

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 307**

51 Int. Cl.:

G05D 1/02 (2006.01)

G01C 21/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.04.2014 E 14305543 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.11.2016 EP 2933604**

54 Título: **Un procedimiento de localización de un robot en un plano de localización**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.06.2017

73 Titular/es:

SOFTBANK ROBOTICS EUROPE (50.0%)

43, rue du Colonel Pierre Avia

75015 Paris , FR y

ASSOCIATION POUR LA RECHERCHE ET LE

DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES ET

PROCESSUS INDUSTRIELS "ARMINES" (50.0%)

72 Inventor/es:

WIRBEL, EMILIE y

DE LA FORTELLE, ARNAUD

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 617 307 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

Un procedimiento de localización de un robot en un plano de localización

La presente invención se refiere a un procedimiento para localizar un robot en un plano de localización y es aplicable particularmente, pero no exclusivamente, a técnicas de navegación y robótica.

5 La navegación y localización es un problema crucial de la robótica, dado que es un aspecto esencial para la colaboración entre un humano y un robot. En un entorno poblado por un humano, tal como un apartamento, los retos son incluso mayores, debido a la complejidad adicional.

10 Los robots humanoides, debido a sus aspectos y posibilidades, están particularmente adaptados a los entornos humanos. Sin embargo, presentan restricciones específicas: el caminar hace su progreso más lento, menos predecible que los robots con ruedas, por ejemplo.

Son capaces de compensar algunos de sus límites mediante la realización de acciones que son más difíciles para un robot estándar, por ejemplo girar la cabeza para mirar alrededor, saltar sobre un obstáculo, etc.

15 Ya existen varios planteamientos para proporcionar a un robot un sistema de navegación. En la solicitud de patente francesa n.º 1353295, se ha propuesto un procedimiento para medir y corregir la deriva del robot en términos de ángulo de rumbo. Esto permite al robot andar en línea recta o realizar giros con una precisión mucho más alta que el andar en bucle abierto. La intención es proporcionar una solución de localización absoluta, con al menos información cualitativa o parcialmente métrica.

20 El sensor más rico del robot es la cámara en color monocular. La realización directamente de una métrica visual de Localización y Mapeado Simultáneos (SLAM) no es una buena idea: la odometría no es suficientemente fiable, y es muy difícil seguir con precisión puntos clave debido a la velocidad del movimiento durante el caminar, el campo de visión limitado de la cámara y la altura del robot. Esto implica que una representación topológica, cualitativa está más adaptada si se desea compensar estos inconvenientes con hipótesis fuertes sobre el entorno tal como un mapa en 3D pre-elaborado.

25 La invención se refiere a un procedimiento para localizar un robot en un plano de localización asociado con una referencia bidimensional con dos ejes x e y que comprende las siguientes etapas:

- determinar por odometría una estimación de las coordenadas x_1 e y_1 del robot en el plano de localización así como una estimación de su orientación θ_1 relativamente a una dirección de referencia;
- determinar una estimación θ_2 de la orientación del robot mediante el uso de una brújula virtual que identifica al menos dos pares de puntos de interés, siendo identificados los primeros puntos de cada par en un panorama de referencia y siendo identificado un segundo punto de cada par en un panorama de consulta, siendo inicializada esta etapa con θ_1 ;
- determinar una estimación θ_3 de la orientación del robot mediante la correlación de partes del panorama de referencia con partes del panorama de consulta y mediante la identificación de cuándo se maximiza la correlación, siendo inicializada esta etapa con una de las estimaciones previas de la orientación;
- 30 - determinar una estimación x_4 , y_4 de la posición del robot en el plano de localización mediante el uso de una técnica del Punto más Cercano por Iteración, siendo inicializada esta etapa con x_1 e y_1 ;
- determinar las desviaciones estándar σ_{x1} , σ_{x2} , $\sigma_{\theta1}$, $\sigma_{\theta2}$, $\sigma_{\theta3}$, σ_{x4} , σ_{y4} de las estimaciones anteriormente mencionadas;
- determinar las distribuciones de probabilidad gaussianas $G(x_1)$, $G(y_1)$, $G(\theta_1)$, $G(\theta_2)$, $G(\theta_3)$, $G(x_4)$ y $G(y_4)$ de cada estimación disponible usando dichas desviaciones estándar;
- 35 - determinar tres distribuciones globales $GLOB(x)$, $GLOB(y)$ y $GLOB(\theta)$ respectivamente para las coordenadas a lo largo de los ejes x e y, y para la orientación θ del robot mediante la combinación de dichas distribuciones de probabilidad gaussianas y la determinación de una estimación global x_g , y_g de las coordenadas del robot en el plano de localización así como una estimación global θ_g de su orientación mediante la aplicación del
- 40 - procedimiento de máxima probabilidad a las distribuciones globales.

45 Como un ejemplo, las estimaciones proporcionadas por una etapa dada se usan por una etapa posterior solamente si se consideran como fiables.

Como un ejemplo, una estimación se considera como fiable cuando su desviación estándar es más baja que un umbral predefinido.

50 Como un ejemplo, las distribuciones de probabilidad $G(x_1)$, $G(y_1)$, $G(\theta_1)$, $G(\theta_2)$, $G(\theta_3)$, $G(x_4)$ y $G(y_4)$ son distribuciones de probabilidad gaussianas.

