro.

En la Figura 9c, el movimiento se ralentiza, puesto que el obstáculo 910c está en la zona 830 gris intermedio.

En la Figura 9d, el movimiento se detiene, puesto que el obstáculo 910d está en la zona 810 gris oscuro.

10 Por lo tanto, una zona de seguridad alrededor del robot puede comprender obstáculos en la superficie de progresión y obstáculos a una altitud relativa a la superficie de progresión. El cambio de trayectoria determinado por la detección de obstáculos en el área de seguridad 2D protegerá también por lo general al robot de una colisión de sus miembros con la segunda categoría de obstáculos.

15 Pero esto no siempre es verdad, especialmente cuando el robot está involucrado en la interacción con un ser humano que está más allá de la distancia mínima de seguridad del robot, pero cuyos miembros pueden, por supuesto, entrar en la zona de seguridad. En este caso, los gestos del robot deben controlarse con cuidado, usando la realización donde la velocidad de la articulación está saturada basándose en la detección de la distancia con obstáculos.

20 Por lo tanto, los algoritmos que, de acuerdo con la invención, permiten el control de la trayectoria 2D del robot en su superficie de progresión y el control de las velocidades angulares de las articulaciones de sus miembros se ejecutarán simultáneamente, para asegurarse de que no se produzca una colisión durante la interacción del robot con el ser humano con el que está involucrado.

Los ejemplos descritos anteriormente se dan como ilustraciones de realizaciones de la invención. No limitan de ninguna forma el ámbito de la invención que se define por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de control de una trayectoria (530a, 730) de al menos uno de los miembros superiores e inferiores de un robot (100) humanoide, comprendiendo dicho procedimiento:
 - 5 - almacenar una trayectoria inicial con un punto objetivo en una memoria del robot;
 - adquirir, desde al menos un procedimiento de detección controlado desde el robot a bordo, datos representativos de una posición de uno o más obstáculos (540b, 910c);
 - calcular, por un procesador a bordo del robot:
 - 10 una envoltura (410b, 810) de dicho robot;
 - una posición relativa de la envoltura y el uno o más obstáculos;
 - una probabilidad de colisión de la envoltura con un obstáculo; y,
 una serie de comandos que comprenden:
 - detectar la presencia de un obstáculo en la envoltura;
 - si se detecta la presencia de un obstáculo en la envoltura:
 - 15 ◦ calcular un punto de la trayectoria inicial;
 - calcular una línea recta entre el punto de la trayectoria inicial y el punto objetivo;
 - calcular una velocidad del robot en línea recta para reunirse con punto objetivo en el momento inicial;
 - definir la trayectoria del robot como la trayectoria inicial hasta el punto de la trayectoria inicial, después la línea recta entre el punto de la trayectoria inicial y el punto objetivo.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la trayectoria inicial se referencia en espacio y tiempo.
- 20 3. El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 2, en el que el procedimiento de detección es realizado por al menos uno de una pluralidad de generadores de líneas láser, una pluralidad de sensores de formación de imágenes, una pluralidad de sensores acústicos y una pluralidad de detectores de contacto.
4. El procedimiento de la reivindicación 3, en el que el procedimiento de detección es realizado por al menos dos de una pluralidad de generadores de líneas láser, una pluralidad de sensores de formación de imágenes, una pluralidad de sensores acústicos y una pluralidad de detectores de contacto.
- 25 5. El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que los datos representativos de una ubicación de uno o más obstáculos es una extracción de un número de puntos característicos de un mapa de píxeles que representan una probabilidad de ausencia de un obstáculo en dichos píxeles.
6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que el mapa de píxeles está producido a la salida de al menos un segundo procedimiento de detección y un procedimiento de fusión de datos que aumenta una estimación de un nivel de confianza de las probabilidades de ausencia de un obstáculo en dicho mapa de píxeles en relación con un primer procedimiento de detección.
- 30 7. El procedimiento de una de las reivindicaciones 5 y 6, en el que la probabilidad de ausencia de un obstáculo en un píxel del mapa disminuye durante un parámetro de tiempo preestablecido hasta 0,5 a menos que se actualice mediante la salida de un procedimiento de detección con una probabilidad más alta.
- 35 8. El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que un miembro superior del robot comprende una cadena de segmentos articulados entre sí por articulaciones motoras.
9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que una envoltura de un miembro del robot está calculada en función de una distancia de seguridad predeterminada alrededor de los segmentos articulados.
- 40 10. El procedimiento de una de las reivindicaciones 8 o 9, en el que la serie de comandos está calculada para determinar una reducción en las velocidades angulares de los motores de las juntas de los segmentos articulados cuando la envoltura se acerca a un obstáculo.
11. El procedimiento de la reivindicación 10, en el que la reducción en las velocidades angulares de los motores de las articulaciones es calculada para saturar una velocidad de la cadena a un valor de seguridad máximo, calculándose dicho valor de seguridad máximo basándose en la velocidad objetivo de un punto en la cadena, y las posiciones de los obstáculos en relación con dicho punto en la cadena.
- 45 12. Un robot humanoide que comprende:
 - al menos un miembro superior y un miembro inferior;
 - una memoria que almacena una trayectoria inicial con un punto objetivo e instrucciones de código informático;
 - 50 - una pluralidad de módulos de detección configurados para adquirir datos representativos de una posición de uno o más obstáculos;

