



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 366 689**

51 Int. Cl.:
G05D 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02734767 .3**

96 Fecha de presentación : **12.06.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1395888**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.03.2004**

54

Título: **Procedimiento y sistema para una cobertura multimodo para un robot autónomo.**

30

Prioridad: **12.06.2001 US 297718 P**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
24.10.2011

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
24.10.2011

73

Titular/es: **IROBOT CORPORATION**
8 Crosby Drive
Bedford, Massachusetts 01730, US

72

Inventor/es: **Jones, Joseph y**
Mass, Philip, R.

74

Agente: **Arias Sanz, Juan**

ES 2 366 689 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 y sistema para una cobertura multimodo para un robot autónomo.

Mención de solicitud provisional

5 Esta solicitud PCT reivindica prioridad sobre la solicitud provisional de patente de Estados Unidos número de serie 60/297.718, presentada el 12 de junio de 2001.

Campo de la invención

Esta invención se refiere en general a vehículos o robots autónomos y, más específicamente, a procedimientos y a dispositivos robóticos móviles para cubrir un área específica que puedan requerirse por, o utilizarse como, limpiadores robóticos o cortadoras de césped.

10 **Antecedentes**

Para los fines de esta descripción, los ejemplos se centrarán en los problemas a los que se ha enfrentado la técnica anterior en lo que respecta a una limpieza robótica (por ejemplo, quitar el polvo, dar brillo, barrer, fregar el suelo, limpiar en seco o pasar la aspiradora). Sin embargo, la invención reivindicada sólo está limitada por las reivindicaciones, y un experto en la técnica reconocerá los múltiples usos de la presente invención más allá de una
15 limpieza doméstica en entornos cerrados.

Los ingenieros robóticos han trabajado durante mucho tiempo en el desarrollo de un procedimiento eficaz de limpieza autónoma. A modo de introducción, el rendimiento de los robots de limpieza debe centrarse en tres medidas prácticas: cobertura, tasa de limpieza y efectividad percibida. La cobertura es el porcentaje del espacio disponible recorrido por el robot durante un tiempo de limpieza fijado y, de manera ideal, un robot de limpieza proporciona una
20 cobertura del 100 por cien dado un tiempo de funcionamiento infinito. Desafortunadamente, los diseños de la técnica anterior dejan sin cubrir frecuentemente algunas zonas, independientemente de la cantidad de tiempo que se deje al dispositivo para completar sus tareas. La imposibilidad de conseguir una cobertura completa puede deberse a limitaciones mecánicas, por ejemplo el tamaño y la forma del robot pueden impedir que llegue a determinadas zonas, o el robot puede quedar atrapado sin poder modificar su control para liberarse. La imposibilidad de conseguir una
25 cobertura completa también puede deberse a un algoritmo de cobertura inadecuado. El algoritmo de cobertura es el conjunto de instrucciones utilizado por el robot para controlar su movimiento. Para los fines de la presente invención, la cobertura se trata como un porcentaje del área disponible recorrida por el robot durante un tiempo de limpieza finito. Debido a limitaciones mecánicas y/o algorítmicas, determinadas zonas del espacio disponible pueden omitirse sistemáticamente. Tal omisión sistemática es una limitación importante de la técnica anterior.

30 Una segunda medida del rendimiento de un robot de limpieza es la tasa de limpieza dada en unidades de área limpiada por unidad de tiempo. La tasa de limpieza se refiere al grado en que aumenta el área de suelo que se ha limpiado; la tasa de cobertura se refiere al grado en que el robot cubre el suelo independientemente de si el suelo estaba limpio o sucio anteriormente. Si la velocidad del robot es v y el ancho del mecanismo de limpieza del robot (también denominado ancho de trabajo) es w , entonces la tasa de cobertura del robot es simplemente wv , pero su
35 tasa de limpieza puede ser drásticamente inferior.

Un robot que se mueve de una manera puramente aleatoria en un entorno cerrado tiene una tasa de limpieza que disminuye con respecto a la tasa de cobertura del robot como una función de tiempo. Esto se debe a que cuanto más tiempo funcione el robot, mayor será la probabilidad de vuelva a pasar por zonas ya limpiadas. El diseño óptimo tiene una tasa de limpieza equivalente a la tasa de cobertura, minimizando de este modo limpiezas repetidas
40 innecesarias en el mismo punto. Dicho de otro modo, la relación de la tasa de limpieza con respecto a la tasa de cobertura es una medida de eficacia y una tasa de limpieza óptima indicará la cobertura del mayor porcentaje del área designada con el mínimo número de pasadas acumulativas o redundantes sobre un área ya limpiada.

Una tercera medida del rendimiento del robot de limpieza es la efectividad percibida del robot. Esta medida se ha ignorado en la técnica anterior. Un desplazamiento deliberado y un determinado desplazamiento modelizado es una
45 característica favorable ya que los usuarios percibirán un robot que realiza un movimiento deliberado más eficaz.

Aunque la tasa de cobertura, la tasa de limpieza y la efectividad percibida son los criterios de rendimiento analizados en este documento, una realización preferida de la presente invención también tiene en cuenta la facilidad de utilización en habitaciones de diferentes formas y tamaños (que contengan una pluralidad de obstáculos no conocidos) y el coste de los componentes robóticos. Otros criterios de diseño también pueden influir en el diseño, por
50 ejemplo la necesidad de evitar colisiones y una respuesta apropiada a otros imprevistos.

Tal y como se describe en detalle en el documento "*Mobile Robots: Inspiration to Implementation*", de Jones, Flynn y Seiger, segunda edición, 1999, A K Peters, Ltd, y en otros documentos, se han llevado a cabo numerosos intentos

para fabricar robots de limpieza y de aspirado. Cada uno de estos robots ha afrontado un reto similar: cómo cubrir de manera eficaz el área designada dadas unas reservas de energía limitadas.

En este documento, una limpieza totalmente eficaz, donde la tasa de limpieza es igual a la tasa de cobertura, se denomina como limpieza determinista. Tal y como se muestra en la FIG. 1A, un robot 1 que sigue una trayectoria determinista se desplaza de tal manera que cubre completamente el área 2 evitando al mismo tiempo toda limpieza redundante. Una limpieza determinista requiere que el robot sepa dónde está y dónde ha estado; esto requiere a su vez un sistema de posicionamiento. Tal sistema de posicionamiento, un sistema de posicionamiento lo bastante preciso como para permitir que la limpieza determinista se base en sistemas de exploración láser, transductores ultrasónicos, GPS diferencial de fase de portadora, u otros procedimientos, puede ser extremadamente caro y requerir una configuración por parte del usuario específica con respecto a la geometría particular de una habitación. Además, los procedimientos que se basan en el posicionamiento global se ven afectados normalmente por fallos en cualquier parte del sistema de posicionamiento.

Un ejemplo de utilización de tecnologías de detección altamente sofisticadas (y caras) para producir una limpieza determinista es el dispositivo *RoboScrub* fabricado por *Denning Mobile Robotics* y *Windsor Industries* que utiliza detectores con sonda, detectores infrarrojos, sensores de choque y navegación láser de alta precisión. El sistema de navegación del dispositivo *RoboScrub* requiere colocar grandes blancos con códigos de barras en diferentes ubicaciones de la habitación. El requisito de que el dispositivo *RoboScrub* tenga que detectar al menos cuatro blancos simultáneamente es un problema operativo importante. Por lo tanto, el dispositivo *RoboScrub* está limitado a limpiar grandes espacios abiertos.

Otro ejemplo, *RoboKent*, un robot fabricado por la *Kent Corporation*, sigue una estrategia de posicionamiento global similar al *RobotScrub*. El robot *RoboKent* prescinde del sistema de posicionamiento láser más caro del dispositivo *RobotScrub*, pero esto ha provocado que el robot *RoboKent* deba limitarse solamente a áreas con una geometría rectangular simple, por ejemplo, largos pasillos. En estas regiones más concretas, basta la corrección de posición realizada por las mediciones de exploración del sonda. Otros sistemas de limpieza determinista se describen, por ejemplo, en las patentes de Estados Unidos números 4.119.900 (Kremnitz), 4.700.427 (Knepper), 5.353.224 (Lee et al.), 5.537.017 (Feiten et al.), 5.548.511 (Bancroft) y 5.650.702 (Azumi). El documento DE19849978 es otro ejemplo de un robot de limpieza.