Como un ejemplo, las distribuciones de probabilidad global se deducen como sigue:

$$GLOB(x) = G(x_1) \times G(x_4)$$

$$GLOB(y) = G(y_1) \times G(y_4)$$

$$\text{GLOB}(\theta) = \text{G}(\theta_1) \times \text{G}(\theta_2) \times \text{G}(\theta_3)$$

Como un ejemplo, el valor θ_3 es estima basándose en un emparejamiento de plantillas de imagen que se realiza sobre dos pirámides de imágenes, siendo generada una primera pirámide de imágenes a partir de una única imagen de referencia mediante su reducción de escala usando varias etapas de escalado, siendo generada la segunda pirámide de imágenes a partir de una única imagen de consulta mediante su reducción de escala usando varias etapas de escalado.

La presente invención se refiere también a un robot que comprende al menos:

- una cámara RGB en 2D para construir un panorama de consulta que comprende al menos una imagen de referencia;
- capacidades de procesamiento adaptadas para implementar el procedimiento anterior para localizar el robot basándose en el panorama de consulta.

Como un ejemplo, el robot humanoide comprende un sensor 3D que se usa para calcular nubes de puntos para implementar la Técnica del Punto más Cercano Iterativo.

La invención se refiere también a un producto de programa informático, almacenado en un medio legible por ordenador que comprende medios de código para hacer que un ordenador implemente el procedimiento descrito anteriormente.

Puede obtenerse una mejor comprensión de las realizaciones de la presente invención a partir de la descripción detallada a continuación en conjunto con los siguientes dibujos, en los que:

- la figura 1 da un ejemplo de un panorama de referencia que puede usarse como una entrada del procedimiento de acuerdo con la invención;
- la figura 2 es una ilustración de un procedimiento para localizar un robot;
- la figura 3 muestra un ejemplo de dos plantillas que pertenecen respectivamente a una imagen de referencia y a una imagen de consulta;
- la figura 4 da un ejemplo de dos pirámides de imágenes;
- la figura 5 visualiza una arquitectura física de un robot humanoide en un cierto número de realizaciones de la invención.

La figura 1 da un ejemplo de un panorama de referencia que puede usarse como una entrada del procedimiento de acuerdo con la invención.

Como ya se ha mencionado, la invención se refiere a un procedimiento para localizar un elemento móvil, por ejemplo un robot. Localiza el robot comparando al menos un panorama 100 de referencia, que está compuesto por una pluralidad de imágenes RGB (rojo-verde-azul) y/o imágenes 3D.

El robot 104 se localiza en un plano horizontal gracias a dos ejes 101, 102 de referencia. El origen O de esta referencia corresponde al centro del panorama de referencia. Adicionalmente, la orientación θ del robot puede estimarse por comparación con una dirección 103 de referencia.

Se usa también al menos un panorama de consulta usado para el procedimiento de localización y puede componerse de un conjunto más pequeño de imágenes. El panorama de consulta se compone de al menos una imagen capturada en el momento del procedimiento de localización.

La figura 2 es una ilustración del procedimiento de acuerdo con la invención. El procedimiento usa un conjunto de técnicas de localización elementales que corresponden a las etapas 200, 202, 204, 206.

Un aspecto clave de la invención es que el uso de estas técnicas de localización se organiza jerárquicamente. Esto significa que se aplica primero la técnica 200 de localización menos compleja y menos fiable. Las etapas 202, 204, 206 de localización posteriores son a continuación las más complejas y fiables.

Esta organización jerárquica permite la reducción de la complejidad de cálculo global así como de la tasa de falsos positivos. Con esa finalidad, la información de localización estimada proporcionada por cada etapa se usa para alimentar las etapas siguientes y se usa como hipótesis preliminar.

Los datos de localización estimados proporcionados por cada etapa se combinan a continuación usando un procedimiento genérico basado en representaciones probabilísticas.

Más precisamente, una primera etapa 200 de estimación implementa una localización basada en odometría. Esta técnica se basa en sensores de posición del robot que integran los desplazamientos del robot para estimar su posición. Cuando se usa en solitario, esta técnica puede quedar sometida a una alta deriva de estimación. Esto es debido principalmente a que los sensores de odometría no tienen en cuenta defectos tales como terreno deslizante o protuberancias.

Los resultados de la estimación 200 son:

- x_1 : una estimación de la coordenada x de localización;
- y_1 : una estimación de la coordenada y de localización;
- θ_1 : una estimación del ángulo θ .

5 Cuando están disponibles estos resultados intermedios, se estima 201 su incertidumbre. Para esa finalidad, pueden usarse las desviaciones estándar σ_{x_1} , σ_{y_1} , σ_{θ_1} de x_1 , y_1 y θ_1 . En una realización preferida, la estimación se considera como fiable cuando su desviación estándar es más baja que un umbral predefinido.

10 Como un ejemplo, si la deriva (experimentalmente evaluada) es igual a cinco por ciento y el robot ha caminado un metro a lo largo del eje x , la desviación estándar a lo largo del eje x , σ_{x_1} será igual a cinco centímetros. Si el umbral predefinido es igual a seis centímetros, la estimación x_1 se considera como fiable.

En una realización x_1 , y_1 y θ_1 se transmiten para ser usadas por las etapas 202, 204, 206 solamente si se consideran como fiables.

La etapa 202 implementa una brújula virtual que proporciona una estimación θ_2 de la orientación del robot. Para esa finalidad, se usa una cámara RGB en 2D embebida en el robot.

15 Esta técnica se describe en la solicitud de patente francesa n.º 1353295. Para esa finalidad, se comparan una o varias imágenes con un conjunto de imágenes de referencia (es decir el panorama de referencia) para calcular la orientación theta del robot. Esta técnica permite la estimación de una desviación angular relativa a una dirección de referencia, es decir el ángulo theta. Para esa finalidad, se usa la imagen de referencia representativa de una dirección de referencia. A continuación, se carga una imagen actual que es representativa de la orientación actual del robot.