- un procesador configurado para ejecutar dichas instrucciones de código informático para calcular:

una envoltura de dicho robot;
una posición relativa de la envoltura y el uno o más obstáculos;
una probabilidad de colisión de la envoltura con un obstáculo; y,
5 una serie de comandos que comprenden:

- detectar la presencia de un obstáculo en la envoltura;
- si se detecta la presencia de un obstáculo en la envoltura:

- 10
- calcular un punto de la trayectoria inicial;
 - calcular una línea recta entre el punto de la trayectoria inicial y el punto objetivo;
 - calcular una velocidad del robot en línea recta para reunirse con el punto objetivo en el momento inicial;
 - definir la trayectoria del robot como la trayectoria inicial hasta el punto de la trayectoria inicial, después la línea recta entre el punto de la trayectoria inicial y el punto objetivo.

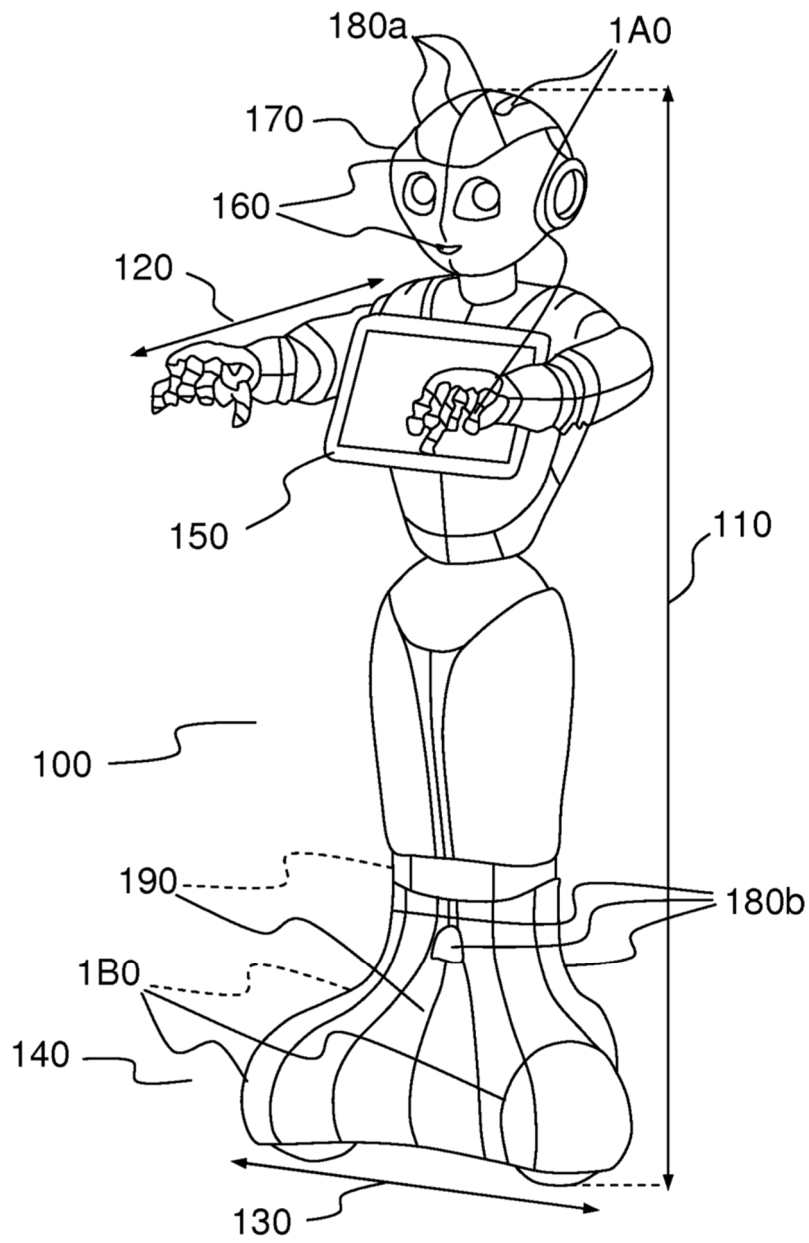


FIG.1