Debido a las limitaciones y dificultades de la limpieza determinista, algunos robots se han basado en esquemas pseudodeterministas. Un procedimiento que proporciona una limpieza pseudodeterminista es un procedimiento de navegación autónoma conocido como situación por estima. La situación por estima consiste en medir la rotación precisa de cada rueda propulsora del robot (utilizando por ejemplo codificadores de eje ópticos). De este modo, el robot puede calcular su posición esperada en el entorno dado un punto de partida conocido y la orientación. Un problema de esta técnica es el resbalamiento de las ruedas. Si se produce un resbalamiento, el codificador de esa rueda registra una rotación de rueda incluso aunque la rueda no esté impulsando al robot con respecto al suelo. Tal y como se muestra en la FIG. 1B, a medida que el robot 1 recorre la habitación, los errores de resbalamiento de las ruedas propulsoras se acumulan, lo que hace que este tipo de sistema no sea fiable para recorridos de cualquier duración sustancial. (La trayectoria ya no consiste en filas muy próximas entre sí, en comparación con la cobertura determinista mostrada en la FIG. 1A). El resultado de confiar en la situación por estima es una omisión sistemática que no puede controlarse; dicho de otro modo, zonas del suelo quedan sin limpiar.

Un ejemplo de un sistema pseudodeterminista es el robot *Cye* de *Probotics, Inc.* El robot *Cye* depende exclusivamente de la situación por estima y, por lo tanto, toma medidas importantes para maximizar el rendimiento de su sistema de situación por estima. El robot *Cye* debe comenzar en un punto de registro físico instalado por el usuario en una ubicación conocida en la que el robot fija su posición y orientación. Después, el robot *Cye* realiza un seguimiento de la posición a medida que aleja de ese punto. A medida que el robot *Cye* se desplaza, aumenta la incertidumbre en lo que se refiere a su posición y orientación. El robot *Cye* debe volver a un punto de calibración antes de que este error se vuelva tan grande que sea casi imposible localizar un punto de calibración. Si se quita o se bloquea un punto de calibración o si se produce un resbalamiento excesivo de las ruedas, entonces el robot *Cye* se pierde (posiblemente sin darse cuenta de que se ha perdido). Por lo tanto, el robot *Cye* es adecuado para utilizarse solamente en entornos adecuados relativamente pequeños. Otros ejemplos de este enfoque se dan a conocer en las patentes de Estados Unidos números 5.109.566 (Kobayashi et al.) y 6.255.793 (Peless et al.).

Otro enfoque de limpieza robótica es un movimiento puramente aleatorio. Tal y como se muestra en la FIG. 1C, en una habitación típica sin obstáculos, un algoritmo de movimiento aleatorio proporcionará una cobertura aceptable dado un tiempo de limpieza significativo. En comparación con un robot con un algoritmo determinista, un robot de limpieza aleatoria debe funcionar durante más tiempo para conseguir una cobertura aceptable. Para tener la certeza de que el robot de movimiento aleatorio ha limpiado el 98% de una habitación sin obstáculos, el robot de movimiento aleatorio debe funcionar durante un periodo de tiempo 5 veces mayor al de un robot determinista con el mismo mecanismo de limpieza moviéndose a la misma velocidad.

Las limitaciones de cobertura de un algoritmo aleatorio pueden observarse en la FIG. 1D. Un obstáculo 5 en la habitación puede crear el efecto de dividir la habitación en una pluralidad de estancias. La cobertura a lo largo del tiempo de un robot de algoritmo aleatorio en tal habitación es análoga a densidad de gas liberado en el tiempo en una estancia de un volumen confinado. Inicialmente, la densidad de gas es mayor en la estancia en la que se libera y menor en las estancias más distantes. De manera similar, es más probable que el robot limpie minuciosamente la estancia desde la que parte, en lugar de las estancias más distantes, en una fase temprana del proceso. Transcurrido el tiempo suficiente, el gas alcanza un equilibrio con igual densidad en todas las estancias. Asimismo, transcurrido el tiempo suficiente, el robot limpiará todas las zonas minuciosamente. Sin embargo, las limitaciones prácticas en el suministro de energía provocan generalmente que el robot no disponga del tiempo suficiente para limpiar todas las zonas de un espacio lleno de obstáculos. En este documento, este fenómeno se denomina como el problema de difusión del robot.

Tal y como se ha mencionado, la técnica anterior disponible en el mercado no ha podido generar un algoritmo de cobertura eficaz para un área con una geometría no conocida. Tal y como se ha indicado anteriormente, la técnica anterior se ha basado en sistemas sofisticados de marcadores o balizas o ha limitado la utilización del robot a habitación con geometrías rectangulares simples. Los intentos de utilizar algoritmos de control seudodeterministas pueden omitir sistemáticamente algunas zonas del espacio.

Sumario de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un procedimiento para permitir que un robot móvil funcione en una pluralidad de modos con el fin de cubrir un área de manera eficaz.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un robot móvil, con al menos un sensor, que funcione en una pluralidad de modos que incluyen cobertura localizada, seguimiento de obstáculo y rebote.

Un objeto adicional de la invención es proporcionar un robot móvil que alterne entre el modo de seguimiento de obstáculo y el modo de rebote para garantizar la cobertura.

Un objeto de la invención es volver a la cobertura localizada después de que el robot haya recorrido una distancia predeterminada.

Un objeto de la invención es proporcionar un robot móvil que pueda realizar un seguimiento de la distancia media entre obstáculos y utilizar la distancia media como una entrada para alternar entre modos de funcionamiento.

Otro objeto adicional de la invención es optimizar la distancia que el robot recorre en el modo de seguimiento de obstáculo en función de la frecuencia de seguimiento de obstáculo y el ancho de trabajo del robot, y proporcionar una distancia mínima y máxima para funcionar en el modo de seguimiento de obstáculo.

Un objeto de una realización preferida de la invención es utilizar un sistema de control para un robot móvil con un programa de sistema de funcionamiento que pueda llevar a cabo una pluralidad de comportamientos y utilizar un árbitro para seleccionar qué comportamiento controla al robot.

Otro objeto adicional de la invención es incorporar varios programas o comportamientos de escape para evitar que el robo quede atrapado.

Finalmente, un objeto de la invención es proporcionar uno o más procedimientos para controlar que un robot móvil se beneficie de los diversos objetos y ventajas dados a conocer en este documento.

Breve descripción de los dibujos

Estas y otras características de la presente invención resultarán evidentes con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

Las FIG. 1A a 1D ilustran patrones de cobertura de varios robots de la técnica anterior.

La FIG. 2 es una representación esquemática en una vista desde arriba de los componentes básicos de un robot móvil utilizado en una realización preferida de la invención.

La FIG. 3 muestra un diagrama de bloques de hardware del robot mostrado en la FIG. 2.

La FIG. 4A es un diagrama que muestra un procedimiento para determinar el ángulo en el que el robot se topa con un obstáculo; la FIG. 4B es un diagrama que muestra la orientación de una realización preferida del sistema de control de robot.

La FIG. 5 es una representación esquemática de los modos de funcionamiento de la presente invención.

La FIG. 6A es una representación esquemática del patrón de cobertura para una realización preferida de comportamiento en ESPIRAL; la FIG. 6B es una representación esquemática del patrón de cobertura para una realización alternativa de comportamiento en ESPIRAL; la FIG. 6C es una representación esquemática del patrón de cobertura para otra realización alternativa adicional de comportamiento en ESPIRAL.

5 La FIG. 7 es una ilustración de un diagrama de flujo del algoritmo de cobertura localizada de una realización preferida de la invención.

Las FIG. 8A y 8B son representaciones esquemáticas del patrón de cobertura para una realización preferida de funcionamiento en el modo de seguimiento de obstáculo.

10 La FIG. 9A es una ilustración de un diagrama de flujo del algoritmo de seguimiento de obstáculo de una realización preferida de la invención. La FIG. 9B es una ilustración de un diagrama de flujo de un algoritmo preferido para determinar cuándo salir del modo de seguimiento de obstáculo.

La FIG. 10 es una representación esquemática del patrón de cobertura para una realización preferida de comportamiento de REBOTE.

15 La FIG. 11 es una ilustración de un diagrama de flujo del algoritmo de cobertura de habitación de una realización preferida de la invención.

Las FIG. 12A y 12B son ilustraciones de diagramas de flujo de un comportamiento de escape a modo de ejemplo.

20 La FIG. 13A es una representación esquemática del patrón de cobertura de un robot móvil con un solo modo de funcionamiento; la FIG. 13B es una representación esquemática del patrón de cobertura para una realización preferida de la presente invención que utiliza el modo de seguimiento de obstáculo y el modo de cobertura de habitación.

La FIG. 14 es una representación esquemática del patrón de cobertura para una realización preferida de la presente invención que utiliza el modo de cobertura localizada, el modo de seguimiento de obstáculo y el modo de cobertura de habitación.

Descripción detallada de la realización preferida

25 En la presente invención, un robot móvil está diseñado para proporcionar la máxima cobertura en una tasa de cobertura eficaz en una habitación de geometría no conocida. Además, la efectividad percibida del robot se mejora mediante la inclusión de movimiento modelizado o deliberado. Además, en una realización preferida, una cobertura eficaz requiere un sistema de control que pueda impedir que el robot quede inmovilizado en un entorno no conocido.