20 Se identifican a continuación una pluralidad de puntos de interés en estas dos imágenes. Se identifican entonces al menos dos pares de puntos de interés. Dicho par se obtiene mediante la búsqueda de un primer punto de interés identificado en la imagen actual y mediante la búsqueda de un segundo punto de interés en su imagen de referencia correspondiente. Finalmente, se estima la desviación angular θ_2 entre la dirección actual del elemento móvil y la dirección de referencia usando al menos dos pares de puntos.

Ventajosamente, si se aplica la etapa 202 con hipótesis preliminares que se han generado por la etapa 200, la etapa 202 puede usarse con un intervalo de búsqueda reducido en la imagen de referencia lo que disminuye la complejidad de la estimación. Otra ventaja es que es entonces posible hallar más rápidamente la coincidencia correcta.

30 Adicionalmente, el riesgo de falsas coincidencias entre puntos de interés es más bajo. La búsqueda se realiza comenzando a partir de dicha hipótesis.

35 La incertidumbre que se introduce por la estimación de la etapa 202 puede deducirse 203 a partir del porcentaje de coincidencias fiables. Para esa finalidad, se considera suficiente la calidad de la estimación proporcionada por la etapa 202 cuando el número de pares de puntos de interés identificados excede un valor de umbral predeterminado. Si es este el caso, la calidad de la estimación se considera suficiente y se usará θ_2 como una hipótesis preliminar para la aplicación de la etapa 204.

Alternativamente, puede usarse la desviación estándar σ_{θ_2} de θ_2 para comprobar 203 la fiabilidad de esta estimación. Como ya se ha explicado, una estimación puede considerarse como fiable cuando su desviación estándar es más baja que un umbral predefinido.

40 En una realización, θ_2 se transmite para ser usado por la etapa 204, 206 solo si se considera como fiable.

45 En la etapa 204, se estima un valor θ_3 basándose en una coincidencia de plantilla de imagen que se realiza sobre dos pirámides de imágenes. La coincidencia de plantilla se basa en las mismas ecuaciones que las descritas en el artículo de Matsumoto, Y; Inaba, M.; Inoue, H., Titulado "Visual navigation using view-sequenced route representation", IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol.1, págs.83, 88, 22-28 de abril de 1996. Sin embargo este artículo particular trabaja sobre la comparación de secuencias de imágenes con escalas comparables, mientras que la descripción siguiente no realiza ninguna suposición sobre las escalas relativas de la imagen y las distancias entre ellas.

50 Para emparejar dos imágenes, se realizan dos plantillas 301 a partir de una imagen 300 de referencia que pertenece al panorama de referencia. A continuación se calcula la correlación cruzada entre dichas primeras plantillas y segundas plantillas 303 en la imagen 302 de consulta. El valor de pico corresponde a la mejor correlación entre la consulta y la referencia. La figura 3 muestra un ejemplo de dos plantillas 301, 303 que pertenecen respectivamente a una imagen 300 de referencia y a una imagen 302 de consulta. En este ejemplo, las plantillas 300, 302 se han emparejado debido a que su valor de correlación correspondiente es el valor de pico que se ha obtenido en el procedimiento de correlación.

En una realización, la comparación anteriormente mencionada entre una imagen de referencia y una imagen de consulta se realiza sobre una pirámide de imágenes escaladas. Esto mejora la robustez de la etapa 204 cuando se enfrenta a cambios de escala.

5 La figura 4 da un ejemplo de dos pirámides de imágenes. Se genera una primera pirámide 401 de imágenes a partir de una única imagen 420 de referencia mediante su reducción de escala usando varias etapas de escalado, y cada una de las imágenes 420-428 se compara con la imagen 410 de consulta original. Si la imagen 410 de consulta tiene de hecho la escala reducida comparada con la imagen de consulta original, entonces habrá un pico de correlación alto en la etapa correspondiente en la pirámide.

10 Simétricamente, la imagen 410 de consulta se reduce de escala 410-418 para obtener una segunda pirámide 400 de imágenes. Cada imagen 410-418 se compara a continuación con la imagen 420 de referencia. Si la imagen 410 de consulta se amplía en comparación con la 420 de referencia, entonces habrá un pico de correlación correspondiente a una de las imágenes 421-428 de escala reducida.

Se selecciona el par de imágenes para las que se maximiza el valor de correlación.

15 Las salidas de la etapa 204 son la orientación relativa θ_3 de la imagen de consulta comparada con la referencia y el mejor factor de escala entre las dos.

La etapa 204 usa una parte del panorama 100 de referencia como una plantilla. Si se proporciona una hipótesis preliminar por la etapa 200 y/o etapa 202, entonces el tamaño de la plantilla se limita alrededor de la hipótesis, o bien la plantilla se toma como todo el panorama. Esto reduce el tiempo de cálculo que es proporcional al área de la plantilla, y el riesgo de correlacionar con una zona similar aunque incorrecta.

20 Se determina 205 la incertidumbre de las estimaciones proporcionadas por la aplicación de la etapa 204 usando el mejor valor de correlación. El valor de correlación puede limitarse entre -1 y 1. Si este valor de correlación máximo es menor o igual a un valor C_t predefinido, la estimación proporcionada por la aplicación de la etapa 204 no se considera como fiable. Si el valor de correlación máximo es mayor que este valor C_t predefinido, la estimación proporcionada por la aplicación de la etapa 204 se considera como fiable.

25 Alternativamente, puede usarse la desviación estándar σ_{θ_3} de θ_3 para comprobar 205 la fiabilidad de esta estimación. Como ya se ha explicado, una estimación puede considerarse como fiable cuando su desviación estándar es más baja que un umbral predeterminado.