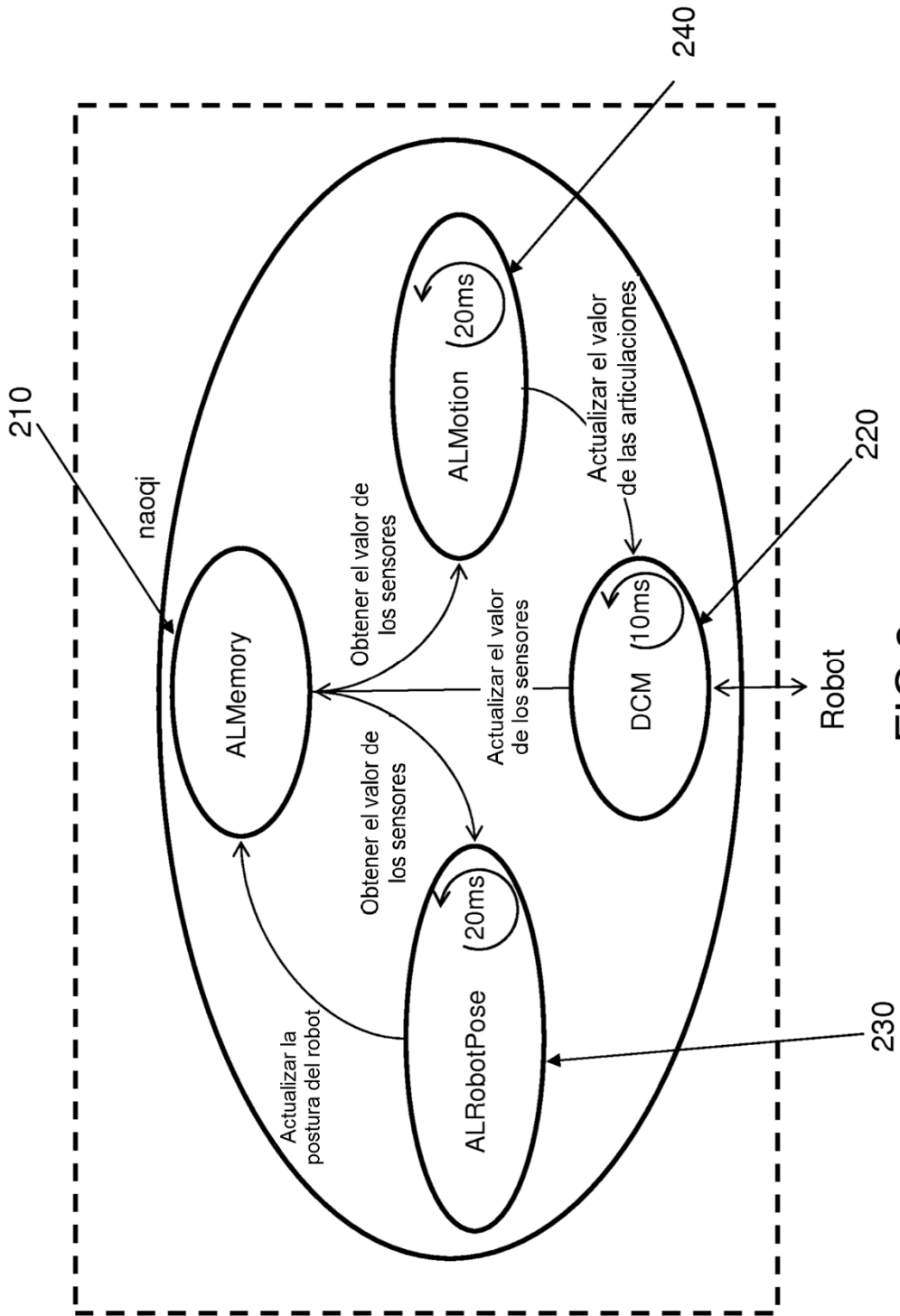


FIG.2

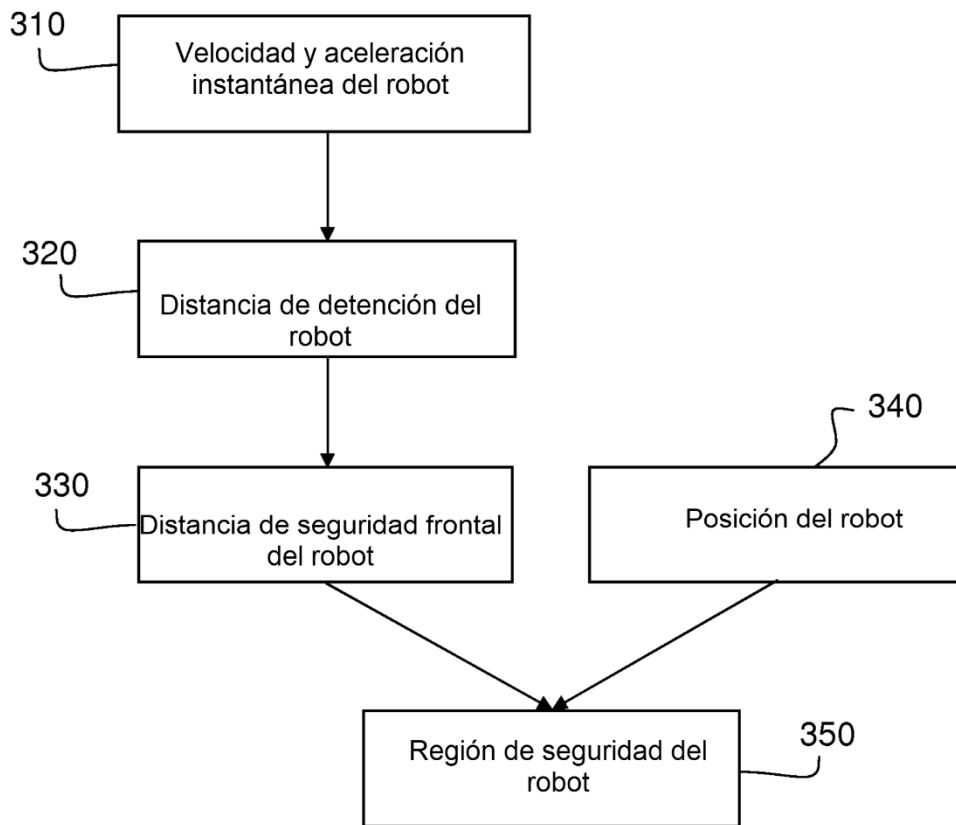


FIG.3

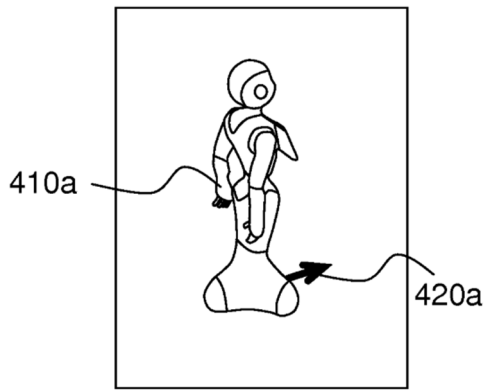


FIG. 4a

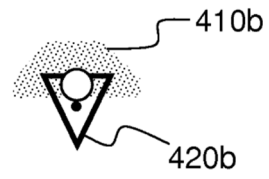


FIG. 4b

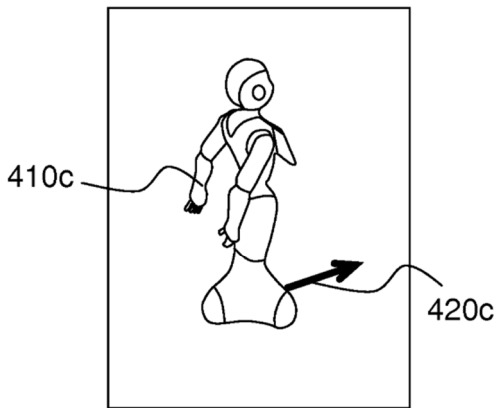


FIG. 4c

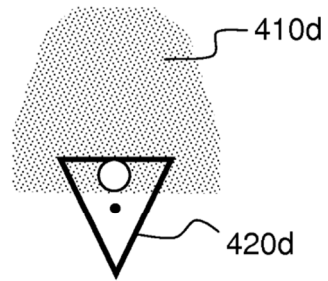


FIG. 4d

