

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 675 363**

51 Int. Cl.:

G05D 1/00 (2006.01)

G05D 1/02 (2006.01)

G01S 15/89 (2006.01)

G01S 15/93 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.06.2014** **E 14305849 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018** **EP 2952993**

54 Título: **Procedimiento de construcción de un mapa de probabilidad entre la ausencia y la presencia de obstáculos para un robot autónomo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.07.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

GARCIA, NICOLAS y
SOUCHET, LUCAS

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 675 363 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

Procedimiento de construcción de un mapa de probabilidad entre la ausencia y la presencia de obstáculos para un robot autónomo

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al campo de los sistemas de programación de robots. Más concretamente, se aplica a la creación de un mapa local de probabilidad de ausencia y presencia de obstáculos. Dicho mapa es particularmente, pero no exclusivamente, aplicable a las técnicas de evitación de colisión.

Técnica anterior

10 Un robot puede ser calificado como autónomo cuando es capaz de llevar a cabo unos comportamientos o tareas con un elevado grado de autonomía, incluso en un entorno inicialmente desconocido. Para desplazar y llevar a cabo los comportamientos de forma segura, un robot autónomo necesita localizar y recoger informaciones respecto de obstáculos potencialmente peligrosos.

Por tanto, el problema de la recogida de forma autónoma de informaciones respecto de obstáculos locales es un problema crucial en el campo de la robótica.

15 De acuerdo con la técnica precedente, las técnicas mejor conocidas para la detección de obstáculos pertenecen a una categoría de procedimiento denominada la "Localización Y Cartografía Simultáneas" (SLAM). Estos procedimientos proporcionan una detección simultánea de obstáculos y posicionamientos de un robot con respecto a su entorno. Las técnicas SLAM se divulgaron por THRUN, S. BURGARD, W. FOX D. Robótica Probabilística. MIT Press 2005; MONTEMERLO, M. THURN S. KOLLER D. WEGBREIT B., FastSLAM: Una solución factorizada para el problema de la localización y cartografiado simultáneos, AAAI/IAAI, 2002, páginas 593 a 598.

20 Un robot puede ser calificado como un humanoide desde el momento en que presenta unos atributos con un cierto aspecto humano: una cabeza, un tronco, dos brazos, dos manos, etc. Un robot humanoide puede, sin embargo, ser más o menos sofisticado. Sus miembros pueden presentar un mayor o menor número de articulaciones. Puede controlar su propio equilibrio estática y dinámicamente y caminar sobre dos miembros, posiblemente en tres dimensiones, o simplemente rodar sobre una base. Puede captar señales procedentes del entorno ("escuchar", "ver", "tocar", "sentir", etc.) y reaccionar de acuerdo con unos comportamientos más o menos sofisticados e interactuar con otros robots o seres humanos ya sea mediante la palabra o el gesto.

25 Dicho robot puede estar específicamente diseñado para interacciones humanas. Sin embargo estas acciones que incluyen reconocimientos faciales y emociones, así como gestos y diálogos, son UCPs intensivas en alto grado. Estas interacciones son el núcleo de los robots humanoides. Por tanto, un problema que los diseñadores de robots tienen que resolver es diseñar todas las demás funciones del robot para operar con el uso de UCPs lo más reducido posible. Estas otras funciones incluyen especialmente la localización, la evitación de colisiones y la detección de obstáculos, las cuales tienen que ser ejecutadas continuamente desde el momento que el robot es energizado.

30 El tamaño del mapa del entorno utilizado por el robot en las técnicas SLAM aumenta cuando el robot descubre una nueva parte de su entorno. Dado que las técnicas SLAM utilizan todas las partes conocidas del entorno para calcular la posición del robot, es casi imposible proporcionar un límite superior a una complejidad de detección de los obstáculos y, por tanto, la utilización de una UCP que utilice una técnica SLAM en un entorno con un tamaño desconocido. Además, las implementaciones SLAM utilizan técnicas de UCP intensiva, por ejemplo unas matrices de covariancia para EKF-SLAM (o SLAM de Filtro Kalman Extendido). Las técnicas SLAM estiman la posición del robot así como la posición de un conjunto de puntos de referencia. A medida que el robot descubre su entorno, añade nuevos puntos de referencia a este conjunto en la técnica EKF-SLAM cada nuevo punto de referencia es añadido a un vector de estados y a una matriz de covariancia. Por tanto, un entorno grande con un número de puntos de referencia potenciales puede provocar una complejidad muy elevada. Por tanto, el uso de las técnicas SLAM puede traducirse en un uso de la UCP crítico para la sola localización de una detección de obstáculos, poniendo en peligro la disponibilidad de la UCP para interacciones humanas. Por otro lado, las técnicas SLAM están diseñadas para localizar un robot en un mundo estático que utilice puntos de referencia estáticos. Por tanto, resulta ineficaz para detectar obstáculos móviles. C.-C. Wang divulgó un procedimiento para utilizar simultáneamente el SLAM y el Rastreo de Objetos Móviles (MOT) en "Localización simultánea, cartografiado y rastreo simultáneo de objetos móviles". Sin embargo, la técnica básicamente consiste en la ejecución simultánea de las técnicas SLAM y MOT para solventar la limitación SLAM, añadiendo así una complejidad adicional.

35 La solicitud de Patente europea EP 2933604 A1, con arreglo al apartado 3 del Artículo 54 del CPE, divulga un procedimiento para localizar un robot en un plano de localización que conduce a una localización precisa de un robot con una utilización reducida de la UCP en comparación con la técnica SLAM.

55 Dicho procedimiento resuelve el problema de la localización del robot pero persiste la necesidad de detectar los obstáculos con suficiente fiabilidad y evitar la colisión, al tiempo que es una UCP al menos compleja e intensiva.

El documento US 2014/14289 A1 muestra un procedimiento y un robot en los que una red de suministro eléctrico de ocupación estocástica es inicializado y actualizado utilizando un factor de olvido y un estado (ocupado / libre) de cada punto obtenido por un sensor de escaneo, representando cada célula de la red la probabilidad de la presencia de un obstáculo en la red.

5 El documento US 20014/142891 A1 muestra un procedimiento y un robot en los que los valores actuales en una red de ocupación se efectúan para disminuir exponencialmente con el tiempo y una nueva información es ponderada con respecto a la información antigua. En una forma de realización, la representación de la red de ocupación es utilizada para la integración, combinado múltiples lecturas procedentes de múltiples sensores en múltiples emplazamientos dentro de una representación a base de una única red.

10 PATHAK K ET AL " Modelo de sensores directos y aplicación a una fusión de sensores en base a una red de ocupación", INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS, 2007, IROS 2007, IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, UN, USA, 29 de octubre de 2007, páginas 2059 - 2064, ISBN: 978-1-4244-0911-2, muestra un procedimiento y un robot en los que un mapa de probabilidad de ocupancia es actualizado cada vez que unos datos nuevos son devueltos por un sensor, y unos datos procedentes de diferentes sensores son fusionados en una red de ocupación centrada alrededor de unas posición y orientación determinadas del robot.

Sumario de la invención

Con este fin, la invención divulga un procedimiento para determinar, mediante un ordenador de a bordo de un robot autónomo, un mapa de píxeles de la probabilidad de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en el entorno del robot, estando dicho procedimiento caracterizado porque comprende las etapas de inicialización, en una memoria de a bordo del robot, de un mapa inicial definido alrededor de dicho robot y sustancialmente fijado a dicho robot, presentando dicho mapa unos límites predefinidos y estando pavimentado por unos píxeles de una dimensión predefinida, donde un valor de una probabilidad de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en cada píxel se establece en un valor predefinido; la adquisición por al menos un procedimiento de detección, de datos representativos de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en el entorno del robot; la aplicación de forma simultánea a los procedimientos de los mapas iniciales para al menos actualizar unos valores de probabilidades de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en al menos un píxel del mapa inicial de dichos datos; la modificación de las probabilidades al menos una entre la ausencia o la presencia de obstáculo de observaciones precedentes en un valor más próximo a un valor predefinido.

De modo ventajoso, el mapa inicial permanece estático en una trama de referencia fija siempre que el robot permanezca dentro de un número de píxeles predeterminado, y se desplace con el robot cuando el robot se salga de este número predeterminado de píxeles.

De modo ventajoso, los límites del mapa inicial están predefinidos en función de las dimensiones de un área en la que dicho robot puede enfrentarse a amenazas inmediatas de colisión.

De modo ventajoso, la dimensión predefinida de un píxel se selecciona en función de una distancia de evitación de colisión.

De modo ventajoso, el mapa inicial define un cuadrado.

De modo ventajoso, el valor predefinido en el procedimiento de fabricación de las probabilidades de una entre la presencia y la ausencia de obstáculos de observaciones precedentes y para la inicialización del mapa es la media del valor que representa una presencia de obstáculo que es cierta y el valor representa una ausencia de obstáculo que es cierta.

De modo ventajoso, los mapas de probabilidad de ausencia son calculados, de manera que la probabilidad de ausencia de un obstáculo es un número entre 0 y 1, de manera que 0 representa una presencia de obstáculo que es cierta, 1 una ausencia de obstáculo que es cierta y 0,5 es una presencia de obstáculo desconocida.

De modo ventajoso, un umbral $T_{s_{obs}}$ para delimitar píxeles de obstáculo y desconocidos se conoce como un número en el intervalo $[0; 0,5]$ y un umbral $T_{s_{free}}$ para delimitar píxeles libres de obstáculo y desconocidos se define como un número en el intervalo $[0,5; 1]$.

De modo ventajoso, una relación de evolución temporal, R_{temp} para modificar las probabilidades de ausencia de obstáculo se define de acuerdo con dicho umbral de obstáculo y un tiempo predefinido de convergencia T_{conv} mediante la fórmula: $R_{temp} = \exp(\ln(1 - 2,0 * T_{s_{obs}}) (T_{conv} * \text{frecuencia de actualización}))$.

De modo ventajoso, el procedimiento de modificación de las probabilidades de ausencia de obstáculo de las observaciones precedentes utiliza una ley de distribución geométrica para calcular el valor de cada píxel de acuerdo con su valor en el mapa precedente, y utiliza la fórmula: $VC_{320} = R_{temp} * (VC_{310} - 0,5) + 0,5$, en el que VC_{320} es un valor modificado del píxel y VC_{310} su valor precedente. Una pluralidad de mapas iniciales es inicializada para una pluralidad de procedimientos de detección complementarios, y la pluralidad de mapas son fusionados simultáneamente en un mapa fusionado.

5 De modo ventajoso, la fusión de la pluralidad de mapas iniciales se satisface: cada píxel cuya probabilidad de ausencia de obstáculo está por debajo del umbral $T_{s_{obs}}$ del al menos uno de los mapas iniciales es un obstáculo en el mapa fusionado; cada píxel que no es un obstáculo en el mapa fusionado y cuya probabilidad de ausencia de obstáculo está por encima de un umbral de $T_{s_{free}}$ en al menos uno de los mapas iniciales es un píxel libre de obstáculos en el mapa fusionado.