30 Aunque las estructuras físicas de los robots móviles se conocen en la técnica, en este documento se describen los componentes de una realización preferida a modo de ejemplo de la presente invención. Una realización preferida de la presente invención es una barredora robótica sustancialmente circular que contiene determinadas características. Tal y como se muestra en la FIG. 2, por ejemplo, el robot móvil 10 de una realización preferida incluye un bastidor 11 que soporta componentes mecánicos y eléctricos. Estos componentes incluyen varios sensores, que incluyen dos sensores de choque 12 y 13 situados en la parte delantera del robot, cuatro sensores de desnivel 14 situados en la carcasa de robot 15 y un sensor de seguimiento de pared 16 montado en la carcasa de robot 15. En otras realizaciones, en el robot puede utilizar tan solo un sensor. Un experto en la técnica reconocerá que el (los) sensor(es) pueden ser de varios tipos incluyendo sensores con s3nar, táctiles, electromagnéticos, capacitivos, etc. Debido a limitaciones en los costes, una realización preferida de la presente invención utiliza sensores de choque (táctiles) 12 y 13 y sensores de proximidad IR reflexivos para los sensores de desnivel 14 y el sensor de seguimiento de pared 16. Los detalles de los sensores IR se describen en la solicitud de patente de Estados Unidos U.S.S.N. 40 09/768.773, cuya descripción se incorpora en este documento como referencia.

45 Una realización preferida del robot también contiene dos ruedas 20, motores 21 para accionar las ruedas de manera independiente, un microcontrolador económico de gama baja 22 y una batería recargable 23 u otra fuente de alimentación conocida en la técnica. Estos componentes son ampliamente conocidos en la técnica y no se describen en detalle en este documento. El dispositivo de limpieza rob3tico 10 incluye adem3s uno o m3s cabezales de limpieza 30. El cabezal de limpieza puede contener un aspirador, varios cepillos, esponjas, bayetas, pa3os electrost3ticos o una combinaci3n de varios elementos de limpieza. La realizaci3n mostrada en la FIG. 2 tambi3n incluye un cepillo lateral 32.

50 Tal y como se ha mencionado anteriormente, una realizaci3n preferida del dispositivo de limpieza rob3tico 10 comprende una carcasa exterior 15 que define un lado dominante, un lado no dominante y una parte delantera del robot 10. El lado dominante del robot es el lado que se mantiene cerca o en contacto con un objeto (u obst3culo) cuando el robot limpia el 3rea adyacente a ese objeto (u obst3culo). En una realizaci3n preferida, como la mostrada

en la FIG. 1, el lado dominante del robot 10 es el lado derecho con respecto a la dirección principal de desplazamiento, aunque en otras realizaciones el lado dominante puede ser el lado izquierdo. En otras realizaciones adicionales, el robot puede ser simétrico y, por lo tanto, no necesita un lado dominante; sin embargo, en una realización preferida, un lado dominante se elige por motivos de coste. La dirección principal de desplazamiento es como la mostrada en la FIG. 2 mediante la flecha 40.

En una realización preferida, dos sensores de choque 12 y 13 están situados delante de las ruedas 20 con respecto a la dirección de avance, mostrada por la flecha 40. Un sensor de choque 13 está situado en el lado dominante del robot 10 y el otro sensor de choque 12 está situado en el lado no dominante del robot 10. Cuando ambos sensores de choque 12 y 13 se activan simultáneamente, el robot 10 reconoce un obstáculo en la posición delantera. En otras realizaciones pueden utilizarse un número mayor o menor de sensores de choque individuales. Asimismo, puede utilizarse cualquier número de sensores de choque para dividir el dispositivo en cualquier número de segmentos radiales. Aunque en una realización preferida los sensores de choque 12 y 13 son sensores de interrupción de haz IR activados por el contacto entre el robot 10 y un obstáculo, pueden utilizarse otros tipos de sensores, incluyendo conmutadores mecánicos y sensores capacitivos que detectan la capacitancia de objetos que tocan el robot o entre dos placas metálicas del parachoques que se comprimen con el contacto. También pueden utilizarse sensores de no contacto, que permiten al robot detectar la proximidad con respecto a los objetos sin tocar físicamente el objeto, tales como sensores capacitivos o una cortina de luz IR.

Es útil disponer de un sensor o sensores que puedan indicar no solamente si se ha hecho contacto con una superficie (o si está cerca), sino además el ángulo con respecto al robot en que se ha producido el contacto. En el caso de una realización preferida, el robot puede calcular el tiempo entre la activación de los conmutadores de choque izquierdo y derecho 12 y 13, si ambos están activados. Por tanto, el robot puede estimar el ángulo en que se produjo el contacto. En una realización preferida mostrada en la FIG. 4A, el sensor de choque comprende un único parachoques mecánico 44 en la parte delantera del robot con sensores 42 y 43 sustancialmente en los dos extremos del parachoques que detectan el movimiento del parachoques. Cuando el parachoques se comprime, el tiempo transcurrido entre los eventos de sensor se utiliza para calcular el ángulo aproximado en que el robot hizo contacto con el obstáculo. Cuando el parachoques se comprime desde el lado derecho, el sensor de choque derecho detecta el choque en primer lugar, seguido del sensor de choque izquierdo, debido a la elasticidad del parachoques y la geometría del detector de choque. De esta manera, el ángulo de choque puede aproximarse solamente con dos sensores de choque.

Por ejemplo, en la FIG. 4A, los sensores de choque 42 y 43 pueden dividir la parte delantera del robot en seis regiones (I - VI). Cuando un sensor de choque se activa, el robot calcula el tiempo antes de que se active el otro sensor (si se activa). Por ejemplo, cuando se activa el sensor de choque derecho 43, el robot mide el tiempo (t) antes de que se active el sensor de choque izquierdo 42. Si t es menor que t_1 , entonces el robot supone que el contacto se ha producido en la región IV. Si t es mayor que o igual a t_1 y menor que t_2 , entonces el robot supone que el contacto se ha producido en la región V. Si t es mayor que o igual a t_2 (incluyendo el caso en que el sensor de choque izquierdo 42 no se activa en el tiempo previsto), entonces el robot supone que el contacto se ha producido en la región VI. Si los sensores de choque se activan simultáneamente, el robot supone que el contacto se ha producido justo en la parte delantera. Este procedimiento puede utilizarse para dividir el parachoques en un número arbitrariamente grande de regiones (para una mayor precisión) dependiendo del tiempo transcurrido utilizado y de la geometría del parachoques. Como una ampliación, pueden utilizarse tres sensores para calcular el ángulo de choque en tres dimensiones en lugar de solamente en dos dimensiones como en el ejemplo anterior.

Una realización preferida también contiene un sensor de seguimiento de pared o de detección de pared 16 montado en el lado dominante del robot 10. En una realización preferida, el sensor de seguimiento de pared es un sensor IR compuesto por un par emisor y detector colimado, de manera que se produce un volumen de intersección finito en la posición esperada de la pared. Este punto de enfoque está aproximadamente a una distancia de 7,62 cm (3 pulgadas) por delante de la rueda propulsora en la dirección de avance del robot. El alcance radial de la detección de pared es aproximadamente de 1,9 cm (0,75 pulgadas).

Una realización preferida también contiene cualquier número de sensores de desnivel IR 14 que impiden que el dispositivo se caiga por unas escaleras o sufra otras caídas verticales. Estos sensores de desnivel tienen una construcción similar a la del sensor de seguimiento de pared pero destinada a observar el suelo en lugar de una pared. Como una medida de seguridad y de detección adicional, el robot 10 incluye un sensor de descenso de rueda que puede detectar si una o más ruedas no están apoyadas en el suelo. Por lo tanto, este sensor de descenso de rueda puede detectar no solamente desniveles, sino también varios obstáculos sobre los cuales puede pasar el robot, tales como bases de lámparas, transiciones a un suelo más elevado, un grupo de cables, etc.

Otras realizaciones pueden utilizar otros sensores conocidos o combinaciones de sensores.

La FIG. 3 muestra un diagrama de bloques de hardware del controlador y del robot de una realización preferida de la

invención. En una realización preferida, se utiliza un procesador de la serie W78XXX de Winbond. Es un microcontrolador compatible con la familia MCS-51 con 36 puertos de E/S de propósito general, 256 bytes de RAM y 16K de ROM. Está sincronizado a 40 MHz, valor que se reduce para una velocidad de procesador de 3,3 MHz. Tiene dos temporizadores que se utilizan para lanzar interrupciones utilizadas para procesar los sensores y generar

5 señales de salida, así como un temporizador de vigilancia. Los bits menos significativos del temporizador rápido también se utilizan como números aleatorios aproximados cuando se necesitan en los comportamientos. También hay dos interrupciones externas que se utilizan para capturar las entradas de codificador de las dos ruedas propulsoras. El procesador también tiene un UART que se utiliza para probar y depurar el programa de control del robot.