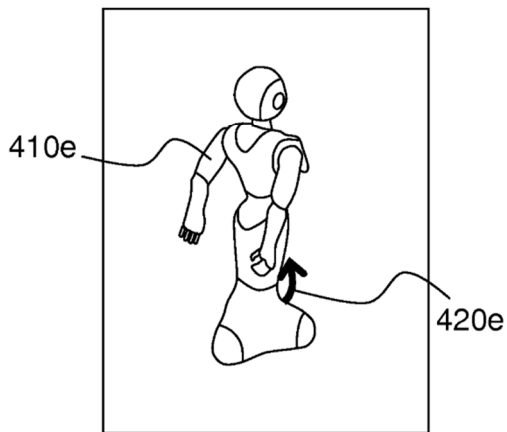


FIG. 4e

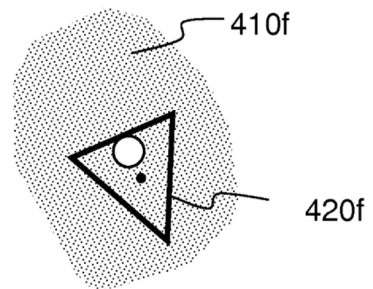


FIG. 4f

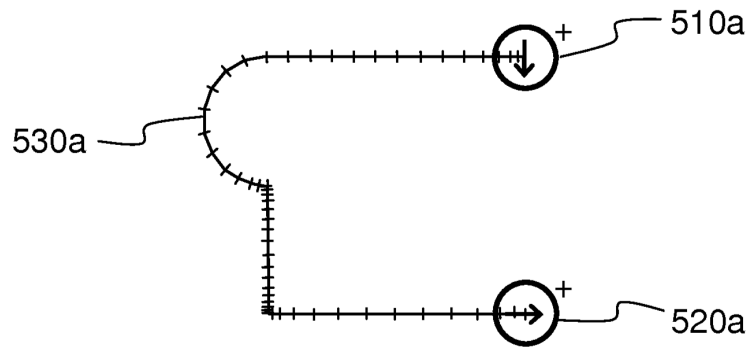


FIG.5a

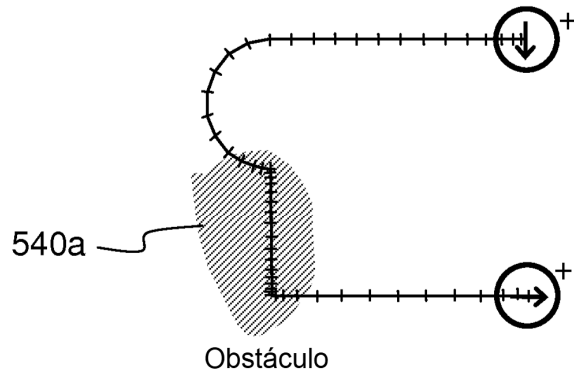


FIG.5b

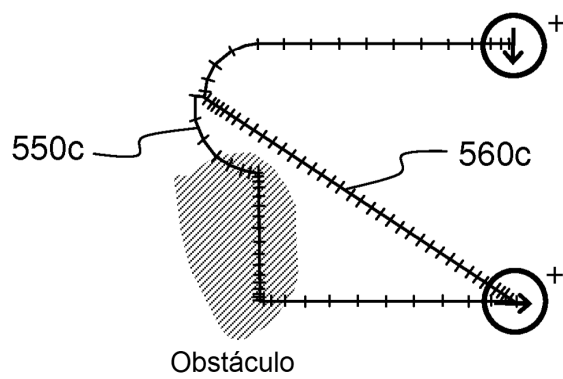


FIG.5c

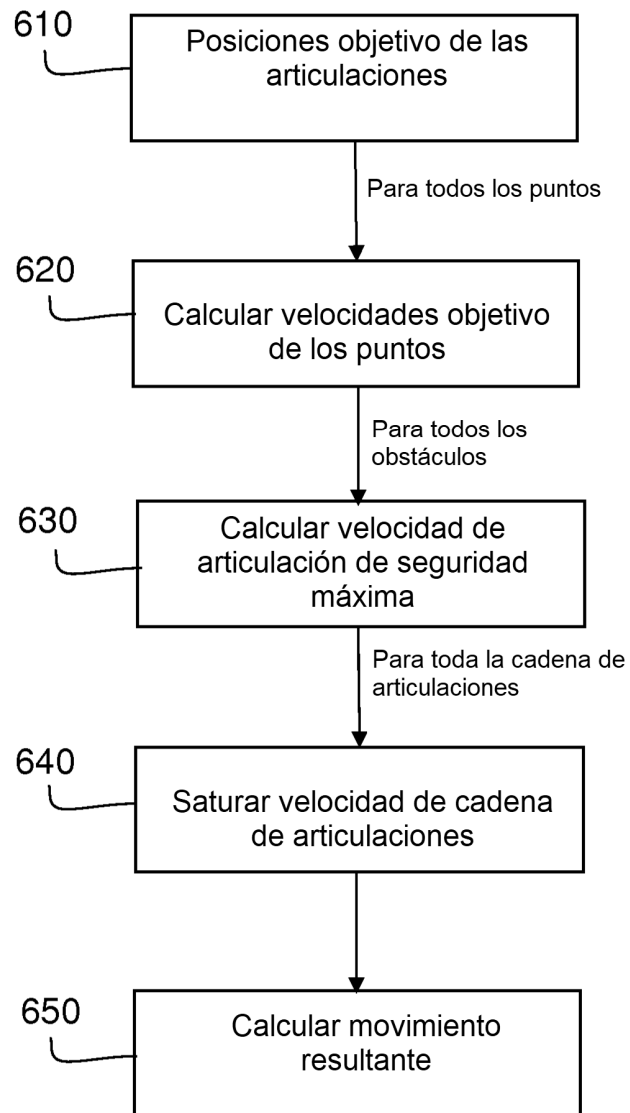