10 De modo ventajoso, la fusión de una pluralidad de mapas iniciales comprende la etapa de generar un primer mapa prefusionado y un segundo mapa prefusionado; el establecimiento del valor de la probabilidad de ausencia de obstáculo en un píxel de un primer mapa prefusionado como el mínimo de los valores de la probabilidad de ausencia en el mismo píxel de la pluralidad de mapas iniciales; el establecimiento del valor de la probabilidad de ausencia de obstáculo en un píxel del segundo mapa prefusionado en el máximo de los valores de probabilidad de ausencia en el mismo píxel de la pluralidad de mapas iniciales; el establecimiento del valor de la probabilidad de ausencia de obstáculo en un píxel del primer mapa cuyo valor está por debajo del umbral del obstáculo $T_{s_{obs}}$ en 0; el establecimiento del valor de la probabilidad de ausencia de obstáculo en un píxel del primer mapa prefusionado cuyo valor está por encima del valor de obstáculo $T_{s_{obs}}$ en 1; el establecimiento del valor de la probabilidad de ausencia de un obstáculo en un píxel del mapa fusionado (360) en el mínimo del valor de probabilidad de ausencia en el mismo píxel del primero y segundo mapas prefusionados.

De modo ventajoso, cada mapa entre la pluralidad de mapas iniciales es actualizado utilizando los datos adquiridos a partir de diferentes conjuntos de sensores, grupos de sensores que observan el mismo tipo de obstáculos.

20 De modo ventajoso un primer conjunto de sensores agrupa unos sensores láser de a bordo del robot; un segundo conjunto de cámaras 3D de sensores de a bordo del robot; un tercer conjunto de sensores agrupa unos sensores ultrasónicos de a bordo del robot; un cuarto conjunto de sensores agrupa unos sensores de contacto de a bordo del robot.

25 De modo ventajoso, la etapa de adquisición, por al menos un procedimiento de detección, de datos representativos de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en el entorno del robot comprende al menos: la adquisición de valores de datos brutos a partir de un sensor; la creación de una transformación de sensor 6D asociada con el sensor que utiliza un modelo de articulación cinemática de robot y unos sensores articulares angulares; la utilización de dicha transformación de sensor 6D y de dichos datos brutos para crear un conjunto de puntos 3D que representan los obstáculos observados por el sensor.

30 De modo ventajoso, la actualización de los valores de probabilidades de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo de al menos un píxel en el mapa inicial comprende al menos: el llenado de al menos un píxel 2D donde al menos un punto 3D es encontrado con un valor representativo de una presencia de un obstáculo que es cierta; el llenado de cada línea entre dicho al menos un píxel y la posición del sensor con un valor representativo de una ausencia de obstáculo que es cierta.

35 La invención también divulga un robot autónomo que comprende al menos una pluralidad de sensores de distancia; un modelo de articulación cinemática de robot; una memoria de a bordo para almacenar un mapa inicial definido alrededor del robot, que incorpora unos límites definidos y que está alimentado por píxeles de una dimensión predeterminada, donde un valor de probabilidad de al menos una entre la presencia y la ausencia de un obstáculo es almacenada; un módulo para inicializar dicho mapa mediante el establecimiento del valor de cada píxel en un valor predefinido; un módulo para adquirir, a partir de al menos uno de dichos sensores de distancia direccionales, datos representativos de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en el entorno del robot; un módulo para aplicar simultáneamente a dicho mapa los procedimientos para al menos: actualizar los valores de probabilidades de al menos uno entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en al menos un píxel del mapa inicial a partir de dichos datos; la modificación de las probabilidades de ausencia o presencia de obstáculos de observaciones precedentes en un valor más próximo a un valor predefinido.

45 La invención también divulga un producto de programa de ordenador, almacenado en un medio legible por ordenador, que comprende unos medios de código para provocar que el ordenador implemente el procedimiento de determinar un mapa de píxeles de la probabilidad de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en el entorno del robot, estando el producto de programa de ordenador caracterizado porque comprende al menos un módulo para inicializar, en una memoria, un mapa inicial definido alrededor de un robot autónomo y fijado a dicho robot, presentando dicho mapa unos límites predefinidos y estando pavimentados por píxeles de una dimensión predefinida, donde un valor de una probabilidad de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en cada píxel se establece en un valor predefinido; un módulo para adquirir, por un procedimiento de detección de un primer tipo, datos representativos de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en el entorno del robot; un módulo para aplicar simultáneamente a los procedimientos de mapas iniciales para al menos: actualizar los valores de probabilidades de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en al menos un píxel del mapa inicial a partir de dichos datos; modificar las probabilidades de una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo de observaciones precedentes en un valor más próximo a un valor predefinido.

La invención divulga un procedimiento para construir un mapa con todas las amenazas y obstáculos en el entorno próximo de un robot autónomo. Esto puede esencialmente, pero no únicamente, ser utilizado para la evitación de colisión. También puede ser utilizado para el cálculo de las trayectorias.

5 Un procedimiento de acuerdo con la invención presenta una utilización de la UCP muy baja. En efecto, opera sobre mapas de píxeles con un número de píxeles limitado y constreñido, utilizando simples operaciones como comparaciones de valores de píxeles y llenado.

Así mismo presenta una huella de memoria muy baja, debido al número y al tamaño limitado de los mapas. Además, la huella de memoria de un procedimiento de acuerdo con la invención está limitada.

La invención también detecta la aparición y desaparición de obstáculos móviles sin ninguna complejidad adicional.

10 En una pluralidad de formas de realización, la invención también aprovecha todo tipo de sensores de un robot para utilizar una petición más precisa de todo tipo de obstáculos.

Por tanto, un procedimiento de acuerdo con la invención detecta obstáculos con una fiabilidad suficiente para controlar la seguridad tanto del robot como del entorno (gente, objetos circundantes ...), ahorrando al tiempo la UCP y la memoria para la interacción humana de un robot humanoide.

15 **Breve descripción de los dibujos**

La invención se comprenderá de forma más completa y sus diversas características y ventajas surgirán de la descripción subsecuente de una pluralidad de formas de realización ejemplares y de sus figuras adjuntas, en las cuales:

- 20 - la Figura 1 muestra una arquitectura física de un robot humanoide en una pluralidad de formas de realización de la invención;
- la Figura 2 muestra una arquitectura funcional de los módulos software del robot en una pluralidad de formas de realización de la invención;
- la Figura 3 muestra un diagrama de flujo global para una pluralidad de formas de realización de la invención;
- 25 - la Figura 4 muestra un diagrama de flujo para la actualización de un mapa de familias de sensor con una observación desde un sensor en una pluralidad de formas de realización de la invención;
- la Figura 5 proporciona un ejemplo de un área de píxeles en la que los mapas son calculados en una pluralidad de formas de realización de la invención;
- la Figura 6 proporciona un ejemplo de la evolución temporal de probabilidad de ausencia de obstáculo de una pluralidad de formas de realización de la invención;
- 30 - la Figura 7 muestra un ejemplo de familias de sensor, inicializado con una probabilidad desconocida y actualizada con una única observación de sensor en una pluralidad de formas de realización de la invención;
- las Figuras 8a, 8b, 8c, 8d muestran la evolución de un mapa de familias de sensor con las observaciones actualizadas simultáneas y antiguas y las modificaciones de píxeles de acuerdo con nuevas observaciones en una pluralidad de formas de realización de la invención;
- 35 - las Figuras 9a, 9b, 9c proporcionan un ejemplo de fusión de una pluralidad de mapas de familias de sensor, en una pluralidad de formas de realización de la invención.

Descripción detallada de la invención

La figura 1 muestra una arquitectura física de un robot humanoide en una pluralidad de formas de realización de la invención.

40 El robot 100 específico de la figura es tomado, como ejemplo únicamente, de un robot humanoide en el que la invención puede ser implementada. El miembro inferior del robot de la figura no es funcional para caminar, sino para desplazarse en cualquier dirección sobre su base 140 que se desliza sobre la superficie sobre la cual discurre. La invención puede ser fácilmente implementada en un robot que está indicado para caminar, por ejemplo como un robot Nao™. A modo de ejemplo, este robot tiene una altura 110 que puede oscilar entre 120 cm, una profundidad 45 120 de alrededor de 65 cm y una anchura 130 de alrededor de 40 cm. En una forma de realización específica, el robot de la invención incorpora una tableta 150 con la cual puede comunicar mensajes (audio, video, páginas web) a su entorno, o recibir entradas de usuarios a través de la interfaz táctil de la tableta. Además del procesador de la tableta, el robot de la invención también utiliza el procesador de su propia tarjeta madre, la cual puede, por ejemplo, ser una ATOM™ Z530 de Intel™. El robot de la invención también incluye, de modo ventajoso, un procesador que 50 está dedicado para la gestión de los flujos de datos entre la tarjeta madre y, especialmente, las tarjetas que soportan

los Codificadores Rotatorios Magnéticos (MREs) y unos sensores que controlan los motores de las articulaciones en un miembro y las bolas que el robot utiliza como ruedas, en una forma de realización específica de la invención. Los motores pueden ser de tipos diferentes, dependiendo de la magnitud del par de torsión máximo que se necesita para definir una articulación. Por ejemplo, los motores sin núcleo de cc de escobillas a partir de e-minebea™ (SE24P2CTCA, por ejemplo) pueden ser utilizados, o unos motores de cc de Maxon™ (EC45_70W, por ejemplo). Los MREs son, de modo preferente, de un tipo que utiliza el efecto Hall, con una precisión de 12 o 14 bits.

En formas de realización de la invención, el robot mostrado en la figura 1 comprende también diversos tipos de sensores. Algunos de ellos son utilizados para controlar la posición y 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 también incluir dos cámaras 160 RGB de color 2D sobre la frente del robot (superior e inferior) del tipo Sistema Intra Chip (SOC), como los de la Shenzhen V-Vision Technology Ltd™ (OV5640), con una resolución de 5 megapíxeles en 5 tramas por segundo y un campo de visión (FOV) de aproximadamente 57° horizontal y 44° vertical. Un sensor 3D 170 puede también estar incluido detrás de los ojos del robot, por ejemplo un sensor ASUS XTION™ SOC con una resolución de 0,3 megapíxeles en 20 tramas por segundo, con aproximadamente el mismo FOV en las cámaras 2D. El robot de la invención puede también estar equipado con unos generadores de líneas láser por ejemplo tres en la cabeza 180a y tres en la base 180b, para poder detectar su posición relativa con respecto a objetos, seres de su entorno. El robot de la invención puede también incluir unos micrófonos capaces de detectar sonidos en su entorno. En una forma de realización, pueden implantarse sobre la cabeza del robot cuatro micrófonos con una sensibilidad de 300 mV/Pa +/- 3 dB a 1 kHz y una banda de frecuencias de 300 Hz a 12 kHz (-10 dB con respecto a 1 kHz) pueden ser implementados en la cabeza del robot. El robot de la invención puede también incluir dos sensores 190 de sonar, posiblemente situados en la parte delantera y la parte trasera de su base, para medir la distancia a los objetos / seres humanos de su entorno.

El robot puede también incluir unos sensores táctiles en la cabeza y en las manos, para posibilitar la interacción con seres humanos. También puede incluir unos amortiguadores 1B0 sobre la base para detectar los obstáculos que encuentre en su camino.