30 A continuación, una etapa 206 realiza una estimación de las coordenadas del robot x_4 , y_4 mediante el uso de un procedimiento ICP (Punto más Cercano por Iteración). Este procedimiento se describe por ejemplo en el artículo de Qi-Zhi Zhang y Ya-Li Zhou titulado "A hierarchical iterative closest point algorithm for simultaneous localization and mapping of mobile robot", 10th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), págs. 3652, 3656, 6-8 de julio de 2012.

35 Para esa finalidad, un sensor 3D calcula nubes de puntos. A continuación, se extraen líneas a partir de la nube de puntos en 3D para simplificar el procedimiento. Estas líneas se referenciarán en lo que sigue como "escaneados" y corresponden a un corte horizontal de la nube de puntos en 3D.

Se estima la posición del robot actual mediante el uso de un procedimiento de Punto más Cercano por Iteración. El procedimiento ICP es un planteamiento clásico que se usa ampliamente en robótica. Consiste en el movimiento del escaneado de consulta a partir de un punto de inicio para alinearle con el escaneado de referencia.

40 La incertidumbre puede deducirse de la distancia Chamfer del escaneado de referencia con el escaneado de consulta reposicionado final (que depende de la distancia de cada punto de escaneado de consulta al de referencia más próximo).

Pueden usarse las desviaciones estándar σ_{x_4} , σ_{y_4} de x_4 , y_4 para comprobar 207 la fiabilidad de esta estimación. Como ya se ha explicado, una estimación puede considerarse como fiable cuando su desviación estándar es más baja que un umbral predefinido.

45 La robustez y tiempo de convergencia del ICP depende grandemente del punto de comienzo. Si tiene una hipótesis preliminar fiable, el algoritmo convergerá rápida y fiablemente. Si no, puede dar falsas alineaciones. Si no hay ninguna hipótesis disponible, el elemento trata de construir una mediante el emparejamiento de formas reconocibles a partir del escaneado de referencia en la consulta, para obtener una primera aproximación. Esta aproximación se usa entonces como una hipótesis. El procedimiento de acuerdo con la invención implementa el ICP, etapa 206 como su última etapa de estimación. En otras palabras, las estimaciones 200, 202 y 204 que se realizan antes tienen el efecto de proporcionar hipótesis fiables en la entrada de la etapa 206 y por lo tanto reducen drásticamente sus necesidades de cálculo.

Las etapas 200, 202, 204 y 206 tomadas independientemente tienen sus propios inconvenientes y debilidades. Algunas requieren una hipótesis previa para mejorar su tasa de convergencia o son proclives a falsos positivos. La

mayoría proporciona solamente información parcial. Como un ejemplo, la etapa 202 proporciona solo una estimación θ_2 de la orientación del robot.

5 En la presente invención, las etapas de estimación se secuencian en un orden predefinido. Este orden predefinido se diseña de modo que la estimación de una etapa dada beneficiará a las etapas de estimación que se aplican posteriormente. A continuación, se combinan las estimaciones parciales que se proporcionan por las etapas anteriormente mencionadas para generar una estimación global.

Para cada etapa en la jerarquía, se proporcionan las estimaciones como hipótesis preliminares para la siguiente etapa. Por ejemplo, los x_1 , y_1 y θ_1 estimados por la etapa 200 se proporcionan como una hipótesis preliminar para las etapas 202, 204 y 206.

10 Mediante la aplicación de las etapas 200, 202, 204 y 206 una tras otra desde la más simple y robusta 200 a la más compleja y proclive a errores 206, se mejoran el tiempo de cálculo global así como la robustez de la estimación.

15 La forma en la que se ordenan las etapas 200, 202, 204 y 206 es un aspecto esencial de la invención. Realmente, esta jerarquía, es decir cómo se ordenan las etapas, se ha elegido para minimizar el tiempo de cálculo y para mejorar la tasa de éxito de cada etapa. Sin embargo, en una realización, las estimaciones no se transmiten 230, 231, 232 si no se consideran fiables.

20 La odometría 200 es el procedimiento menos complejo y proporciona una salida fiable siempre que no se haya empujado al robot o no se ha movido demasiado. La brújula 202 es más lenta, pero proporciona un cálculo bastante rápido y fiable de la orientación del robot y se aprovecha de tener un punto de inicio proporcionado por la odometría 200. La etapa de correlación 204 es pesada en términos de cálculos y proclive a errores si la búsqueda se realiza en la dirección incorrecta. Sin embargo, esta técnica tiene una tasa de éxito mucho más alta cuando usa hipótesis sobre la orientación y es más precisa que la brújula 202 si tiene éxito. Finalmente, la ICP 206 proporciona una estimación fiable x - y si la convergencia tiene éxito, que es el caso si tiene hipótesis preliminares, en particular en orientación.

25 Las etapas 200, 202, 204, 206 dan su salida en la forma de estimaciones. Estas estimaciones pueden convertirse en distribuciones de probabilidad que se combinan a continuación para obtener distribuciones de probabilidad globales.

Para esa finalidad, se usa la desviación estándar σ_{x1} , σ_{y1} , $\sigma_{\theta1}$, $\sigma_{\theta2}$, $\sigma_{\theta3}$, σ_{x4} y σ_{y4} para generar distribuciones de probabilidad $G(x_1)$, $G(y_1)$, $G(\theta_1)$, $G(\theta_2)$, $G(\theta_3)$, $G(x_4)$ y $G(y_4)$.

30 Estas distribuciones de probabilidad pueden generarse 220 usando el siguiente principio: $G(x_1)$ es una distribución gaussiana cuya desviación estándar es igual a σ_{x1} . $G(y_1)$, $G(\theta_1)$, $G(\theta_2)$, $G(\theta_3)$, $G(x_4)$ y $G(y_4)$ pueden generarse usando el mismo principio.