FIG.6

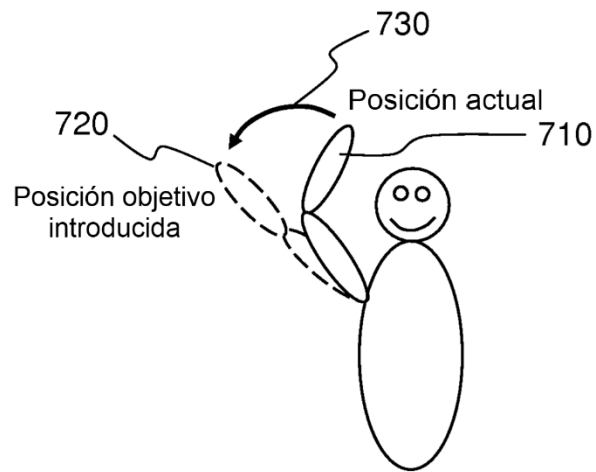


FIG.7

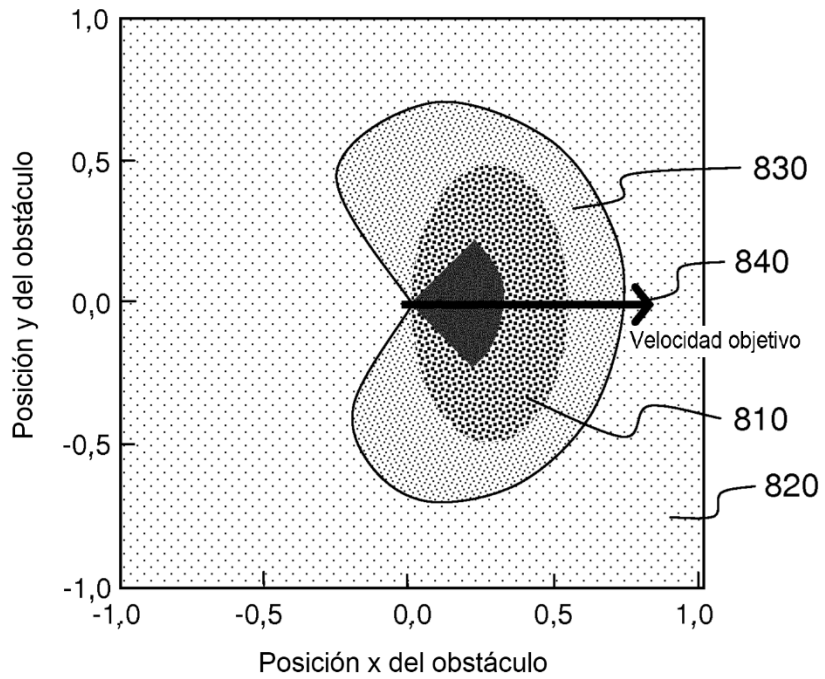


FIG.8

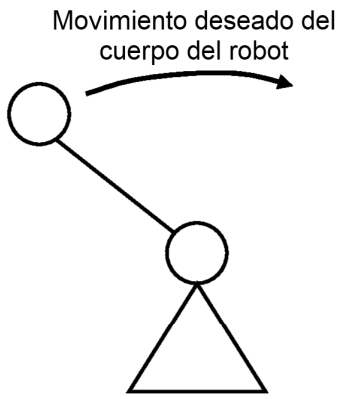


FIG.9a

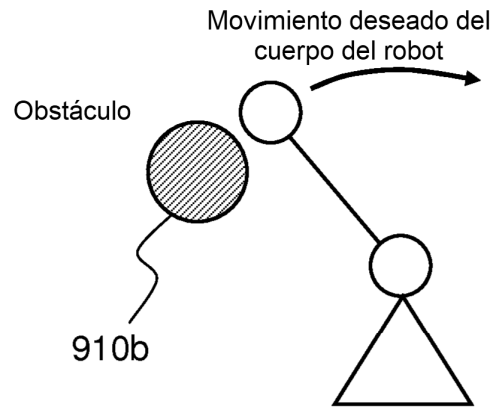


FIG.9b

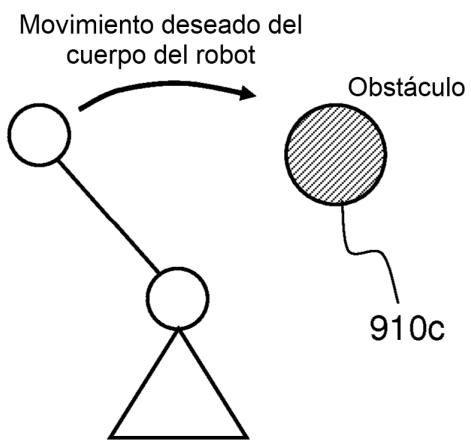


FIG.9c

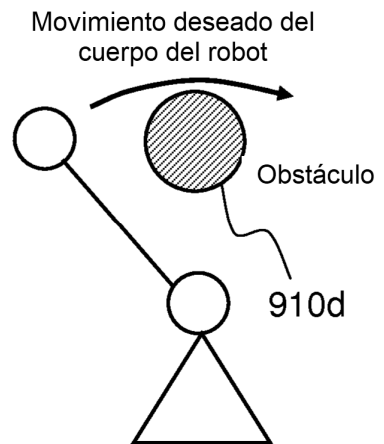


FIG.9d