El robot puede también detectar el contacto de sus miembros superiores con objetos que toquen calculando una diferencia entre una trayectoria planeada y una trayectoria real.

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

- Unos LEDs, por ejemplo en los ojos, oídos y hombros;
- Unos altavoces, por ejemplo dos, situados en los oídos,

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

El robot de la invención puede ser energizado por una batería - Litio de Ferrofosfato con una energía de aproximadamente 400 Wh. El robot puede acceder a una estación de carga acoplada para el tipo de batería que incluya.

La Figura 2 es un diagrama de una arquitectura física y funcional que permite la implementación de la invención en varias de sus formas de realización.

Un robot como por ejemplo un NAO está, de modo ventajoso, dotado de un software de alto nivel que permite el pilotaje de las funciones del robot en una forma de realización de la invención. Una arquitectura software de este tipo es apodada NAOQI, ha sido divulgada especialmente en la solicitud de patente WO 2009/124955, publicada el 15/10/2009. Comprende las funciones básicas para la gestión de las comunicaciones entre un robot y un PC o un emplazamiento remoto y el intercambio de software que proporciona la infraestructura software necesaria para la implementación de la presente invención.

La NAOQI es un marco optimizado para aplicaciones robóticas; soporta diversos lenguajes, especialmente C++, Python y Urbi.

Dentro del contexto de la presente invención, los siguientes módulos de NAOQI son particularmente útiles:

- el módulo ALMemory 210, gestiona una memoria compartida entre diversos módulos NAOQI;
- el módulo DCM, 220 gestiona las comunicaciones con el robot físico (motores, sensores);
- el módulo ALMotion, 230 calcula los movimientos de diversas partes del robot y, por tanto, las posiciones / orientaciones de los sensores en una trama de referencia;

Estos tres módulos son, de modo ventajoso, codificados en C++. La figura también indica los datos que fluyen entre los módulos.

En particular, las entradas necesarias para la implementación del mapa de probabilidad de una entre las funciones de presencia y ausencia de obstáculos son:

- los valores de los sensores (sensores de la fuerza de presión de los pies, láser, sensor ultrasónico, por ejemplo);
- 5 - postura del robot;

A intervalos de tiempo regulares, la función de construcción del mapa de ausencia de obstáculos actualiza sus mapas de probabilidad de una entre la ausencia y la presencia de obstáculos. Para hacer esto, capta unos valores de los sensores a partir del módulo 220 DCM, y los valores de postura del robot a partir del módulo 230 ALRobotPosture.

10 La Figura 3 muestra un diagrama de flujo global para una pluralidad de formas de realización de la invención.

En una pluralidad de formas de realización de la invención, los sensores son agrupados en familias de sensor. Cada familia de sensor puede comprender uno o más sensores. De modo ventajoso, los sensores de cada familia comprenden unos sensores diseñados para observar el mismo tipo de obstáculos. Por ejemplo el robot 100 puede comprender un sensor 170 de cámaras 3D, una segunda familia con tres generadores 180a de líneas láser y tres generadores 180b de líneas láser, una tercera familia con dos sensores 190 sonar, y una cuarta familia con sensores táctiles, amortiguadores 1B0 y cualquier sensor que detecte el contacto, incluyendo un sensor lógico que detecte el contacto por medio del cálculo de una diferencia entre la trayectoria planeada y la real.

En los ejemplos posteriores, son calculados los mapas de probabilidad de ausencia de obstáculos, con una gama de [0; 1], de manera que una probabilidad de 1 indica una ausencia de obstáculo que es cierta, una probabilidad de 0 una presencia de obstáculo que es cierta, y 0,5 una probabilidad desconocida de ausencia de obstáculo. La invención no está limitada a dichos ejemplos y representaciones de probabilidades, y es una tarea inmediata directa para el experto para encajar la invención con otra representación de obstáculos. Por ejemplo, en su lugar pueden ser calculados mapas de probabilidad de presencia de obstáculos, en los que uno represente una presencia de obstáculo que sea cierta, y 0 una ausencia de obstáculo que sea cierta. El intervalo [0; 1] de probabilidad puede ser sustituido por un porcentaje, un estado de ocupación con un valor discreto, un valor booleano que represente una presencia o ausencia de obstáculo, o cualquier otra escala que represente la presencia o ausencia de obstáculo.

A partir de cualquier familia de sensores se crea un mapa de familias de sensor (310, 320, 330, 340). En el resto de la descripción, un mapa de familias de sensor puede ser designada como "mapa de familias de sensor" o "mapa inicial". Se forma 360 un mapa fusionado fusionándose las informaciones procedentes del mapa 340, 350 de la familia de sensores. Cada uno de estos mapas es fijado al robot, y presenta un tamaño y una dimensión de píxeles predefinidos. En una pluralidad de formas de realización de la invención, todos los mapas tienen el mismo tamaño, dimensión y origen de píxeles. Por tanto, los píxeles con unas coordenadas determinadas representan el mismo área en cada mapa, que efectúa las comparaciones y operaciones entre los píxeles del mapa de una manera muy fácil. Por lo demás, las referencias a la figura 3 indicarán tanto el procedimiento como el mapa que se crea o modifica al final del procedimiento. Por ejemplo, 330 puede designar el procedimiento de actualización de un mapa de familias de sensor así como el mapa que ha sido actualizado. La dimensión de píxeles predefinida puede establecerse en un valor que sea una función de distancia de tope mínima del robot, al desplazarse a su velocidad más lenta, por ejemplo 10 cm, de manera que, cuando un obstáculo es detectado dentro del píxel más próximo el robot esté en una posición de parada. La dimensión del mapa puede entonces determinarse en función de un límite establecido con respecto a la capacidad de procesamiento utilizada por el procedimiento de la invención, por ejemplo 30 x 30 (900) píxeles del tamaño predeterminado de 10 cm, lo que proporciona una dimensión predefinida del mapa de 3 m, y una distancia de 1,05 m. entre el robot y los límites del mapa. La dimensión predefinida del mapa puede también determinarse en primer término como una función de los posibles obstáculos del entorno del robot y, a continuación, o bien del número de píxeles o de su tamaño, o una combinación de ambos puede determinarse en función de la capacidad de procesamiento que debe ser asignada al procedimiento de la invención. Estas componentes pueden determinarse por el experto en la materia y a continuación programarse en un módulo software del robot, utilizando procedimientos conocidos por el experto en la materia.

Los mapas 340 y 350 de las familias de sensor, y el mapa 360 de fusión son actualizados de forma regular. En el robot 300, una Cámara 170 3D, un generador 180a y 180b de líneas láser y unos sensores 190 de sonar generan mediciones de su propia frecuencia. De modo ventajoso, los mapas de familias de sensor y el mapa fusionado son actualizados a la frecuencia más baja a partir de todos los sensores. En una forma de realización, los sensores y los mapas son actualizados en 10 fps. Esta frecuencia puede ser designada como "frecuencia de actualización". Este ejemplo no es limitativo, y podría escogerse cualquier frecuencia de actualización, y la antigua medición podría utilizarse a partir de cualquier sensor si no existe ninguna nueva medición disponible para una frecuencia de actualización.

En cada actualización, un mapa 340 de familias de sensores es producido para cada familia de sensores utilizando un mapa precedente para esta familia de sensores 310 así como nuevas observaciones 331, 332 a partir de sensores que pertenezcan a esta familia. En la etapa 320 se aplica un procedimiento para actualizar valores de

píxeles del mapa 310 precedente. En el ejemplo, dicho procedimiento sitúa los valores de cada píxel más próximos al valor 0,5 proporcionando así menos valía a las observaciones precedentes. Al final de este procedimiento, el mapa 310 precedente es transformado en un mapa de familias de sensor con una confianza 320 reducida. El mapa con la confianza 320 reducida es a continuación en la etapa 330, actualizada con nuevas observaciones a partir de los sensores 331 y 332. Este procedimiento de actualización llena cada píxel donde el sensor ha observado una ausencia de obstáculo con probabilidad de ausencia de obstáculo de 1, y cada píxel donde el sensor ha observado una presencia de obstáculo por una probabilidad de ausencia de obstáculo de 0. Una vez que el mapa 320 ha sido actualizado con observaciones procedentes de cada sensor que pertenece a su familia de sensores, es transformado en un mapa 340 de familias de sensor que contiene todas las informaciones disponibles en el momento procedentes de una familia de sensores.

En una pluralidad de formas de realización, los sensores del robot tienen diferentes grados de fiabilidad. Por ejemplo un robot más antiguo puede ser considerado como menos fiable que uno más reciente. Las informaciones acerca de la fiabilidad de las observaciones, por ejemplo, son añadidas durante la actuación 330 a los píxeles de actualización. Esto puede llevarse a cabo estableciendo un valor más próximo a 0,5 para un sensor menos fiable, o añadiendo informaciones de fiabilidad además de la probabilidad de ausencia de obstáculo. La fiabilidad también puede establecerse en función del tipo de sensor, dependiendo de la distancia sobre el entorno del robot. A modo de ejemplo, como conoce el experto en la materia, los generadores de líneas láser son más propensos a errores en un entorno en el que hay una pluralidad de obstáculos evidentes. A la inversa, en este tipo de entorno, los sensores de sonar serán más fiables.

Para la primera ejecución del procedimiento global, el mapa 310 es inicializado en la memoria con valor predefinido. En una forma de realización preferente, dicho valor predefinido indica una presencia de obstáculo desconocida. En el ejemplo, el mapa 310 es inicializado con un valor de 0,5 en todos sus píxeles, en la primera ejecución del proceso. Para todas las ejecuciones, el mapa 310 es el mapa 340 de las familias de sensor que ha sido generado durante la actualización precedente. En el caso de que la posición del robot modificada, los píxeles del mapa pueden ser trasladados. Esto puede suceder cuando el robot ya no es el centro del mapa. Por ejemplo, los píxeles del mapa pueden ser trasladados si al principio del procedimiento, el robot está alejado pocos píxeles del centro del mapa, o si su distancia desde el centro del mapa está próxima a la dimensión del robot. También es posible trasladar los píxeles si el robot está alejado del centro del mapa por encima de un valor predefinido, por ejemplo, 30 cm. En caso de traslación, el origen del mapa es desplazado por un número entero de píxeles en la dirección horizontal y / o vertical o en la dirección del movimiento del robot. Así, los valores de todos los píxeles son desplazados en esa dirección, por ejemplo, si el robot está a 30 cm por encima del centro del mapa, y el tamaño de los píxeles es de 10 cm, la posición del mapa puede ser desplazada 30 cm en la parte superior del eje geométrico vertical en el referencial fijo, y el valor de cada píxel puede establecerse en el valor del píxel precedente que fue situado 3 píxeles por debajo. Todos los píxeles situados en el límite del mapa donde no se encontraba ningún valor precedente en el mapa anterior se establecen en el valor 0,5 desconocido.

En cada actualización, los mapas 340 y 350 de familias de sensor son fusionados para crear un mapa 360 fusionado. En una pluralidad de formas de realización de la invención, este procedimiento de fusión es diseñado para mantener los obstáculos detectados por al menos una de las familias de sensor. El mapa 360 fusionado contiene todas las informaciones procedentes de las informaciones precedentes, y nuevas observaciones para cada sensor para cada familia de sensores. Por tanto, es posible utilizarlo en aplicaciones que necesiten la descripción más completa de la ausencia de obstáculos, como por ejemplo el cálculo de las trayectorias.