35 A continuación, se generan las distribuciones de probabilidad global. Para esa finalidad, se supone que todas las etapas 200, 202, 204, 206 son independientes. Esto es verdad en la práctica debido a que las salidas fiables se toman solamente como hipótesis preliminares mientras que el resultado final puede ser significativamente diferente. Adicionalmente, x , y y θ pueden considerarse también como independientes. Usando estas hipótesis, pueden calcularse 221 tres distribuciones globales $GLOB(x)$, $GLOB(y)$ y $GLOB(\theta)$ como sigue:

$$GLOB(x) = G(x_1) \times G(x_4)$$

$$GLOB(y) = G(y_1) \times G(y_4)$$

$$GLOB(\theta) = G(\theta_1) \times G(\theta_2) \times G(\theta_3)$$

40 La probabilidad máxima de esta distribución corresponde a la estimación 209 final de la posición. Adicionalmente, es posible también deducir un grado de certidumbre buscando en la función de distribución acumulada de la distribución global.

La figura 5 representa una arquitectura física de un robot humanoide en un cierto número de realizaciones de la invención.

45 Un robot puede calificarse como humanoide a partir del momento en el que tiene ciertos atributos de aspecto humano: 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 número mayor o menor 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 capturar señales del entorno ("oír", "ver", "tocar", "sentir", etc.) y reaccionar de acuerdo con comportamientos más o menos sofisticados, e interactuar con otros robots o humanos, bien mediante habla o bien por gestos.

50 El robot específico 500 de la figura es tomado como un ejemplo solamente de un robot humanoide en el que puede implementarse la invención. La extremidad inferior del robot en la figura no es funcional para caminar, pero puede moverse en cualquier dirección sobre su base 540 que rueda sobre la superficie en la que reposa. La invención

5 puede implementarse fácilmente en un robot que esté equipado para caminar. A modo de ejemplo, este robot tiene una altura 510 que puede ser de aproximadamente 120 cm, un fondo 520 de aproximadamente 65 cm y un ancho 530 de aproximadamente 40 cm. En una realización específica, el robot de la invención tiene una tableta 550 con la que puede comunicar mensajes (audio, video, 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 también usa el procesador de su propia placa base, que puede ser por ejemplo un ATOM™ Z530 de Intel™. Este robot puede incluir también ventajosamente un procesador que se dedica al manejo de los flujos de datos entre la placa base y, particularmente, las tarjetas que soportan los Codificadores Rotativos Magnéticos (MRE) y sensores que controlan los motores de las articulaciones en una extremidad y las bolas que usa el robot 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 articulación definida. Por ejemplo, pueden usarse motores de CC sin núcleo con escobillas de e-minebea™ (SE24P2CTCA por ejemplo), o motores de CC sin escobillas de Maxon™ (EC45_70W por ejemplo). Los MRE son preferentemente de un tipo que usa el efecto Hall, con 12 o 14 bits de precisión. En realizaciones de la invención, el robot representado en la figura 1 también comprende varias clases de sensores. Algunos de ellos se usan para controlar la posición y movimientos del robot. Este es el caso, por ejemplo, de una unidad inercial, localizada 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 en color RGB en 2D en la frente del robot (superior e inferior) del tipo sistema en chip (SOC), tal como las de Shenzhen V-Vision Technology Ltd™ (OV5640), con una resolución de 5 megapíxeles a 5 imágenes por segundo y un campo de visión (FOV) de aproximadamente 57° en horizontal y 44° en vertical. Puede incluir también un sensor 3D por detrás de los ojos del robot, tal como un sensor SOC ASUS XTION™ con una resolución de 0,3 megapíxeles a 20 imágenes por segundo, con aproximadamente el mismo FOV que las cámaras 2D. El robot de la invención puede estar equipado también con generadores de líneas láser, por ejemplo tres en la cabeza y tres en la base de modo que sea capaz de detectar su posición relativa a objetos/seres en su entorno. El robot de la invención puede incluir también micrófonos para ser capaz de detectar sonidos en su entorno. En una realización, pueden implantarse cuatro micrófonos con una sensibilidad de 300mV/Pa +/-3dB a 1 kHz y un intervalo de frecuencias de 300Hz a 12kHz (-10dB relativa a 1 kHz) sobre la cabeza del robot. El robot de la invención puede incluir también dos sensores de sonar, posiblemente localizados en el frontal 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 seres humanos. Puede incluir también parachoques sobre su base para detectar obstáculos que encuentra en su camino.

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

- unos LED, por ejemplo en sus ojos, oídos y sobre sus hombros;
- altavoces, por ejemplo dos, localizados en sus oídos.

35 El robot puede comunicar con una estación base u otros robots usando una conexión Ethernet RJ45 o una WiFi 802.11.

El robot puede estar alimentado por una batería de fosfato de hierro y litio con una energía de aproximadamente 400 Wh. El robot pueda acceder a una estación de carga adecuada para el tipo de batería que incluye.

40 La posición/movimientos de los robots se controlan por sus motores, usando algoritmos que activan las cadenas definidas en cada extremidad y efectores definidos en el extremo de cada extremidad, a la vista de las mediciones de los sensores.