10 Los puertos de E/S del microprocesador están conectados a los sensores y a los motores del robot y son la interfaz que lo conectan al estado interno del robot y a su entorno. Por ejemplo, los sensores de descenso de rueda están conectados a un puerto de entrada y la señal PWM de motor de cepillo se genera en un puerto de salida. La ROM del microprocesador se utiliza para almacenar el programa de control y de cobertura del robot. Esto incluye los comportamientos (descritos posteriormente), algoritmos de procesamiento de sensor y generación de señales. La

15 RAM se utiliza para almacenar el estado activo del robot, tal como la distancia media entre choques, el tiempo y distancia de recorrido y el ID del comportamiento activo y sus comandos de motor actuales.

Para un mejor entendimiento del movimiento del dispositivo robótico, la FIG. 4B muestra la orientación del robot 10 centrado alrededor de los ejes x e y en un plano de coordenadas; este sistema de coordenadas está asociado al robot. El movimiento direccional del robot 10 puede entenderse como el radio en el que se moverá el robot 10. Para

20 girar rápidamente alejándose de la pared 100, el robot 10 debe fijar un pequeño valor positivo de r (r_3 en la FIG. 4B); para girar rápidamente hacia la pared, el robot debe fijar un pequeño valor negativo de r (r_1 en la FIG. 4B). Por otro lado, para realizar pequeños giros, el robot debe fijar valores absolutos más grandes para r , valores positivos para moverse a la izquierda (es decir, alejándose de la pared, r_4 en la FIG. 4B) y valores negativos para moverse a la derecha (es decir, hacia la pared, r_2 en la FIG. 4B). Este esquema de coordenadas se utiliza en los ejemplos de

25 control descritos posteriormente. El microcontrolador 22 que controla la velocidad diferencial a la que funcionan los motores de rueda individuales 21 determina el radio de giro.

Además, en determinadas realizaciones, el robot puede incluir una o más entradas de usuario. Por ejemplo, tal y como se muestra en la FIG. 2, una realización preferida incluye tres botones simples 33 que permiten al usuario introducir el tamaño aproximado de la superficie que va cubrirse. En una realización preferida, estos botones

30 etiquetados como "pequeño", "mediano" y "grande" corresponden respectivamente a habitaciones de 11,1 m², 20,8 m² y 27,9 m².

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el robot a modo de ejemplo es una realización preferida para llevar a la práctica la presente invención, y un experto en la técnica puede escoger entre elementos conocidos en la técnica para diseñar un robot para un propósito particular. Ejemplos de diseños adecuados incluyen los descritos en las

35 siguientes patentes de Estados Unidos números 4.306.329 (Yokoi), 5.109.566 (Kobayashi et al.), 5.293.955 (Lee), 5.369.347 (Yoo), 5.440.216 (Kim), 5.534.762 (Kim), 5.613.261 (Kawakami et al), 5.634.237 (Paranjpe), 5.781.960 (Kilstrom et al.), 5.787.545 (Colens), 5.815.880 (Nakanishi), 5.839.156 (Park et al.), 5.926.909 (McGee), 6.038.501 (Kawakami), 6.076.226 (Reed), las cuales se incorporan en este documento como referencia.

La FIG. 5 muestra una representación de bloques simple de los diversos modos de funcionamiento de un dispositivo. En una realización preferida, y solamente a modo de ejemplo, los modos de funcionamiento pueden incluir una limpieza localizada (donde el usuario o robot designa una región específica para la limpieza), una limpieza de borde y una limpieza de habitación. Cada modo de funcionamiento comprende combinaciones complejas de instrucciones y/o comportamientos internos, descritos posteriormente. Sin embargo, estas complejidades están generalmente

45 ocultas al usuario. En una realización, el usuario puede seleccionar el modo de funcionamiento particular utilizando un elemento de entrada, por ejemplo, un conmutador selector o un botón pulsador. En otras realizaciones preferidas, como las descritas posteriormente, el robot puede entrar de manera autónoma en un ciclo que pasa por los modos de funcionamiento.

El robot de cobertura de la presente invención utiliza estos diversos modos de funcionamiento para cubrir el área de manera eficaz. Aunque un experto en la técnica puede implementar estos diversos modos de funcionamiento en una pluralidad de arquitecturas conocidas, una realización preferida se basa en el control de comportamiento. En este caso, los comportamientos son simplemente capas de sistemas de control que se ejecutan en paralelo. Por tanto, el microcontrolador 22 ejecuta un esquema de arbitraje priorizado para determinar el comportamiento dominante para un escenario dado. Una descripción de control de comportamiento puede encontrarse en el documento "Mobile

55 Robots, *supra*", cuyo texto se incorpora en este documento como referencia.

Dicho de otro modo, en una realización preferida, el microprocesador y el software de control del robot ejecutan simultáneamente una pluralidad de comportamientos. Dependiendo de la situación, el control del robot se asignará a uno o más comportamientos. Para detallar el funcionamiento preferido de la presente invención, los comportamientos se describirán como (1) comportamientos de cobertura, (2) comportamientos de escape o (3) comportamientos de usuario/seguridad. Los comportamientos de cobertura están diseñados principalmente para permitir que el robot lleve a cabo su operación de cobertura de una manera eficaz. Los comportamientos de escape son comportamientos especiales a los que se da prioridad cuando una o más entradas de sensor sugieren que el robot puede no estar funcionando libremente. A modo de convención para esta memoria descriptiva, los comportamientos descritos a continuación están escritos en mayúsculas.

10 1. Comportamientos de cobertura

Las FIG. 6 a 14 muestran los detalles de cada uno de los modos de funcionamiento preferidos: cobertura localizada, seguimiento de pared (o seguimiento de obstáculo) y cobertura de habitación.

Modo de funcionamiento: cobertura localizada

La cobertura localizada o, por ejemplo, la limpieza localizada, permite al usuario limpiar una zona aislada sucia. El usuario coloca el robot 10 en el suelo cerca del centro del área que necesita limpiarse y selecciona el modo de funcionamiento de limpieza localizada. Después, el robot se mueve de tal manera que el área inmediata dentro de por ejemplo, un radio definido, hace contacto con el cabezal de limpieza 30 o con el cepillo lateral 32 del robot.

En una realización preferida, el procedimiento para conseguir la limpieza localizada es un algoritmo de control que proporciona un movimiento en espiral hacia fuera, o comportamiento en ESPIRAL, tal y como se muestra en la FIG. 6A. En general, el movimiento en espiral se genera incrementando el radio de giro en función del tiempo. En una realización preferida, el robot 10 comienza su espiral en el sentido opuesto a las agujas del reloj, lo cual se indica en la FIG. 6A mediante la línea de movimiento 45, con el fin de mantener el lado dominante en el borde de guiado hacia fuera de la espiral. En otra realización, mostrada en la FIG. 6B, el movimiento en espiral del robot 10 se genera hacia dentro, de manera que el radio de los giros decrece. La espiral dirigida hacia dentro se muestra mediante la línea de movimiento 45 de la FIG. 6B. Sin embargo, no es necesario mantener el lado dominante del robot en lado externo durante el movimiento en espiral.

El procedimiento de limpieza localizada utilizado en una realización preferida, movimiento en espiral hacia fuera, se explica en la FIG. 7. Una vez que se inicia el movimiento en espiral (etapa 201) y el valor de r se fija a su valor mínimo positivo (que generará el giro más compacto posible en el sentido opuesto a las agujas del reloj), el comportamiento de movimiento en espiral vuelve a calcular el valor de r en función de θ , donde θ representa el giro angular desde el inicio del comportamiento de movimiento en espiral (etapa 210). Utilizando la ecuación $r = a\theta$, donde a es un coeficiente constante, la compacidad o solapamiento deseado de la espiral puede controlarse. (Debe observarse que θ no está normalizado a 2π). El valor de a puede elegirse mediante la ecuación $a = d/2\pi$, donde d es la distancia entre dos pasadas consecutivas de la espiral. Para una limpieza eficaz, el valor de d debe elegirse de modo que sea menor que el ancho del mecanismo de limpieza 30. En una realización preferida, el valor de d se selecciona entre la mitad y dos tercios del ancho del cabezal de limpieza 30.

En otras realizaciones, el robot realiza un seguimiento de la distancia total recorrida en el modo en espiral. La espiral se deteriora después de recorrer una distancia determinada, es decir, el punto central del movimiento en espiral tenderá a desplazarse en el tiempo debido al resbalamiento de las ruedas, dependiendo de la superficie, y/o a imprecisiones en el cálculo y en el algoritmo de aproximación de espiral. En determinadas realizaciones, el robot puede salir del modo en espiral después de que el robot haya recorrido una distancia específica ("distancia de espiral máxima"), tal como 6,3 o 18,5 metros (etapa 240). En una realización preferida, el robot utiliza múltiples distancias de espiral máximas dependiendo de si el robot está realizando una espiral inicial o una espiral posterior. Si se alcanza la distancia de espiral máxima sin ningún choque, el robot activa un comportamiento diferente, y el robot, por ejemplo, continúa su movimiento en una línea predominantemente recta. (En una realización preferida, el comportamiento en LÍNEA RECTA es un comportamiento por defecto de baja prioridad que impulsa al robot en una línea aproximadamente recta a una velocidad prefijada de 0,306 m/s aproximadamente cuando ningún otro comportamiento está activo).