La figura 4 muestra un diagrama de flujo para la actualización de un mapa de familias de sensor con una observación a partir de un sensor en una pluralidad de formas de realización de la invención.

Cada sensor proporciona unos datos 400 brutos que representan su tipo de observación. Por ejemplo, los sensores 180a y 180b láser proporcionan la distancia de la superficie no transparente más próxima en la dirección que están encarando mientras que los amortiguadores 1B0 indican la aparición de un contacto en su emplazamiento.

La posición y orientación 3D de un sensor se deducen utilizando un modelo 410 de articulación cinemática de Robot y unos sensores 420 angulares de la articulación, que contiene las informaciones acerca de la localización y la orientación 6D del sensor en el sistema de coordenadas del robot, y la localización y orientación 6D del robot es un sistema de coordenadas fijo. Esta información permite la creación de una transformación 430 de sensores 6D que traslada los puntos 3D detectados por el sensor en un conjunto de puntos 3D 440 expresados en el sistema de coordenadas fijo. Por ejemplo, un obstáculo que ha sido observado a una distancia de 3 metros desde un sensor 180a láser puede ser fácilmente localizado en un sistema de coordenadas 3D fijo con el conocimiento del modelo 410 de articulación cinemática del robot y unos sensores 420 de articulación angulares que indiquen la posición relativa del sensor en el sistema de coordenadas del robot. En otro ejemplo si uno de los amortiguadores 1B0 ha detectado la dirección de un contacto, un punto 3D representa un obstáculo que puede ser situado en el emplazamiento exacto en 3D del amortiguador utilizando el modelo 410 del robot y los sensores 420 de articulación.

Finalmente un modelo 450 de sensor es utilizado para actualizar el mapa de las familias de sensor durante la etapa 330 utilizando unos puntos 440 en 3D. Por ejemplo, el modelo para los sensores 180a láser pueden trasladar el hecho de que un obstáculo ha sido observado a la distancia devuelta por el sensor láser en su orientación, y ningún

obstáculo ha sido observado entre el sensor láser y este obstáculo. Por tanto, el obstáculo de los puntos 3D por un sensor láser puede actualizar el mapa 330 de las familias de sensor estableciendo en primer término en el mapa 330 una probabilidad de ausencia de obstáculo de 0 en el píxel situado en este punto 3D en el sistema de coordenadas fijo, y establecer una probabilidad de ausencia de obstáculo en 1 en todos los píxeles situados en la línea entre el punto 3D y el sensor láser en el sistema de coordenadas fijo. En un ejemplo que utiliza el sensor 180a de amortiguador, si existe un punto 3D, un obstáculo puede ser situado estableciendo la probabilidad de ausencia del obstáculo en 0 en el píxel del mapa 330 en el que el punto 3D esté situado. Si no existe ningún punto 3D para este sensor, no se produce ningún contacto en su posición. Por tanto, es posible actualizar el mapa estableciendo la probabilidad de ausencia del obstáculo en 1 en el píxel donde el sensor del amortiguador esté situado en el mapa 330

La figura 5 proporciona un ejemplo de área de píxeles donde los mapas son calculados en una pluralidad de formas de realización de la invención.

El cuadro 500 representa los límites del entorno en el que el robot evoluciona. Este entorno puede ser una única habitación. El robot 100 está situado en la posición 520. En una pluralidad de formas de realización, este área está diseñada para cubrir todas las áreas en las que el robot puede hacer frente a una amenaza inmediata de colisión con un obstáculo.

De modo ventajoso, los mapas son calculados en un área 510 cuadrada sustancialmente centrada sobre la posición del robot 520. Aunque el mapa permanece sustancialmente fijado al robot durante todo el proceso, la posición del robot 520 puede ser ligeramente diferente respecto del centro del mapa. En efecto, el mantenimiento de una posición del robot precisamente en el centro del mapa implicaría la traslación de los píxeles del mapa 310 precedente en un círculo muy próximo sin desplazamientos de píxeles no enteros, lo que no sería deseable. Por tanto, el robot está situado cerca del centro del mapa 510 y el mapa es trasladado con el fin de que el centro del mapa esté próximo a la posición del robot 520 al principio de cada ciclo en el que la posición 520 del robot está más alejada que una distancia predefinida desde el centro del mapa.

La anchura 530 de la dimensión 540 de los píxeles del mapa 510 son un compromiso entre el tamaño del mapa y la complejidad computacional. En una pluralidad de formas de realización, la dimensión de los píxeles es una función de una distancia de evitación de colisión. Puede ser una función de la distancia mínima para detectar obstáculos y parar el robot. En una pluralidad de formas de realización, esta distancia mínima es pocas veces menor que la dimensión más pequeña del robot. Por ejemplo, una dimensión 540 de los píxeles de 10 cm puede definirse para el robot 100. Utilizando dicha dimensión de píxeles, el robot ocupa la superficie de pocos píxeles. Por tanto, la dimensión 540 de los píxeles es suficiente para una detección precisa para los obstáculos para este tipo de robot, limitando al tiempo el número de píxeles. La anchura 530 del mapa debe ser diseñada para cubrir áreas en las que el robot pueda hacer frente a una amenaza de colisión inmediata, mientras no sea demasiado grande para reducir la carga computacional. Esto puede ser diseñado para cubrir toda el área en el que el robot puede estar situado en pocos segundos a una velocidad máxima. Esta anchura 530 así como la dimensión 540 de los píxeles puede también ser predefinida para un modelo de robot o por un revendedor del robot para adaptarse a la aplicación específica del robot. En el ejemplo, la dimensión de los píxeles se define en 10 cm y el tamaño del mapa en 1,5 m x 1,5 m, lo que representa un área de píxeles de 30 x 30. Por tanto, con la definición adecuada de la dimensión 540 y la anchura 530 de los píxeles, el cálculo de la probabilidad de ausencia de obstáculo en este área es suficiente para evitar obstáculos limitando al tiempo el tamaño de los mapas y, por tanto, la utilización de la UPC y la memoria. A diferencia de las técnicas SLAM, el cálculo de los obstáculos de la invención solo se produce para un área limitada y un número limitado de valores, lo que reduce la UPC y la huella de memoria del cálculo de la presencia de obstáculos. Además, proporciona un área limitada a diferencia de las técnicas SLAM..

La figura 6 proporciona un ejemplo de la evolución temporal de probabilidad de ausencia de obstáculo en una pluralidad de formas de realización de la invención.

El mapa de las familias de sensor con confianza 320 reducida se crea utilizando el mapa 310 de la familia de sensores precedente. A este efecto, todos los píxeles del mapa 310 donde se ha detectado previamente un obstáculo (probabilidad de ausencia de obstáculo $< 0,5$) presenta incrementada su probabilidad de ausencia de obstáculo, mientras que los píxeles en los que se ha detectado una ausencia de obstáculo (probabilidad de ausencia de obstáculo $> 0,5$) presentan rebajada su probabilidad de ausencia de obstáculo. El gráfico 600 muestra un ejemplo de evolución de probabilidad de ausencia de obstáculo a lo largo de actualizaciones sucesivas para un píxel cuyo valor no está actualizado por nuevas actualizaciones. El eje geométrico 610 vertical muestra la ausencia de un obstáculo, entre 0 y 1. El eje geométrico 620 horizontal muestra el número de actualizaciones sucesivas. La doble flecha 630 representa el número máximo de actualizaciones necesario para que cualquier píxel de obstáculo tenga la probabilidad de ausencia de obstáculo por encima $T_{s_{obs}}$. Y por tanto, ser considerado como una llamada desconocida. La línea 640 representa un ejemplo de la evolución de la ausencia de obstáculo para un píxel cuya probabilidad original es 1. La línea 650 representa un ejemplo de la evolución de la probabilidad de ausencia de obstáculo para un píxel cuya probabilidad original es 0. La línea 660 representa la línea por encima de la cual el valor de un píxel es considerado como un obstáculo libre, si el valor de umbral $T_{s_{free}}$ libre de obstáculos está ligeramente por debajo de 0,5 por ejemplo de 0,6. La línea 670 representa la línea por debajo de la cual el valor de

un píxel es considerado como un obstáculo, si el valor de un umbral $T_{s_{obs}}$ está ligeramente por debajo de 0,5, por ejemplo es de 0,4.

Las probabilidades de ausencia de obstáculo siguen una ley de distribución geométrica para converger de 0 a 1 hasta el valor 0,5. Un tiempo predefinido de convergencia $T_{s_{conv}}$ representa el tiempo para que cualquier obstáculo sea considerado como uno desconocido. Este tiempo debe ser un compromiso entre la capacidad para no considerar un píxel como obstáculo si ninguna nueva observación ha observado un obstáculo en aquél, y la seguridad del robot. Su valor puede establecerse de acuerdo con parámetros tales como la velocidad del robot o la frecuencia de actualización de los sensores. Puede ser fijado para un modelo de robot, o puede establecerse por un revendedor de un robot de manera que sea optimizado para una finalidad específica. En el ejemplo, la $T_{s_{conv}}$ se establece en 5 s. El número máximo de actualizaciones 630 iguala de esta manera la $T_{s_{conv}}$, expresada en segundos que multiplican la frecuencia de actualización expresada en el número de actualizaciones por segundo. En el ejemplo con $T_{s_{conv}} = 5s$ y una frecuencia de actualización de 20 actualizaciones por segundo, el número máximo de actualizaciones 630 es de 100.

En la ley de distribución geométrica, el valor de cada píxel del mapa 320 depende del valor de este píxel en el mapa 310. Si el valor de un píxel en el mapa 320 se define como VC_{320} y el valor del mismo píxel en el mapa 310 VC_{310} , el procedimiento de modificación de los valores en la etapa 320 utiliza la siguiente fórmula: $VC_{320} = R_{temp} * (VC_{310} - 0,5) + 0,5$, de manera que la relación R_{temp} caracteriza la evolución temporal de la distribución geométrica. Por tanto, esta relación R_{temp} se define de acuerdo con $T_{s_{conv}}$ de manera que un píxel de obstáculo con una probabilidad inicial de ausencia de obstáculo de 0 necesita un número máximo de actualizaciones 630 para obtener una probabilidad de obstáculo por encima del umbral de obstáculo $T_{s_{obs}}$. De acuerdo con la ley de distribución geométrica, R_{temp} se obtiene mediante la siguiente fórmula: $R_{temp} = exp \left(\frac{\ln(1 - 2,0 * T_{s_{obs}})}{T_{s_{conv}} * \text{frecuencia de actualización}} \right)$.

En otras formas de realización, la evolución de probabilidades de ausencia de obstáculo a lo largo del tiempo es lineal. Esta evolución natural de probabilidad de ausencia de obstáculo puede ser integrada rebajando las informaciones de fiabilidad que han sido añadidas además de la probabilidad de ausencia de obstáculo en una pluralidad de formas de realización.

La Figura 7 muestra un ejemplo de un mapa de familias de sensor, inicializado con una probabilidad desconocida y actualizado con una observación de sensor único en una pluralidad de formas de realización de la invención.