45 El aparato, procedimientos y configuraciones tal como se han descrito anteriormente y en los dibujos son para una facilidad de descripción solamente y no se dirigen a restringir el aparato o procedimientos a una disposición o procedimiento particular durante el uso. La invención se ha descrito para un robot humanoide pero el experto en la materia apreciará que puede ser aplicable a cualquier elemento móvil tal como un coche.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de localización de un robot en un plano de localización asociado con una referencia bidimensional con dos ejes x e y que comprende las siguientes etapas:

- 5 - determinar (200) por odometría una estimación de las coordenadas x1 e y1 del robot en el plano de localización, así como una estimación de su orientación θ_1 relativamente a una dirección de referencia;
- determinar (202) una estimación θ_2 de la orientación del robot mediante el uso de una brújula virtual que identifica al menos dos pares de puntos de interés, siendo identificados los primeros puntos de cada par en un panorama de referencia y siendo identificado un segundo punto de cada par en un panorama de consulta, siendo inicializada esta etapa con θ_1 ;
- 10 - determinar (204) una estimación θ_3 de la orientación del robot mediante la correlación de partes del panorama de referencia con partes del panorama de consulta y mediante la identificación de cuándo se maximiza la correlación, siendo inicializada esta etapa con una de las estimaciones previas de la orientación;
- determinar (206) una estimación x4, y4 de la posición del robot en el plano de localización mediante el uso de una técnica del Punto más Cercano por Iteración, siendo inicializada esta etapa con x1 e y1, usando las técnicas del Punto más Cercano por Iteración una nube de puntos en 3D como una entrada e hipótesis preliminar en la orientación;
- 15 - determinar las desviaciones estándar σ_{x1} , σ_{y1} , σ_{θ_1} , σ_{θ_2} , σ_{θ_3} , σ_{x4} , σ_{y4} de las estimaciones anteriormente mencionadas;
- determinar (220) las distribuciones de probabilidad gaussianas G(x1), G(y1), G(θ_1), G(θ_2), G(θ_3), G(x4) y G(y4) de cada estimación disponible usando dichas desviaciones estándar;
- 20 - determinar (221) tres distribuciones globales GLOB(x), GLOB(y) y GLOB(θ) respectivamente para las coordenadas a lo largo de los ejes x e y, y para la orientación θ del robot mediante la combinación de dichas distribuciones de probabilidad gaussianas y la determinación de una estimación global xg, yg de las coordenadas del robot en el plano de localización así como una estimación global θ_g de su orientación mediante la aplicación del procedimiento de máxima probabilidad a las distribuciones globales.
- 25

2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las estimaciones proporcionadas por una etapa dada se usan por una etapa posterior solamente si se consideran (201, 203, 205, 207) como fiables.

3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que una estimación se considera como fiable cuando su desviación estándar es menor que un umbral predefinido.

30 4. El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que las distribuciones de probabilidad global se deducen como sigue:

$$GLOB(x) = G(x1) \times G(x4)$$

$$GLOB(y) = G(y1) \times G(y4)$$

$$GLOB(\theta) = G(\theta_1) \times G(\theta_2) \times G(\theta_3)$$

35 5. El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor θ_3 se estima (204) basándose en un emparejamiento de plantillas de imagen que se realiza sobre dos pirámides de imágenes, siendo generada una primera pirámide (401) de imágenes a partir de una única imagen (420) de referencia mediante su reducción de escala usando varias etapas de escalado, siendo generada la segunda pirámide (400) de imágenes a partir de una única imagen (410) de consulta mediante su reducción de escala usando varias etapas de escalado.

40 6. Un robot (510) que comprende al menos:

- una cámara RGB en 2D para construir un panorama de consulta que comprende al menos una imagen de referencia;
- capacidades de procesamiento adaptadas para implementar el procedimiento para localizar el robot de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores basándose en dicho panorama de consulta.

45 7. El robot de acuerdo con la reivindicación 6, en el que se usa un sensor 3D para calcular nubes de puntos para implementar la Técnica del Punto más Cercano por Iteración (206).

8. Un producto de programa informático, almacenado en un medio legible por ordenador que comprende medios de código para hacer que un ordenador implemente el procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.