En el modo en espiral pueden llevarse a cabo varias acciones cuando se encuentra un obstáculo. Por ejemplo, el robot puede (a) procurar evitar el obstáculo y seguir la espiral en el sentido opuesto a las agujas del reloj, (b) procurar evitar el obstáculo y seguir la espiral en el sentido opuesto (por ejemplo, pasando del sentido opuesto a las agujas del reloj al sentido de las agujas del reloj), o (c) cambiar los modos de funcionamiento. Seguir la espiral en el sentido opuesto se conoce como movimiento en espiral reflexivo y está representado en la FIG. 6C, donde el robot 10 invierte su trayectoria de desplazamiento 45 cuando hace contacto con el obstáculo 101. En una realización preferida, tal y como se detalla en la etapa 220, el robot 10 sale del modo de limpieza localizada cuando un sensor de choque 12 ó 13 encuentra el primer obstáculo.

Aunque una realización preferida describe un movimiento en espiral para una cobertura localizada, puede utilizarse cualquier área autolimitada, incluyendo pero sin limitarse a formas de polígonos regulares tales como cuadrados, hexágonos, elipses, etc.

Modo de funcionamiento: seguimiento de pared/obstáculo

- 5 El seguimiento de pared o, en el caso de un robot de limpieza, la limpieza de borde, permite al usuario limpiar solamente los bordes de una habitación o los bordes de los objetos de una habitación. El usuario coloca el robot 10 en el suelo cerca de un borde que va a limpiarse y selecciona el modo de funcionamiento de limpieza de borde. Después, el robot 10 se desplaza de tal manera que sigue el borde y limpia todas las áreas que hagan contacto con el cabezal de limpieza 30 del robot.
- 10 El desplazamiento del robot 10 en una habitación 110 se muestra en la FIG. 8. En la FIG. 8A, el robot 10 está colocado al lado de una pared 100, estando dispuesto el lado dominante del robot junto a la pared. Después, el robot se desplaza a lo largo de la pared de manera indefinida siguiendo la trayectoria de desplazamiento 46. De manera similar, en la FIG. 8B, el robot 10 está colocado cerca de un obstáculo 101. Después, el robot sigue el borde del obstáculo 101 de manera indefinida siguiendo la trayectoria de desplazamiento 47.
- 15 En una realización preferida, en el modo de seguimiento de pared, el robot utiliza el sensor de seguimiento de pared 16 para situarse a una distancia fijada con respecto a la pared. Después, el robot comienza a desplazarse a lo largo del perímetro de la pared. Tal y como se muestra en las FIGS. 8A y 8B, en una realización preferida, el robot 10 no puede distinguir entre una pared 100 y otro obstáculo macizo 101.

- 20 El procedimiento utilizado en una realización preferida para el seguimiento de una pared se detalla en la FIG. 9A y proporciona una operación de seguimiento de pared suave incluso con un sensor de un bit. (En este caso, el sensor de un bit detecta solamente la presencia o la ausencia de la pared dentro de un volumen particular en lugar de la distancia entre la pared y el sensor). Pueden utilizarse otros procedimientos para detectar una pared o un objeto, tales como sensores de choque o sensores con s3nar.

- 25 Una vez que se inicia el modo de funcionamiento de seguimiento de pared, o comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED de una realización preferida, (etapa 301), el robot fija en primer lugar su valor inicial para el guiado a r_0 . Después, el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED inicia una rutina de emisi3n–detecci3n en el sensor de seguimiento de pared 16 (etapa 310). La existencia de una reflexi3n para la parte de transmisi3n IR del sensor 16 se traduce en la existencia de un objeto a una distancia predeterminada desde el sensor 16. Después, el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED determina si se ha producido una transici3n desde una reflexi3n (objeto dentro del alcance) a una no reflexi3n (objeto fuera del alcance) (etapa 320). Si se ha producido una transici3n (dicho de otro modo, la pared est3 ahora fuera del alcance), el valor de r se fija a su valor m3s negativo y el robot girar3 ligeramente hacia la derecha (etapa 325). Después, el robot inicia de nuevo la secuencia de emisi3n–detecci3n (etapa 310). Si no se ha producido una transici3n desde una reflexi3n a una no reflexi3n, entonces el comportamiento de seguimiento de pared determina si se ha producido una transici3n desde una no reflexi3n a una reflexi3n (etapa 330). Si se ha producido tal transici3n, el valor de r se fija a su valor m3s positivo y el robot girar3 ligeramente hacia la izquierda (etapa 335).

- 40 En ausencia de cualquier tipo de evento de transici3n, el comportamiento de seguimiento de pared reduce el valor absoluto de r (etapa 340) e inicia de nuevo la secuencia de emisi3n–detecci3n (etapa 310). Reduciendo el valor absoluto de r , el robot 10 comienza a girar de manera m3s brusca en la direcci3n en que est3 desplaz3ndose actualmente. En una realizaci3n preferida, la tasa de reducci3n del valor absoluto de r es una tasa constante que depende de la distancia recorrida.

- 45 El modo de seguimiento de pared puede continuar durante un tiempo predeterminado o aleatorio, una distancia predeterminada o aleatoria o hasta que se cumpla alg3n criterio adicional (por ejemplo, que el sensor de choque se active, etc.). En una realizaci3n, el robot contin3a siguiendo la pared de manera indefinida. En una realizaci3n preferida, tal y como se muestra en las FIGS. 8C y 8D, se determinan una distancia de desplazamiento m3nima y una distancia de desplazamiento m3xima, por lo que el robot permanecer3 en el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED hasta que el robot haya recorrido la distancia m3xima (FIG. 8D) o haya recorrido al menos la distancia m3nima y haya encontrado un obst3culo (FIG. 8C). Esta implementaci3n del comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED garantiza que el robot permanezca en el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED durante una cantidad de tiempo apropiada en comparaci3n con sus otros modos de funcionamiento, reduciendo de ese modo omisiones sistem3ticas y distribuyendo la cobertura a todas las 3reas. Permaneciendo m3s tiempo en el comportamiento de seguimiento de pared, el robot puede moverse en m3s espacios, pero el robot es menos eficaz a la hora de limpiar los mismos. Adem3s, la tendencia de salir del comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED despu3s de detectar un obst3culo hace que el robot aumente su efectividad percibida.

La FIG. 9B es una ilustración de un diagrama de flujo que muestra esta realización de determinar cuándo salir del comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED. El robot determina en primer lugar la distancia mínima de seguimiento de pared (d_{\min}) y la distancia máxima de seguimiento de pared (d_{\max}). Durante el modo de seguimiento de pared (u obstáculo), el sistema de control realiza un seguimiento de la distancia recorrida por el robot en ese modo (d_{SP}). Si d_{SP} es mayor que d_{\max} (etapa 350), entonces el robot sale del modo de seguimiento de pared (etapa 380). Sin embargo, si d_{SP} es menor que d_{\max} (etapa 350) y d_{SP} es menor que d_{\min} (etapa 360), el robot permanece en el modo de seguimiento de pared (etapa 385). Si d_{SP} es mayor que d_{\min} (etapa 360) y se encuentra un obstáculo (etapa 370), el robot sale del modo de seguimiento de pared (etapa 380).

En teoría, la distancia óptima en la que se desplaza el robot en el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED se determina en función del tamaño y la configuración de la habitación y del tamaño del robot. En una realización preferida, las distancias mínima y máxima para permanecer en el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED se fijan en función del tamaño aproximado de la habitación, del ancho del robot y de un componente aleatorio, por lo que la distancia de desplazamiento promedio mínima es $2w/p$, donde w es el ancho del elemento de trabajo del robot y p es la probabilidad de que el robot entre en el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED en una interacción dada con un obstáculo. A modo de ejemplo, en una realización preferida, el valor de w está comprendido entre 15 cm y 25 cm aproximadamente, y p vale 0,095 (donde el robot se topa con número de obstáculos que varía entre 6 y 15, o con una media de 10,5 obstáculos, antes de entrar en el modo de seguimiento de obstáculo). Por tanto, la distancia mínima se fija de manera aleatoria como una distancia comprendida aproximadamente entre 115 cm y 350 cm; por tanto, la distancia máxima se fija de manera aleatoria como una distancia comprendida aproximadamente entre 170 cm y 520 cm. En determinadas realizaciones, la relación entre la distancia mínima con respecto a la distancia máxima es de 2:3. Para una mayor efectividad percibida, la operación inicial del robot en el modo de seguimiento de obstáculo puede fijarse para que tenga una duración mayor que las operaciones posteriores del modo de seguimiento de obstáculo. Además, los usuarios pueden colocar el robot junto a la pared más larga cuando enciendan el robot, lo que mejora la cobertura real y la percibida.