En una pluralidad de formas de realización de la invención, para la primera actualización, el mapa 310 de las familias de sensor anteriores es inicializado con unas propiedades desconocidas y todos sus píxeles se establecen en 0,5. La etapa 320 por tanto, no tiene ningún efecto y, al final, el mapa de familias de sensor sigue manteniendo un valor de 0,5 en todos sus píxeles. El mapa 400 representa uno de los mapas 330 después de su actualización con los datos procedentes de un sensor 331. En este ejemplo, se utiliza un sensor de distancia como uno de los sensores 190 ultrasónicos. El sensor observa los obstáculos distantes en un área que es representativa de su campo de visión. En el ejemplo, el campo de visión es un cono y, en cada dirección lo considera el punto más próximo observado como obstáculo y todos los puntos en una línea entre el sensor y el obstáculo como puntos libres de obstáculo. De modo ventajoso, la actualización con los datos procedentes de un sensor 331 sustituye los píxeles en los que un obstáculo ha sido observado con una probabilidad de ausencia de obstáculo de 0, creando unos píxeles 710 de obstáculo representados en negro. También sustituye los píxeles en los que se ha observado una ausencia de obstáculo por una probabilidad de ausencia de obstáculo de 1, creando unos píxeles 720 libres de obstáculos representados en blanco. Todos los píxeles donde no se ha observado la presencia o ausencia de obstáculo mantienen su probabilidad anterior de valor de ausencia, 0,5, en este ejemplo. En este ejemplo, estos píxeles son píxeles 730 de obstáculo desconocido representados en gris.

Las Figuras 8a, 8b, 8c muestran un ejemplo de un mapa 340 de familias de sensor después de 3 procedimientos sucesivos de actualización de mapas de familias de sensor, en los que el mapa de las familias de sensor comprende un único sensor cuya posición está fija y cuyo campo de visión rota.

La Figura 8d muestra un ejemplo de un mapa 340 de familias de sensor después de 3 actualizaciones sucesivas, en el que el mapa de las familias de sensor comprende el mismo único sensor que en las figuras 8a, 8b, 8c, con una traslación adicional del sensor entre el primero y el segundo procedimiento de actualización del mapa de familias de sensor.

El mapa 800a de familias de sensor representa el estado de un mapa 340 de familias de sensor después de un primer procedimiento 320, 330 de actualización del mapa de familias de sensor. Para el primer procedimiento de actualización del mapa de familias de sensor, el mapa 310 de familias de sensor precedente es inicializado con una probabilidad de ausencia de obstáculo de 0,5. Después del procedimiento 320 de actualización de probabilidad, el mapa de familias de sensor todavía tiene una probabilidad de obstáculo de 0,5 en todos sus píxeles. En la etapa 330, una observación de un único sensor es aplicada, y los píxeles en los que ha sido detectada o llenada una ausencia o presencia de obstáculo. El sensor ha detectado unos píxeles 830a de obstáculo y los llena con una probabilidad de ausencia de obstáculo de 0, y los píxeles 820a libres de obstáculos y los llena con una probabilidad

de ausencia de obstáculo de 1. Todos los píxeles 810a en los que el sensor no ha observado nada mantienen una probabilidad de ausencia de obstáculo de 0,5.

5 El mapa 800b de familias de sensor representa el estado de un mapa 340 de familias de sensor después de un segundo procedimiento 320, 330 de actualización de mapas de familias de sensor. Por tanto, el mapa 800a de familias de sensor se utiliza como un mapa 310 de familias de sensor anterior para el procedimiento de actualización del mapa de familias de sensor. El procedimiento del mapa de familias de sensor, sitúa los valores de píxel más próximos a una probabilidad desconocida de ausencia de 0,5. Por tanto, los píxeles de obstáculo observados en la observación 830b precedente tienen una probabilidad de ausencia de obstáculo ligeramente superior al 0, y los píxeles libres de obstáculo observados durante la primera observación 820b tienen una probabilidad de ausencia de obstáculo ligeramente inferior a 1. Así mismo, la segunda observación precedente del sensor ha observado un nuevo obstáculo y unas zonas libres de obstáculos. Por tanto, los píxeles 840b de obstáculo son llenados con una probabilidad de ausencia de obstáculo de 0, y los píxeles 850b libres de obstáculos son llenados con una probabilidad de ausencia de obstáculo de 1.

15 El mapa 800c de familias de sensor representa el estado de un mapa 340 de familias de sensor después de un tercer procedimiento de actualización 320, 330. Por tanto, el mapa de familia de sensores 800b se usa como mapa de familia de sensores 310 previo para el procedimiento de actualización del mapa de familias de sensor. El procedimiento de mapas de familias de sensor sitúa todos los valores de píxeles más próximos a una probabilidad desconocida de ausencia de 0,5. Por tanto, los píxeles de obstáculos observados durante la primera observación 830c tienen una probabilidad superior de ausencia de obstáculo que la de los píxeles 830b, y los píxeles libres de obstáculo observados durante la primera observación 820c tienen una probabilidad de ausencia más elevada de obstáculo que los píxeles 830. Por otro lado, los obstáculos observados durante la segunda observación 840c tienen una probabilidad de ausencia de obstáculo ligeramente superior a 0, y los píxeles libres de obstáculos observados durante la segunda observación 850c tienen una probabilidad de ausencia de obstáculo ligeramente inferior a 1. Así mismo, la tercera observación precedente del sensor ha observado un nuevo obstáculo y unas zonas libres de obstáculo. Por tanto los píxeles 870c de obstáculo son llenados con una probabilidad de ausencia de obstáculo de 0, y los píxeles 860c libres de obstáculo son llenados con una probabilidad de ausencia de obstáculo de 1.

30 El mapa 800d de familias de sensor representa el estado del mapa 340 de familias de sensor 3 después de los procedimientos de actualización del mapa de familias de sensor, en el que el sensor también llevó a cabo una traslación entre su primera y segunda observaciones. En este mapa, los píxeles 820d, 850d y 860d libres de obstáculo tienen la misma probabilidad de ausencia de obstáculo que los píxeles 820c, 850c y 860c libres de obstáculo en el mapa 800c. Por otro lado, los píxeles 830d, 840d y 870d de obstáculo tienen la misma probabilidad de ausencia de obstáculo que los píxeles 830c, 840c y 870c de obstáculo. Sin embargo, debido a la traslación del sensor, sus campos de visión durante la segunda y tercera observaciones cambiaron. Por tanto, los píxeles 850d y 860d libres de obstáculos son todos píxeles libres de obstáculos que fueron incluidos en estos nuevos campos de visión.

35 Las Figuras 9a, 9b, 9c proporcionan un ejemplo de fusión de mapas de familias de sensor, en una pluralidad de formas de realización de la invención. La Figura 9a muestra un primer mapa 900a de familias de sensor, que comprende unos píxeles 910a de obstáculo, unos píxeles 920a libres de obstáculos y unos píxeles con una probabilidad 930a desconocida. Los píxeles 910a y 920a de obstáculo y libre de obstáculo han sido observados durante una actualización precedente. Por tanto, la probabilidad de ausencia de obstáculo de los píxeles 910a es ligeramente superior a 0 y la probabilidad de ausencia de obstáculo de los píxeles 920a es ligeramente inferior a 1. La Figura 9b muestra un segundo mapa 900b de familias de sensor. Los píxeles 920b de obstáculo y los píxeles 930b libres de obstáculo han sido observados durante la última actualización. Por tanto, los píxeles 920b de obstáculo tienen una probabilidad de ausencia de obstáculo de 0 y los píxeles 930b libres de obstáculo tienen una probabilidad de ausencia de obstáculo de 1. La Figura 9c muestra el mapa 900c final del resultado de la fusión después de la fusión de los mapas 900a y 900b en la etapa 360. De modo ventajoso, cada píxel cuya probabilidad de ausencia de obstáculo en al menos un mapa de familias de sensor está por debajo del umbral $T_{s_{obs}}$ es considerado como un obstáculo.

50 Los valores en los píxeles 910a y 910b de obstáculo están todos por debajo del umbral $T_{s_{obs}}$. Por tanto, los píxeles 910c de obstáculo en el mapa 900c de fusión final comprenden todos los píxeles 910a y 910b, cuyos valores de probabilidad de ausencia de obstáculo han sido establecidos en 0. La probabilidad de ausencia de obstáculo en los píxeles 920a y 920b libres de obstáculo están todos por encima del umbral $T_{s_{free}}$. Por tanto, los píxeles 920c libres de obstáculo en el mapa 900c fusionado comprenden todos los píxeles 920a y 920b libres de obstáculo, excepto los píxeles 910c que son píxeles de obstáculo. Los píxeles 930c desconocidos en el mapa 900c de fusión final comprenden todos los píxeles que no son ni obstáculo o que son píxeles libres de obstáculo en cualquiera de los mapas de familias de sensor.

60 En una pluralidad de formas de realización, el mapa 900c fusionado es calculado píxel por píxel a partir de los mapas 900a y 900b. La primera etapa es crear un primero y un segundo mapas temporales o prefusionados. Cada píxel del primer mapa prefusionado se establece en un valor mínimo del mismo píxel de todos los mapas de familias de sensor para fusionarse, y cada píxel del segundo mapa prefusionado es un mapa establecido para separar los obstáculos de todos los píxeles: el valor de cada píxel en el primer mapa prefusionado cuyo valor es inferior a $T_{s_{obs}}$

se establece en 0, y el valor de todos los demás píxeles en el primer mapa prefusionado se establece en 1. Entonces, el valor de cada píxel en el mapa prefusionado es el mínimo entre los primero y segundo mapas prefusionados.

Un algoritmo genérico para la fusión es:

- 5 * Obtener dos mapas del min de y el max de cada fuente.
- * Formar un umbral del mapa min para obtener solo blanco y negro.
- * Utilizar un min entre max y el mapa min umbralizado.

Un pseudocódigo ejemplar para la forma de realización de este algoritmo es: Crear dos mapas temporales TMPmax y TMPmin.

10

```
## Etapa Min max
Para cada píxel (i, j) de TMPmin, TMPmin(i,j) = min(900a(i,j), 900b(i,j))
Para cada píxel (i, j) de TMPmax, TMPmax (i,j) = max(900a(i,j), 900b(i,j))
## Etapa binaria de umbral
15 Entonces para cada píxel (i,j) en TMPmin,
    Si TMPmin(i,j) < TSobs, TMPmin(i,j) = 0 si no TMPmin(i,j) = 1
    ## Tenemos unicamente blanco y negro en TMPmin
    ## etapa min
    ## creamos 900c, de acuerdo con:
```

20

Para cada píxel (i, j) en 900c,

900c (i, j) = min (TMPmin (i, j), TMPmax (i, j)

25

Dicho cálculo píxel por píxel produce resultados deseables. En efecto, cada píxel cuyo valor está por debajo de $T_{s_{obs}}$ en al menos uno de los mapas 900a, 900b de familias de sensor para fusionarse presenta una probabilidad de ausencia de obstáculo de 0 en el primer mapa prefusionado y, por tanto, en el mapa 900c fusionado. Todos los demás píxeles que no son un obstáculo tienen una probabilidad de 1 en el primer mapa prefusionado. Por tanto, obtendrán su valor a partir del segundo mapa prefusionado durante el procedimiento de fusión, y tienen la probabilidad de una célula libre de obstáculo si el valor de esta célula es al menos uno de los mapas (900a, 900b) de familias de sensor para fusionar, se sitúa por encima del $T_{s_{free}}$.