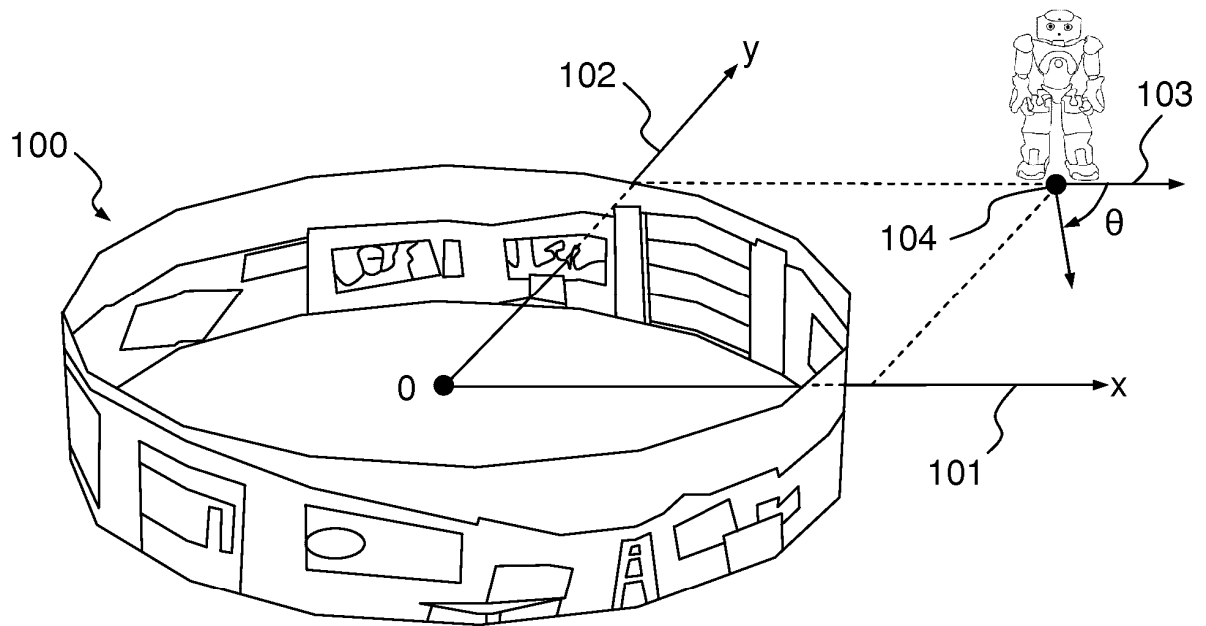


FIG. 1

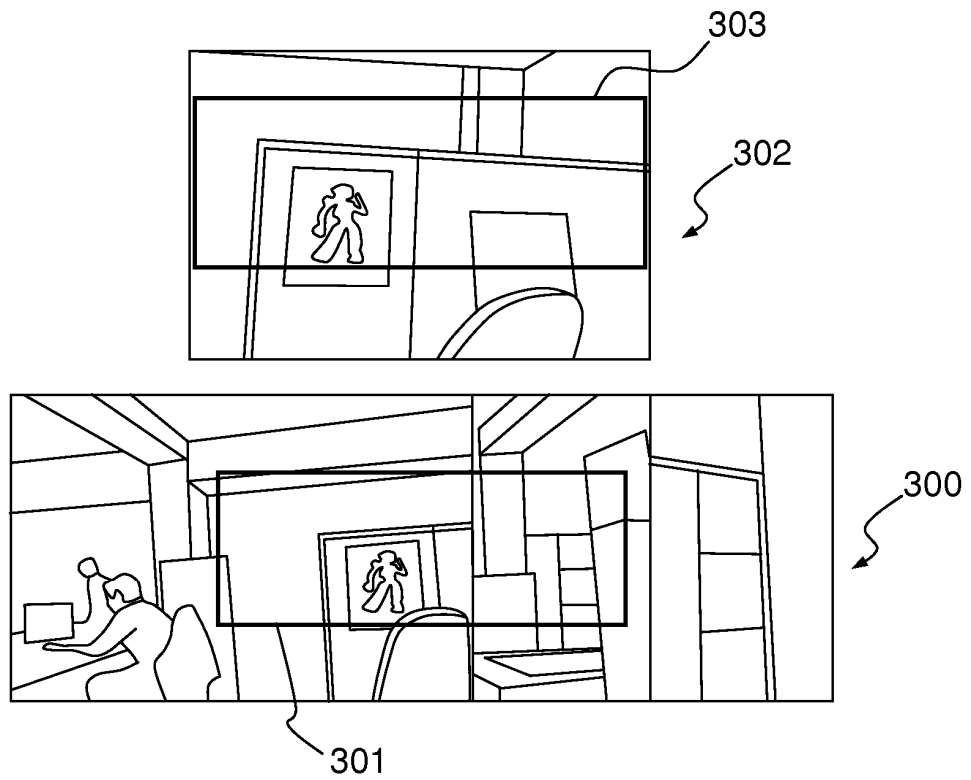


FIG. 3

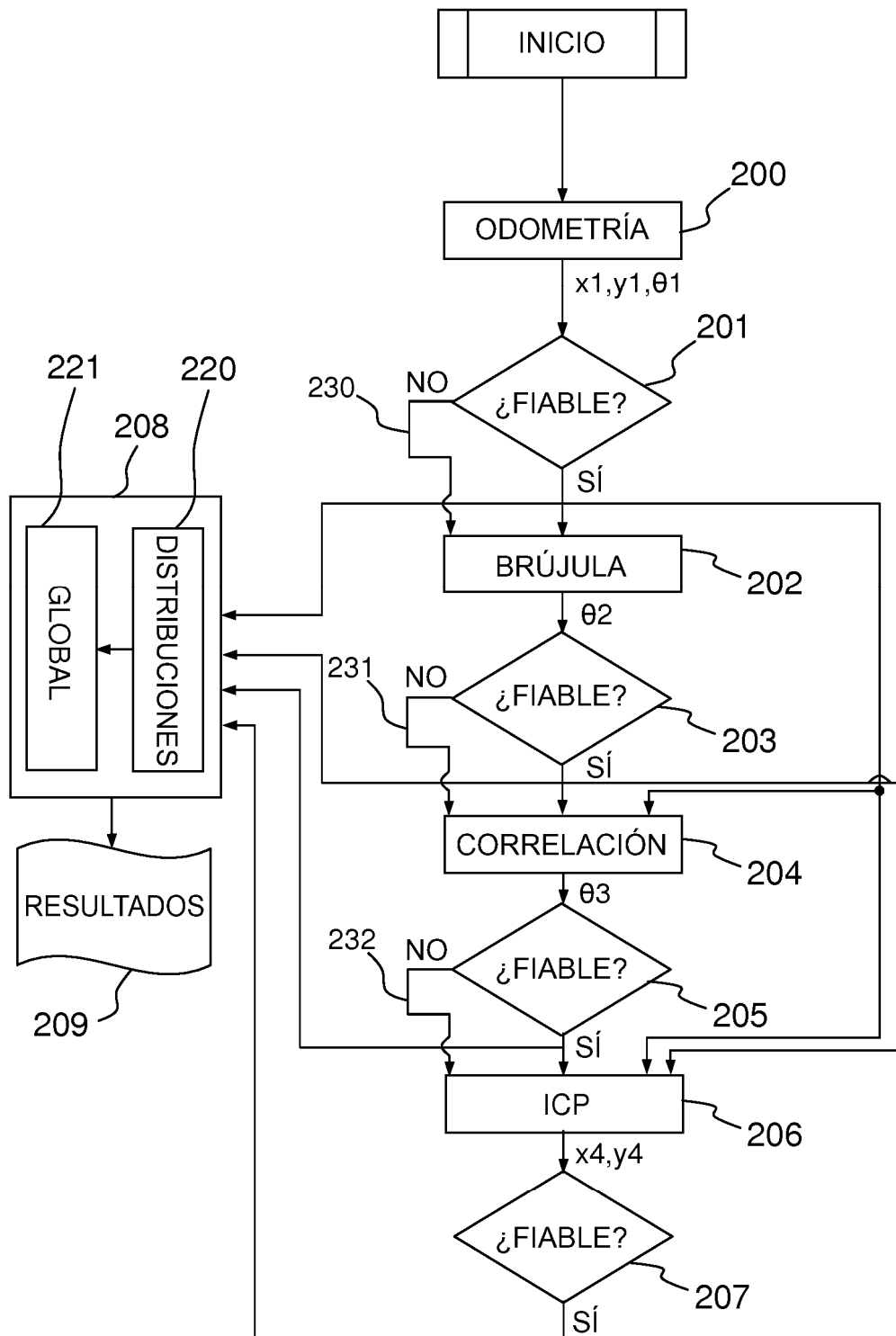