La distancia que el robot recorre en el modo de seguimiento de pared también puede fijarse por el robot dependiendo del número y la frecuencia de los objetos encontrados (determinado por otros sensores), lo que es una medida del "desorden" de una habitación. Si se encuentran más objetos, el robot seguirá la pared en una mayor distancia con el fin de pasar por todas las zonas del suelo. Por el contrario, si se encuentran pocos obstáculos, el robot seguirá la pared menos con el fin de no cubrir excesivamente los bordes del espacio y, en su lugar, pasará por el centro del espacio. También puede incluirse una distancia inicial de seguimiento de pared para permitir que el robot siga la pared en una distancia más larga o más corta durante su periodo inicial cuando el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED está activo.

En una realización preferida, el robot también puede salir del modo de seguimiento de pared si el robot gira más de, por ejemplo, 270 grados y no puede ubicar la pared (u objeto) o si el robot ha girado un total de 360 grados desde que entró en el modo de seguimiento de pared.

En determinadas realizaciones, cuando el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED está activo y se produce un choque, se activa el comportamiento de ALINEACIÓN. El comportamiento de ALINEACIÓN hace girar el robot en el sentido opuesto a las agujas del reloj para alinear el robot con la pared. El robot siempre gira en un ángulo mínimo para evitar que el robot entre en ciclos de muchos giros pequeños. Después de que haya girado en un ángulo mínimo, el robot supervisa el sensor de pared y si detecta una pared y después la detección de la pared desaparece, el robot deja de girar. Esto se debe a que en el extremo del alcance de seguimiento de pared, el robot está bien alineado para iniciar el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED. Si el robot no ha observado que el detector de pared se ha activado y después se ha desactivado en el instante en que alcanza su ángulo máximo, se para de todos modos. Esto impide que el robot gire en círculos cuando la pared está fuera del alcance de su sensor de pared. Cuando el choque más reciente se produce en un grado no superior a 60° del parachoques en el lado dominante, el ángulo mínimo se fija a 14 grados y el ángulo máximo es de 19 grados. En caso contrario, si el choque se produce en un grado no superior a 30° delante del parachoques en el lado dominante o en el lado no dominante, el ángulo mínimo es de 20 grados y el ángulo máximo es de 44 grados. Cuando el comportamiento de ALINEACIÓN ha finalizado el giro, cede el control al comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED.

Modo de funcionamiento: cobertura de habitación

El tercer modo de funcionamiento se denomina en este documento como modo de cobertura de habitación o modo de limpieza de habitación, el cual permite al usuario limpiar cualquier zona delimitada por paredes, escaleras, obstáculos u otras barreras. Para llevar a cabo esta opción, el usuario coloca el robot en el suelo y selecciona el modo de limpieza de habitación. Después, el robot se desplaza por la habitación limpiando todas las zonas a las que puede llegar.

En una realización preferida, el procedimiento para llevar a cabo el comportamiento de limpieza de habitación es un comportamiento de REBOTE en combinación con el comportamiento de LINEA RECTA. Tal y como se muestra en la FIG. 10, el robot 10 se desplaza hasta que se activa un sensor de choque 12 y/o 13 mediante el contacto con un obstáculo 101 o una pared 100. Después, el robot 10 gira y continúa su desplazamiento. En la FIG. 11 se muestra una trayectoria de desplazamiento de muestra mediante la línea 48.

El algoritmo para el comportamiento de rebote aleatorio se muestra en la FIG. 10. El robot 10 sigue su movimiento de avance (etapa 401) hasta que se activa un sensor de choque 12 y/o 13 (etapa 410). Después, el robot 10 calcula un intervalo aceptable de nuevas direcciones determinando qué sensor o sensores de choque se han activado (etapa 420). Después se toma una determinación con algún cálculo aleatorio para elegir la nueva dirección dentro del intervalo aceptable, tal como entre 90 y 270 grados con respecto al objeto que el robot ha encontrado. El ángulo del objeto con el que ha chocado el robot se determina tal y como se ha descrito anteriormente utilizando el tiempo transcurrido entre el sensor de choque izquierdo y el derecho. Después, el robot gira hacia su nueva dirección. En una realización preferida, el giro se realiza en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido contrario a las agujas del reloj dependiendo de qué sentido requiere el mínimo movimiento para llegar a la nueva dirección. En otras realizaciones, el giro va acompañado de un movimiento de avance con el fin de aumentar la eficacia de cobertura del robot.

Las estadísticas de la elección de dirección tomada por el robot pueden distribuirse de manera uniforme a través de las direcciones permitidas, es decir, hay una posibilidad equivalente para cada dirección del intervalo aceptable. Como alternativa, pueden elegirse estadísticas en una función de una distribución gaussiana u otra distribución diseñada para alejar preferentemente el robot con respecto a una pared de manera perpendicular.

El robot puede cambiar las direcciones en momentos aleatorios o predeterminados y sin basarse en la actividad de sensores externos. Como alternativa, el robot puede realizar de manera continua pequeñas correcciones de ángulo basándose en sensores de gran alcance para evitar hacer contacto con un objeto y, por lo tanto, cubrir el área de superficie con trayectorias curvas.

En una realización preferida, el robot permanece en el modo de limpieza de habitación hasta que se alcance un determinado número de interacciones de rebote, normalmente entre 6 y 13.

2. Comportamientos de escape

El robot puede encontrarse con varias situaciones cuando intenta cubrir un área que le impiden o imposibilitan cubrir toda el área de manera eficaz. Una clase general de sensores y comportamientos denominados comportamientos de escape están diseñados para hacer que el robot salga de estas situaciones, o en casos extremos para que el robot se apague si se determina que no puede escapar. Con el fin de decidir si dar prioridad a un comportamiento de escape entre los diversos comportamientos del robot, el robot determina lo siguiente: (1) se necesita un comportamiento de escape; (2) si es así, ¿qué comportamiento de escape debe elegirse?

A modo de ejemplo, las siguientes situaciones ilustran situaciones en las que se necesita un comportamiento de escape para un robot de limpieza en espacios cerrados y el comportamiento apropiado que ha de llevarse a cabo:

- (i) Situación 1. El robot detecta una situación en la que puede quedar atrapado (por ejemplo, un punto elevado de una alfombra o cerca de la base de una lámpara que actúa como una rampa para el robot). El robot lleva a cabo comportamientos de pequeños giros de "pánico" para salir de esta situación.
- (ii) Situación 2. El robot está físicamente atrapado (por ejemplo, el robot está encajado debajo de un sofá o contra una pared, enganchado en cordones o en borlas de una alfombra, o atrapado en cables y con las ruedas girando). El robot lleva a cabo comportamientos de grandes giros de pánico y apaga los motores pertinentes para escapar de la obstrucción.
- (iii) Situación 3. El robot está dentro de una pequeña área confinada, por ejemplo, el robot está entre las patas de una silla o en una zona abierta debajo de una cómoda, o en un área pequeña creada al colocar una lámpara cerca de la esquina de una habitación. El borde del robot sigue utilizando el parachoques y/o lleva a cabo comportamientos de giros de pánico para salir del área.
- (iv) Situación 4. El robot ha quedado atrapado y no puede liberarse; por ejemplo, el robot está en uno de los casos de la categoría (ii) anterior, y no ha podido liberarse con ninguno de sus comportamientos de pánico. En este caso, el robot deja de funcionar y solicita ayuda al usuario mediante señales. Esto conserva la vida útil de la batería e impide que se dañe el suelo o los muebles.

Con el fin de detectar la necesidad para cada situación de escape, se utilizan varios sensores. Por ejemplo:

- 5 (i) Situación 1. (a) Cuando la corriente del cepillo o del cepillo lateral supera un umbral, la tensión aplicada al motor pertinente se reduce. Cuando esto sucede, se incrementa una variable de tasa de calado. Cuando la corriente está por debajo del umbral, la tasa de calado se reduce. Si el nivel de calado supera un umbral bajo y la pendiente de la tasa es positiva, el robot lleva a cabo comportamientos de pequeños giros de pánico. Solo repite estos comportamientos de pequeños giros de pánico cuando el nivel ha vuelto a cero y aumenta de nuevo hacia el umbral. (b) Asimismo, hay una variable de nivel de descenso de rueda que se incrementa cuando se detecta un evento de descenso de rueda y que se reduce de manera constante en el tiempo. Cuando se detecta un evento de descenso de rueda y el nivel de descenso de rueda está por encima de un umbral (lo que significa que se han producido recientemente varios descensos de rueda), el robot lleva a cabo comportamientos de pequeños o grandes giros de pánico dependiendo del nivel de descenso de rueda.
- 10
- 15 (ii) Situación 2. (a) Cuando la tasa de calado del cepillo supera un umbral elevado y la pendiente es positiva, el robot apaga el cepillo durante 13 segundos y lleva a cabo comportamientos de grandes giros de pánico en los segundos 1, 3 y 7. Al final de los 13 segundos, el cepillo vuelve a activarse. (b) Cuando la tasa de calado del sistema de accionamiento supera un umbral medio y la pendiente es positiva, el robot lleva a cabo de manera continua comportamientos de grandes giros de pánico. (c) Cuando la tasa de calado del sistema de accionamiento supera un umbral elevado, el robot apaga todos los motores durante 15 segundos. Al final de los 15 segundos, los motores vuelven a encenderse. (d) Cuando el parachoques del robot se presiona de manera constante durante 5 segundos (como en una situación de encajonamiento lateral), el robot lleva a cabo un comportamiento de grandes giros de pánico. Repite el comportamiento de giros de pánico cada 5 segundos hasta que el parachoques queda liberado. (e) Cuando el robot no ha sufrido ningún choque durante una distancia de 6,10 metros (20 pies), supone que puede estar atrapado con las ruedas girando. Para liberarse, realiza una espiral. Si aun así no ha sufrido ningún choque en una distancia de 3,05 metros (10 pies) después del final de la espiral, lleva a cabo un comportamiento de grandes giros de pánico. Lleva a cabo esta acción cada 3,05 metros (10 pies) hasta que sufra un choque.
- 20
- 25
- (iii) Situación 3. (a) Cuando la distancia media entre los choques está dentro de un umbral bajo, el robot lleva a cabo un seguimiento de borde utilizando su parachoques para intentar escapar del área confinada. (b) Cuando la distancia media entre los choques está por debajo de un umbral muy bajo, el robot lleva a cabo comportamientos de grandes giros de pánico para orientarse y poder escapar mejor del área confinada.
- 30 (iv) Situación 4. (a) Cuando el cepillo se ha calado y se ha apagado varias veces recientemente y la tasa de calado del cepillo es alta y la pendiente es positiva, el robot se apaga. (b) Cuando el sistema de accionamiento se ha calado y los motores se han apagado varias veces recientemente y la tasa de calado del sistema de accionamiento es alta y la pendiente es positiva, el robot se apaga. (c) Cuando cualquiera de las ruedas desciende de manera continua durante más de 2 segundos, el robot se apaga. (d) Cuando se producen muchos eventos de descenso de rueda en un corto espacio de tiempo, el robot se apaga. (e) Cuando cualquiera de los sensores de desnivel detecta un desnivel de manera continua durante 10 segundos, el robot se apaga. (f) Cuando el sensor de choque se presiona de manera constante durante una determinada cantidad de tiempo, por ejemplo 10 segundos, es probable que el robot esté encajado, y el robot se apaga.
- 35

40 Como un ejemplo descriptivo, las FIG. 12A y 12B ilustran el análisis utilizado en una realización preferida para identificar la necesidad de un comportamiento de escape con respecto a un motor de cepillo calado, tal y como se ha descrito anteriormente en las situaciones 1, 2 y 4. Cada vez que la corriente del cepillo supera un límite dado para el motor del cepillo (etapa 402), un registro de tasa se incrementa en 1 (etapa 404); si no se detecta el límite, el registro de tasa disminuye en 1 (etapa 406). Un registro de pendiente aparte almacena los valores recientes de un periodo de tiempo reciente, tal como 120 ciclos. Si la tasa es superior a 600 (donde 600 corresponde a un segundo de calado constante) (etapa 414) y la pendiente es positiva (etapa 416), entonces el robot llevará a cabo un comportamiento de escape (etapa 420) si el comportamiento de escape está habilitado (etapa 418). Los comportamientos de escape se inhabilitan después de ejecutarse (etapa 428) hasta que la tasa haya vuelto a cero (etapa 422), vuelva a habilitarse (etapa 424) y ascienda de nuevo a 600. Esto se realiza para evitar que el comportamiento de escape se active constantemente a tasas superiores a 600.

45

50

Sin embargo, si la tasa es mayor que 2400 (etapa 410) y la pendiente es positiva (etapa 412), el robot llevará a cabo un conjunto especial de comportamientos de escape, mostrado en la FIG. 12B. En una realización preferida, el motor del cepillo se apagará (etapa 430), el "nivel" se incrementa en una cantidad predeterminada (entre 50 y 90) (etapa 430), se fija el tiempo de calado (etapa 430) y se lleva a cabo un comportamiento de pánico (452) en el segundo 1 (etapa 445), a los 4 segundos (etapa 450) y a los 7 segundos (etapa 455) desde que se apagó el cepillo. Después el sistema de control vuelve a activar el cepillo a los 13 segundos (etapas 440 y 442). El nivel se reduce en 1 cada segundo (etapa 444). Si el nivel alcanza un umbral máximo (etapa 435), el robot suspende toda operación (etapa

55

437). Además, el robot puede realizar acciones adicionales cuando se detectan determinados calados, tal como limitar la tensión aplicada al motor para impedir que se dañe el motor.

Una realización preferida del robot tiene cuatro comportamientos de escape: GIRO, BORDE, DESCENSO DE RUEDA y LENTO.

5 GIRO. El robot gira sobre sí mismo en un sentido aleatorio, comenzando a una velocidad más alta (aproximadamente dos veces a la velocidad de giro normal) y disminuyendo hasta una velocidad inferior (aproximadamente la mitad de la velocidad de giro normal). Variar la velocidad puede ayudar al robot a escapar de
10 varias situaciones. El ángulo en que el robot debe girar puede ser aleatorio o determinarse en función del grado de escape necesario, u obtenerse de ambas maneras. En una realización preferida, en situaciones de bajo nivel de pánico, el robot gira entre 45 y 90 grados, y en situación de gran nivel de pánico el robot gira entre 90 y 270 grados.

BORDE. El robot sigue el borde utilizando el sensor de choque hasta que (a) el robot gire 60 grados sin sufrir ningún choque o (b) el robot haya girado de manera acumulativa más de 170 grados desde que se inició el comportamiento de BORDE. El comportamiento de BORDE puede ser útil si la distancia media entre choques es baja (pero no tan
15 baja como para provocar un comportamiento de pánico). El comportamiento de BORDE permite al robot adaptarse a las aberturas más pequeñas físicamente posibles para el robot y también permite que el robot escape de áreas confinadas.

DESCENSO DE RUEDA. El robot invierte el sentido de las ruedas brevemente y después las detiene. El retroceso de las ruedas ayuda a minimizar falsos descensos de rueda positivos dando a las ruedas un pequeño impulso en el sentido opuesto. Si el descenso de rueda se interrumpe en menos de 2 segundos, el robot continúa con su
20 funcionamiento normal.

LENTO. Si un detector de descenso de rueda o de desnivel se dispara, el robot reduce su velocidad hasta una velocidad de 0,235 m/s (o al 77% de su velocidad normal) durante una distancia de 0,5 m y después recupera su velocidad normal.

25 Además de los comportamientos de cobertura y de los comportamientos de escape, el robot también puede contener comportamientos adicionales relacionados con la seguridad o el manejo. Por ejemplo, si se detecta un desnivel durante más de una cantidad de tiempo predeterminada, el robot puede apagarse. Cuando se detecta un desnivel por primera vez, el comportamiento de respuesta de evitación de desnivel toma una prioridad inmediata sobre todos los demás comportamientos, haciendo que el robot gire alejándose del desnivel hasta que el robot ya no detecte el
30 desnivel. En una realización preferida, la detección de desnivel no provoca un cambio en los modos de funcionamiento. En otras realizaciones, el robot puede utilizar un algoritmo similar al comportamiento de seguimiento de pared para permitir el seguimiento del desnivel.

Hasta ahora se ha descrito el funcionamiento individual de los tres modos de funcionamiento; a continuación se hace referencia al modo de conmutación preferido entre los diversos modos.

35 Con el fin de conseguir una eficacia de limpieza y de cobertura óptima, una realización preferida utiliza un programa de control que da prioridad a varios comportamientos de cobertura. (Los comportamientos de escape, si fueran necesarios, siempre tienen mayor prioridad). Por ejemplo, el robot 10 puede utilizar el modo de seguimiento de pared durante un periodo de tiempo especificado o aleatorio y después conmutar a modos de funcionamiento relacionados con la limpieza de una habitación. Al conmutar entre los modos de funcionamiento, el dispositivo robótico de la presente invención puede aumentar la eficacia de cobertura y de limpieza y la efectividad percibida.

40 A modo de ejemplo, las FIG. 13A y 13B muestran un robot móvil 10 en un entorno en forma de "hueso de perro" en el que dos habitaciones 115 y 116 de dimensiones prácticamente idénticas están conectadas por un corredor estrecho 105. (Este ejemplo ilustra el problema de difusión de robot mencionado anteriormente). Esta disposición es una versión simplificada de entornos domésticos típicos, donde el "hueso de perro" puede generarse mediante la disposición de los obstáculos de la habitación. En la FIG. 13A, la trayectoria del robot 10 se muestra como la línea 54
45 cuando el robot 10 funciona en el modo de rebote aleatorio. El robot 10 no puede ir de la habitación 116 a la 115 durante un funcionamiento limitado ya que el comportamiento aleatorio del robot no hizo que el robot atravesara el corredor 105. Este procedimiento hace que la cobertura sea muy poco óptima y que la tasa de limpieza se reduzca debido al número de veces que el robot 10 atraviesa su propia trayectoria.