30

Los ejemplos anteriormente descritos se ofrecen como ilustrativos de formas de realización de la invención. No limitan en modo alguno el alcance de la invención que se define mediante las reivindicaciones subsecuentes.

35

40

REIVINDICACIONES

1.- Un procedimiento para determinar, mediante un ordenador de a bordo de un robot (100) autónomo, un mapa de píxeles de la probabilidad de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en el entorno del robot, estando dicho procedimiento **caracterizado porque** comprende:

- 5 - la inicialización, en una memoria de a bordo del robot, de una pluralidad de mapas (340, 350) iniciales definidos alrededor del robot y sustancialmente fijados a dicho robot, presentando dicho mapa unos límites predefinidos y estando pavimentados por unos píxeles de una dimensión predefinida, donde un valor de una probabilidad de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en cada píxel se establece en un valor (310) predefinido;
- 10 - la adquisición, por una pluralidad de procedimientos de detección complementarios, datos representativos de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en el entorno del robot (331, 332);
- la aplicación simultánea, para cada uno de la pluralidad de procedimientos de detección complementarios, a un mapa inicial de la pluralidad de mapas iniciales, de unos procedimientos para al menos:
 - 15 o Modificar los valores de probabilidades de ausencia o la presencia de un obstáculo de observaciones precedentes en un valor más próximo a un valor (320) predefinido;
 - o Actualizar los valores de probabilidades de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en al menos un píxel del mapa inicial a partir de dichos datos (330);
- la fusión de la pluralidad de mapas (340, 350) iniciales en un mapa (360) fusionado, mediante:
 - 20 o El establecimiento del valor de cada píxel de probabilidad de la ausencia de obstáculos está por debajo de un umbral $T_{S_{obs}}$ en al menos uno de los mapas (910a, 910b) iniciales en un valor representativo de un obstáculo del mapa (910c) fusionado;
 - o El establecimiento del valor de cada píxel que no es un píxel de obstáculo del mapa (910c) fusionado y cuya probabilidad de ausencia de obstáculo está por encima de un umbral $T_{S_{free}}$ en al menos uno de los mapas (920a, 920b) iniciales en un valor representativo de un píxel libre de obstáculo en el mapa (920c) fusionado.

2.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el mapa inicial permanece estático en una trama de referencia fija siempre que el robot permanezca dentro de un número predeterminado de píxeles, y se desplace con el robot cuando el robot se sale de número predeterminado de píxeles.

3.- El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 y 2, en el que los límites del mapa inicial son predefinidos para cubrir áreas en las que el robot puede ser situado en una duración predefinida, si se desplaza a una velocidad (510) máxima.

4.- El procedimiento de la reivindicación 3, en el que la dimensión predefinida de un píxel se selecciona en función de una distancia de evitación de colisión.

5.- El procedimiento de la reivindicación 4, en el que el mapa inicial define un cuadrado (510).

6.- El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el valor predefinido en el procedimiento de modificación de las probabilidades de una entre la presencia y ausencia de obstáculo de las observaciones (320) precedentes y para inicializar dicho mapa (310) es la media del valor que representa una presencia de obstáculo que es cierta y el valor que representa la ausencia de obstáculo que es cierta.

7.- El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicho mapa es un mapa de probabilidad de ausencia de un obstáculo, que es un número entre 0 y 1, en el que 0 representa una presencia de obstáculo que es cierta (710), 1 una ausencia de obstáculo que es cierta (720), y 0,5 una presencia desconocida de obstáculos (730).

8.- El procedimiento de la reivindicación 7, en el que un umbral $T_{S_{obs}}$ para delimitar unos píxeles de obstáculo y desconocidos se define como un número en el intervalo entre [0; 0,5], y un umbral para delimitar unos píxeles libres de obstáculo y desconocidos se define como un número en el intervalo [0,5; 1].

9.- El procedimiento de la reivindicación 8, en el que una relación de evolución temporal R_{temp} para modificar las probabilidades de ausencia de obstáculos se define de acuerdo con dicho umbral de obstáculo y en un tiempo predefinido de convergencia, T_{conv} mediante la fórmula:

$$R_{temp} = \exp(\ln(i - 2,0 * T_{S_{obs}}) / (T_{conv} * \text{frecuencia de actualización})).$$

10.- El procedimiento de la reivindicación 9, en el que el procedimiento de modificación de las probabilidades de ausencia de obstáculo de observaciones (320) precedentes utiliza una ley de distribución geométrica para calcular el

valor VC_{320} de un píxel del mapa (320) de acuerdo con el valor de este píxel del mapa (310): $VC_{320} = R_{tem} * (VC_{310} - 0,5) + 0,5$.

11.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la fusión de la pluralidad de mapas iniciales (340, 350) comprende las etapas de:

- 5 - la generación de un primer mapa prefusionado y un segundo mapa prefusionado;
- el establecimiento del valor de probabilidad de ausencia de un obstáculo en un píxel en el primer mapa prefusionado como el mínimo de los valores de probabilidad de ausencia, en el mismo píxel de la pluralidad de mapas iniciales (340, 350);
- 10 - el establecimiento del valor de la probabilidad de ausencia de obstáculo en un píxel del segundo mapa prefusionado como el máximo de los valores de la probabilidad de ausencia en el mismo píxel de la pluralidad de mapas iniciales (340, 350);
- el establecimiento del valor de la probabilidad de ausencia de obstáculo en un píxel del primer mapa prefusionado cuyo valor está por debajo del umbral de obstáculo $T_{s_{obs}}$ en 0;
- 15 - el establecimiento del valor de la probabilidad de ausencia de obstáculo en un píxel del primer mapa prefusionado cuyo valor está por encima del umbral de obstáculo $T_{s_{obs}}$ en 1;
- el establecimiento del valor de la probabilidad de ausencia de un obstáculo en un píxel del mapa (360) prefusionado en el mínimo del valor de probabilidad de ausencia en el mismo píxel de los primero y segundo mapas prefusionados.

12.- El procedimiento de la reivindicación 11, en el que cada mapa entre la pluralidad de mapas iniciales es actualizado utilizando los datos adquiridos a partir de un conjunto diferente de sensores que reagrupa los sensores que observan el mismo tipo de obstáculos.

13.- El procedimiento de la reivindicación 12, en el que:

- un primer conjunto de sensores reagrupa los sensores láser de a bordo del robot;
- un segundo conjunto de sensores reagrupa unas cámaras 3D de a bordo del robot;
- 25 - un tercer conjunto de sensores reagrupa los sensores ultrasónicos de a bordo del robot;
- un cuarto conjunto de sensores reagrupa los sensores de contacto de a bordo del robot.

14.- El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 13, en el que la etapa de adquisición, por al menos un procedimiento de detección, de datos representativos de al menos entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en el entorno del robot comprende al menos:

- 30 - adquirir valores de datos brutos por el sensor (400);
- crear una transformación de sensor 6D asociado con el sensor (430) utilizando un modelo (410) de articulación cinemática de Robot y unos sensores (420) articulares angulares;
- utilizar dicha transformación (430) de sensor 6D y dichos datos (400) brutos para crear un conjunto de puntos 3D que representan obstáculos observados por el sensor (440).

15.- El procedimiento de la reivindicación 14, en el que los valores de actualización de probabilidades de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en al menos un píxel del mapa inicial a partir de dichos datos comprende al menos:

- 35 - llenar al menos un píxel 2D donde al menos un punto (440) 3D es encontrado con un valor representativo de una presencia de obstáculo que es cierta (710, 830a, 840b, 870c,; 870d);
- 40 - llenar cada píxel en una línea entre dicho al menos un píxel y la posición del sensor con un valor representativo de una ausencia de obstáculo que es cierta (720, 820a, 850b, 860c, 860c).

16.- Un robot (100) autónomo, que comprende al menos:

- una pluralidad de sensores de distancia direccionales;
- un modelo (410) de articulación cinemática de Robot;
- 45 - una memoria de a bordo para almacenar una pluralidad de mapas definidos alrededor de dicho robot y sustancialmente fijados a dicho robot, presentando dicho mapa unos límites predefinidos y estando

- pavimentados por unos píxeles de una dimensión predefinida, donde un valor de una probabilidad de al menos una entre la presencia o la ausencia de un obstáculo es almacenado;
- un módulo para inicializar dicha pluralidad de mapas iniciales mediante el establecimiento del valor de cada píxel en un valor predefinido;
- 5 - un módulo para adquirir, a partir de una pluralidad de dichos sensores de distancia direccionales, unos datos representativos de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en el entorno del robot;
- un módulo para:
- 10 - aplicar simultáneamente, para una pluralidad de dicho sensor de distancia direccional a un mapa inicial de dicha pluralidad de mapas iniciales, los procedimientos para al menos:
- modificar las probabilidades de una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo de una observación precedente en un valor más próximo a un valor (320) predefinido;
 - actualizar los valores de probabilidades de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en al menos un píxel del mapa inicial a partir de dichos datos (330);
- 15 - la fusión de la pluralidad de mapas (340, 350) iniciales en un mapa (360) fusionado, mediante:
- el establecimiento del valor de cada píxel cuya probabilidad de ausencia de obstáculo está por debajo de un umbral $T_{S_{obs}}$ en al menos uno de los mapas (910a, 910b) iniciales en un valor representativo de un obstáculo del mapa (910c) fusionado;
 - el establecimiento de un valor de cada píxel que no es un píxel de obstáculo en el mapa (910c) fusionado y cuya probabilidad de ausencia de obstáculo está por encima de un umbral $T_{S_{free}}$ en al menos uno de los mapas (920a, 920b) iniciales en un valor representativo de un píxel libre de obstáculo del mapa (920c) fusionado.
- 20
- 17.- Un producto de programa de ordenador, almacenado en un medio legible por ordenador, que comprende unos medios de código para hacer que un ordenador implemente un procedimiento de determinación de un mapa de píxeles de la probabilidad de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en el entorno de un robot, estando dicho producto de programa de ordenador **caracterizado porque** comprende:
- 25
- un módulo para inicializar, en una memoria, una pluralidad de mapas iniciales definidos alrededor de un robot autónomo, y sustancialmente fijado a dicho robot, presentando dicho mapa unos límites predefinidos y estando delimitado por unos píxeles de una dimensión predefinida, donde un valor de una probabilidad de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en cada píxel se establece en un valor predefinido;
- 30
- un módulo para adquirir, por una pluralidad de procedimientos complementarios, unos datos representativos de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en el entorno del robot,
 - un módulo para aplicar simultáneamente, para cada uno de los procedimientos de detección complementarios, a un mapa inicial de la pluralidad de mapas iniciales, procedimientos para al menos:
- 35
- modificar los valores de probabilidades de ausencia y la presencia de un obstáculo de observaciones precedentes en un valor más próximo a un valor predefinido;
 - actualizar los valores de probabilidades de al menos una entre la ausencia y la presencia de un obstáculo en al menos un píxel del mapa inicial a partir de dichos datos;
- 40
- la fusión de la pluralidad de mapas iniciales (340, 350) en un mapa (360) fusionado mediante:
- el establecimiento del valor de cada píxel cuya probabilidad de ausencia de obstáculo está por debajo del umbral $T_{S_{obs}}$ en al menos uno de los mapas (910a, 910b) iniciales en un valor representativo de un obstáculo en el mapa (910c) fusionado;
 - el establecimiento de un valor de cada píxel que no es un píxel de obstáculo en el mapa (910c) fusionado y cuya probabilidad de ausencia de obstáculo está por encima de un umbral $T_{S_{free}}$ en al menos uno de los mapas (920a, 920b) iniciales en un valor representativo de un píxel libre de obstáculo del mapa (920c) fusionado.
- 45