FIG.2

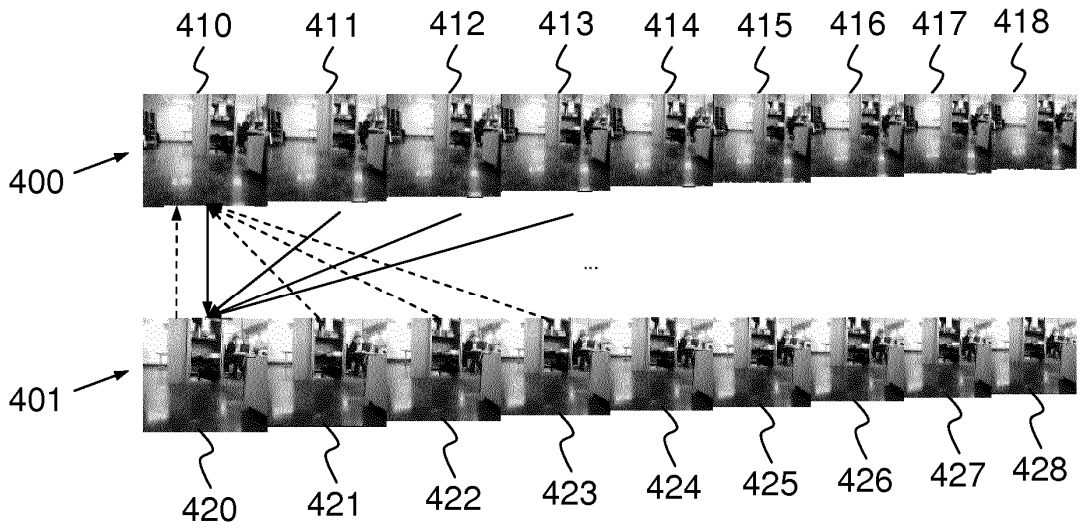


FIG.4

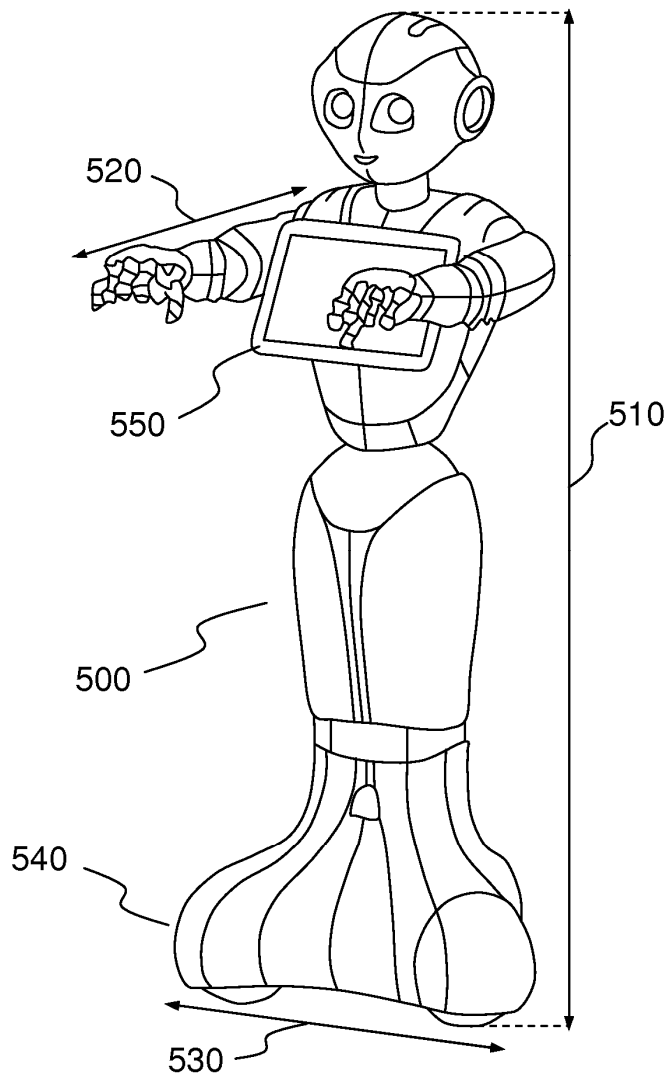


FIG.5