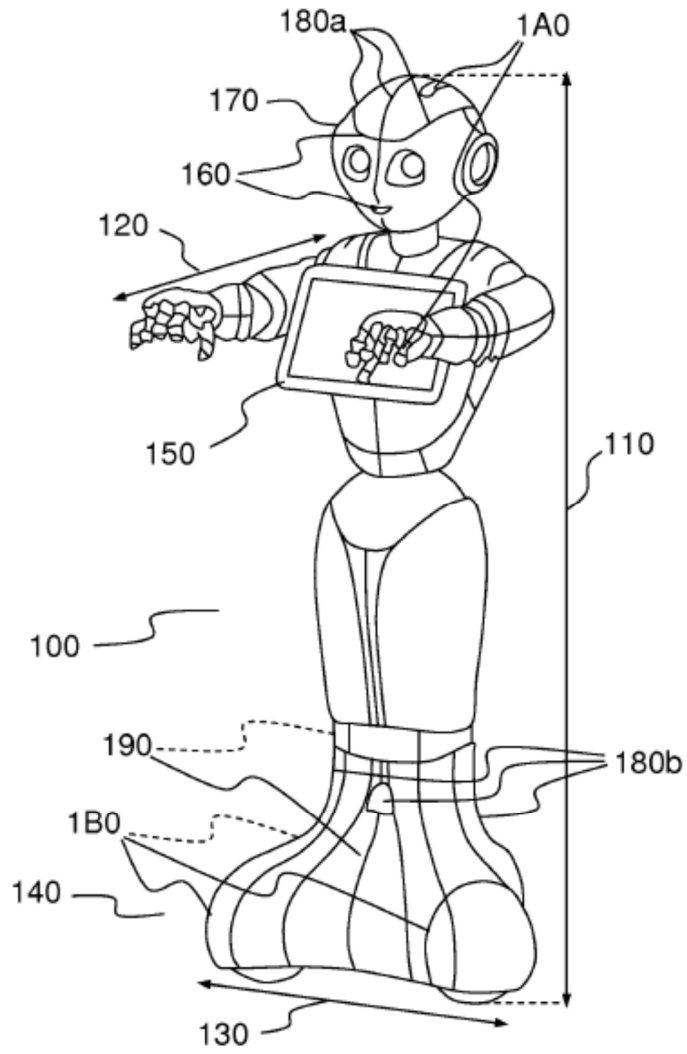


FIG.1

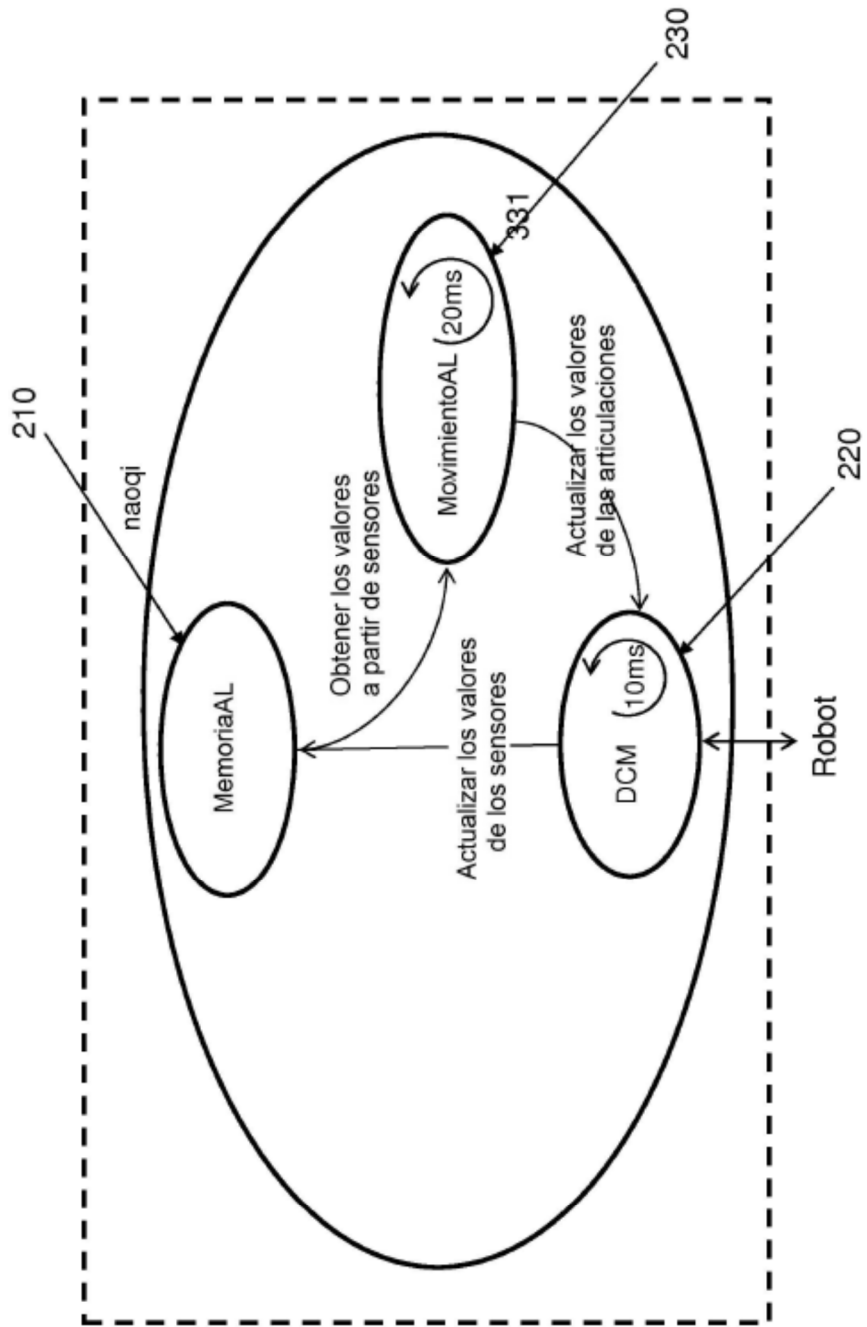


FIG.2

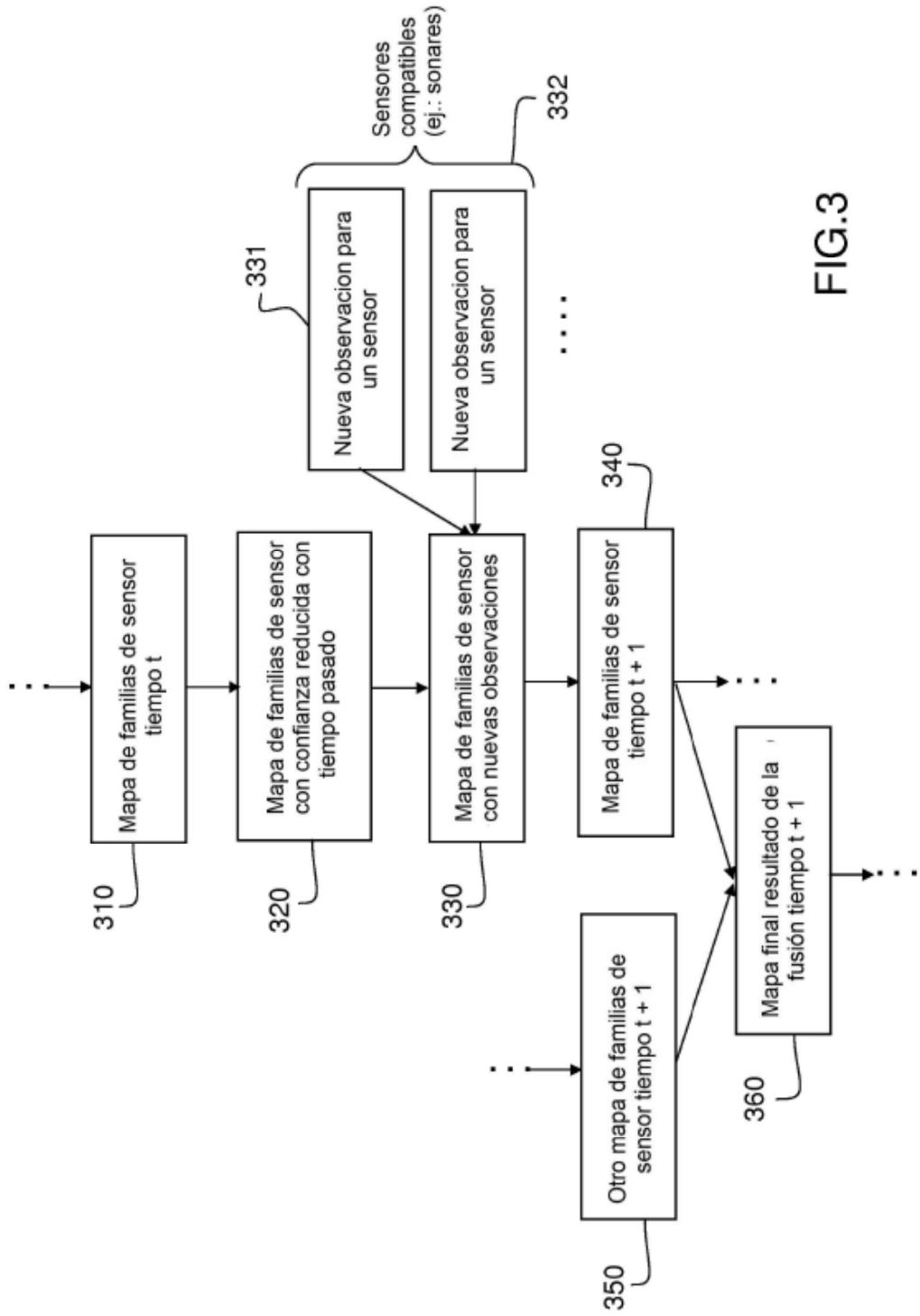


FIG.3

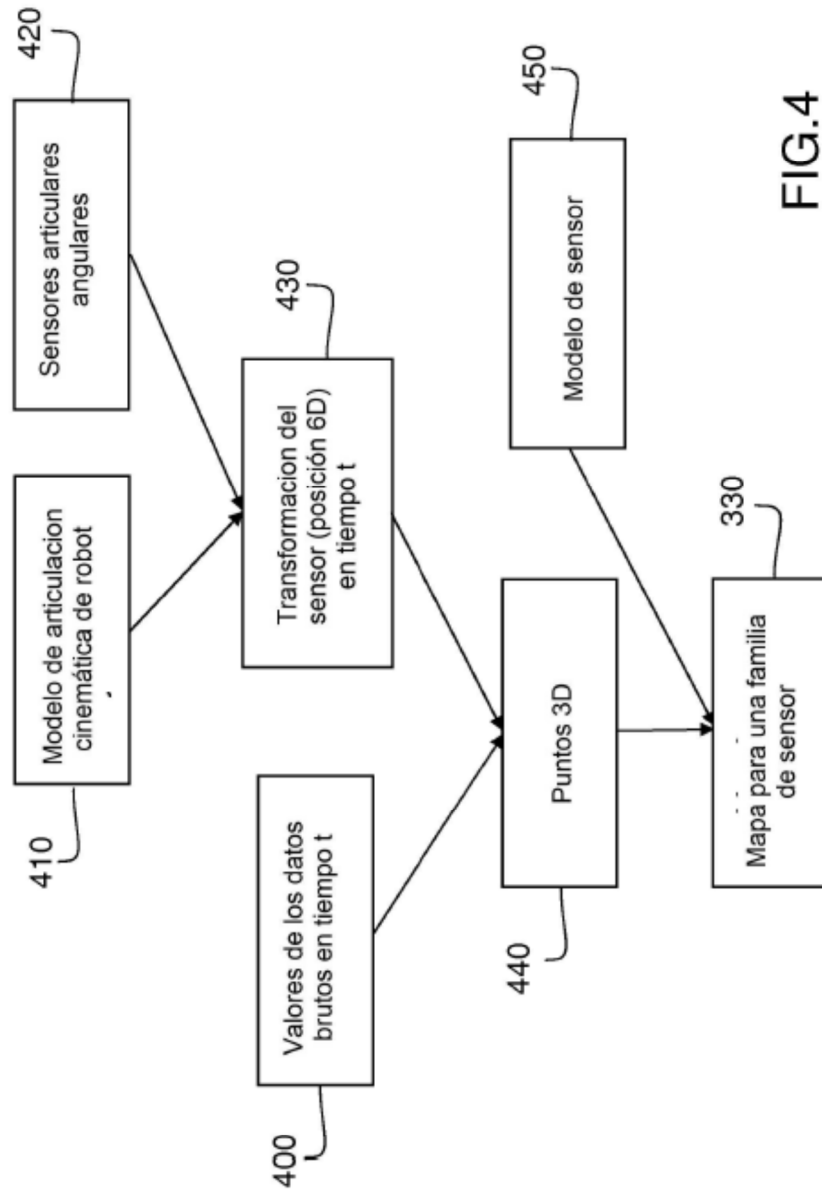


FIG.4

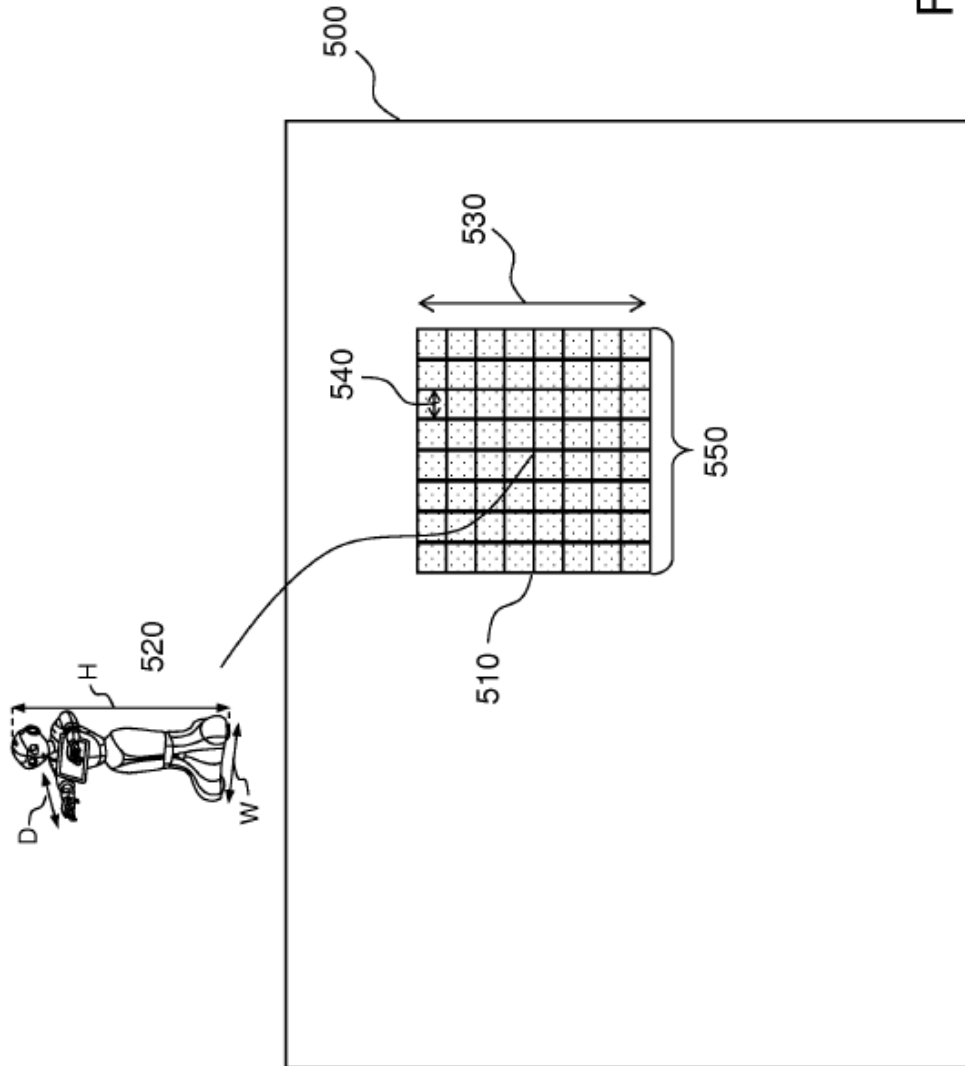


FIG. 5

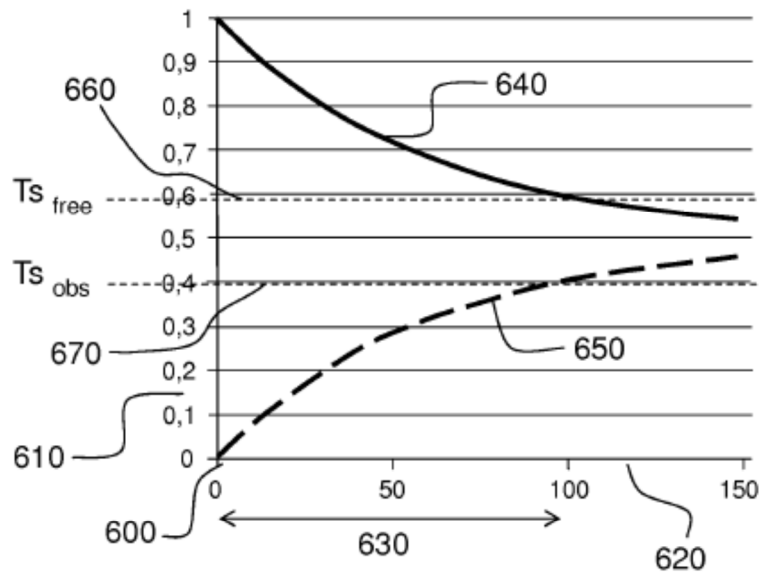


FIG.6

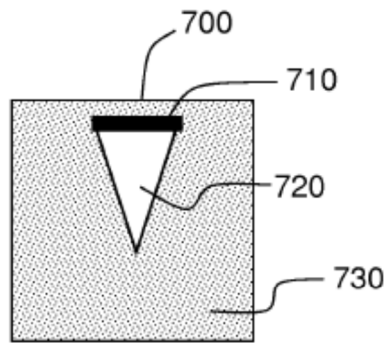


FIG.7

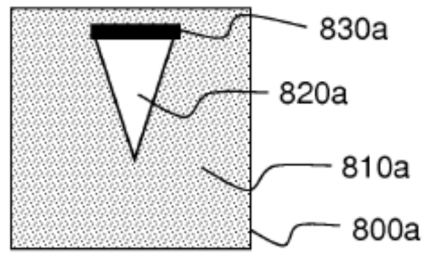


FIG. 8a

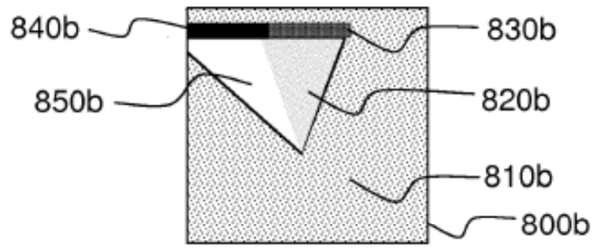


FIG. 8b

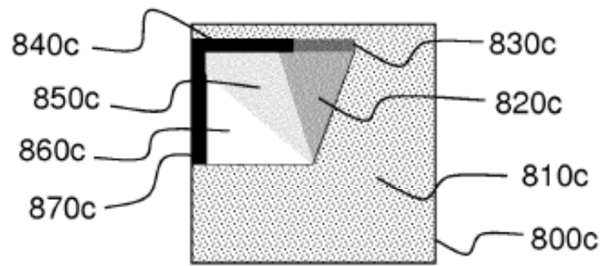


FIG. 8c

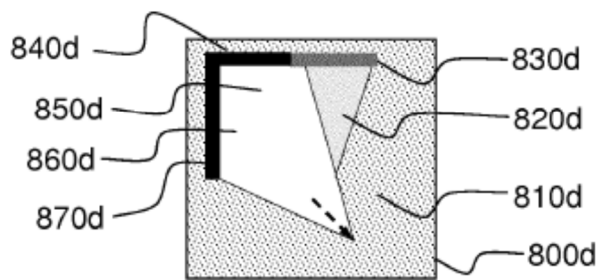


FIG. 8d

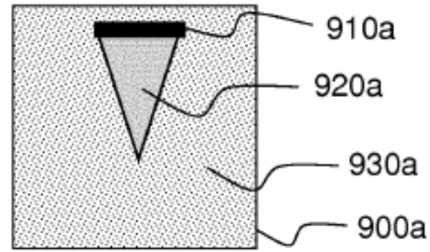


FIG.9a

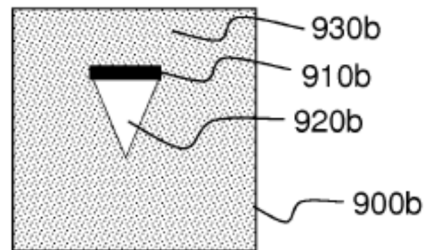


FIG.9b

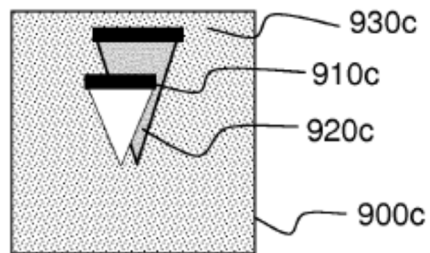


FIG.9c