50 La FIG. 13B muestra el movimiento en una realización preferida del robot 10, mediante la cual el robot alterna entre el comportamiento de REBOTE y el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED. Cuando el robot sigue la trayectoria 99, cada vez que el robot 10 se topa con una pared 100, el robot sigue la pared en una distancia igual al doble del diámetro del robot. Las partes de la trayectoria 99 en las que el robot 10 funciona en el modo de seguimiento de pared están etiquetadas con el número 51. Este procedimiento proporciona una cobertura considerablemente mayor junto con incrementos intrínsecos en la tasa de limpieza y en la efectividad percibida.

- Finalmente, una realización preferida de la presente invención se detalla en la FIG. 14, en la que se utilizan los tres modos de funcionamiento. En una realización preferida, el dispositivo 10 comienza en el modo en espiral (línea de desplazamiento 45). Si se utiliza un patrón en espiral reflexivo, el dispositivo continúa en el modo en espiral hasta que se haya producido un número aleatorio o predeterminado de eventos reflexivos. Si se utiliza una espiral estándar (tal y como se muestra en la FIG. 14), el dispositivo debe continuar hasta cualquier evento de sensor de choque. En una realización preferida, el dispositivo entra inmediatamente en el modo de seguimiento de pared después del evento de activación.
- En una realización preferida, el dispositivo conmuta después entre el modo de seguimiento de pared (líneas de desplazamiento 51) y modos de rebote aleatorio (líneas de movimiento 48) en función de eventos de sensor de choque o tras la finalización del algoritmo de seguimiento de pared. En una realización, el dispositivo no vuelve al modo en espiral; sin embargo, en otras realizaciones el dispositivo puede entrar en el modo en espiral basándose en un evento predeterminado o aleatorio.
- En una realización preferida, el robot mantiene un registro de la distancia media recorrida entre choques. Después, el robot calcula una distancia media entre choques (ABD) utilizando la siguiente fórmula: $(3/4 \times ABD) + (1/4 \times \text{distancia más reciente entre choques})$. Si la ABD es mayor que un umbral predeterminado, el robot dará de nuevo prioridad al comportamiento en ESPIRAL. En otras realizaciones adicionales, el robot puede tener un número mínimo de eventos de choque antes de dar prioridad de nuevo al comportamiento en ESPIRAL. En otras realizaciones, el robot puede entrar en el comportamiento en ESPIRAL si recorre una distancia máxima, por ejemplo 6,10 metros (20 pies), sin producirse un evento de choque.
- Además, el robot también puede tener condiciones para detener todas las operaciones. Por ejemplo, para un tamaño de habitación dado, que puede seleccionarse manualmente, se fija un tiempo de funcionamiento mínimo y un tiempo de funcionamiento máximo y se selecciona una distancia total mínima. Cuando se ha alcanzado el tiempo mínimo y la distancia mínima, el robot se apaga. Asimismo, si se ha alcanzado el tiempo máximo, el robot se apaga.
- Por supuesto, también puede utilizarse un control manual para seleccionar el modo de funcionamiento. Por ejemplo, un control remoto puede utilizarse para cambiar o influir en los modos o comportamientos de funcionamiento. Asimismo, un conmutador montado en la carcasa puede utilizarse para fijar el modo de funcionamiento o conmutar entre los modos. Por ejemplo, un conmutador puede utilizarse para fijar el nivel de desorden de una habitación para que el robot elija el algoritmo de cobertura más apropiado con una capacidad de detección limitada.
- Los expertos en la técnica reconocerán que partes de la presente invención pueden utilizarse en vehículos autónomos para una pluralidad de fines, aparte de la limpieza. El alcance de la invención debe determinarse por las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes legales, en lugar de por los ejemplos mostrados.

REIVINDICACIONES

1.- Un robot (10) móvil, que comprende:

(a) medios (20) para desplazar el robot sobre una superficie;

(b) un sensor de detección de obstáculos (12, 13, 14, 15, 16);

5 (c) y un sistema de control conectado de manera operativa a dicho sensor de detección de obstáculos y a dichos medios de desplazamiento;

10 (d) estando configurado dicho sistema de control para hacer funcionar el robot en una pluralidad de modos de funcionamiento y para realizar una selección entre la pluralidad de modos de funcionamiento durante el desplazamiento del robot (10) al menos en parte como respuesta a señales generadas por el sensor de detección de obstáculos, comprendiendo dicha pluralidad de modos de funcionamiento: un modo de cobertura localizada (45) mediante el cual el robot funciona en un área aislada, un modo de seguimiento de obstáculo (51) mediante el cual dicho robot se desplaza de manera adyacente a un obstáculo, y un modo de rebote (49) mediante el cual el robot se desplaza sustancialmente en una dirección alejándose de un obstáculo después de toparse con el obstáculo, y en el que, durante el modo de seguimiento de obstáculo, el robot se desplaza de manera adyacente a un obstáculo en una distancia al menos dos veces el ancho de trabajo del robot.

15

2.- Un robot (10) móvil según la reivindicación 1, en el que dicho sistema de control está configurado para funcionar primero en dicho modo de cobertura localizada y después alterna el funcionamiento entre dicho modo de seguimiento de obstáculo y dicho modo de rebote.

3.- Un robot (10) móvil según la reivindicación 1 ó 2, en el que dicho modo de cobertura localizada comprende sustancialmente un desplazamiento en espiral.

20

4.- Un robot (10) móvil según cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema de control está configurado para funcionar según uno cualquiera de lo siguiente:

i) volver al modo de cobertura localizada después de una distancia de desplazamiento predeterminada;

ii) volver al modo de cobertura localizada después de un tiempo transcurrido predeterminado; o

25 iii) volver al modo de cobertura localizada si la distancia media entre las interacciones con obstáculos es mayor que un umbral predeterminado.

5.- Un robot (10) móvil según la reivindicación 1, en el que dicho sensor de detección de obstáculos comprende uno o más de lo siguiente:

i) un sensor táctil (12, 13),

30 ii) un sensor IR.

6.- El robot (10) móvil según la reivindicación 1, en el que:

dicho modo de seguimiento de obstáculo comprende alternar entre reducir el radio de giro del robot en función de la distancia recorrida de manera que el robot (10) gira hacia dicho obstáculo hasta que el sensor de detección de obstáculos detecta un obstáculo, y reducir el radio de giro del robot en función de la distancia recorrida de manera que el robot gira alejándose de dicho obstáculo.

35

7.- Un robot (10) móvil según cualquier reivindicación anterior, en el que el robot funciona en el modo de seguimiento de obstáculo seleccionado a partir de uno cualquiera de lo siguiente:

i) para una distancia mayor que el doble del ancho de trabajo del robot y menor que aproximadamente diez veces el ancho de trabajo del robot; o

40 ii) para una distancia mayor que el doble del ancho de trabajo del robot y menor que cinco veces el ancho de trabajo del robot.

8.- Un robot (10) móvil según la reivindicación 1, en el que dicho sistema de control está configurado para realizar una selección entre el modo de seguimiento de obstáculo (51) y el modo de rebote (49), estando configurado dicho sistema de control para conmutar a dicho modo de seguimiento de obstáculo después de un número predeterminado de interacciones de sensor.

45

9.- El robot (10) móvil según la reivindicación 8, en el que dicho número predeterminado de interacciones de sensor

se selecciona a partir de uno cualquiera de lo siguiente:

- i) determinándose de manera aleatoria;
 - ii) o cuando dicho número predeterminado de interacciones de sensor está entre aproximadamente 5 y aproximadamente 15.
- 5 10.- El robot (10) móvil según la reivindicación 8, en el que dicho sistema de control está configurado para conmutar a dicho modo de rebote (49) después de un evento seleccionado de entre uno cualquiera de los siguientes:
- i) después de que el robot recorra una distancia predeterminada en dicho modo de seguimiento de obstáculo;
 - ii) después de que el robot haya recorrido una distancia máxima; o
 - iii) después de que el robot haya recorrido una distancia mínima y haya encontrado un obstáculo.
- 10 11.- Un robot (10) móvil según la reivindicación 10, en el que dicha distancia mínima es de al menos 115 cm, o dicha distancia máxima es inferior a 520 cm.
- 12.- Un robot (10) móvil según cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema de control alterna modos de funcionamiento basándose en
- i) la distancia recorrida por dicho robot, o
- 15 ii) en función de una ausencia de entrada de sensor.
- 13.- Un robot (10) móvil según cualquier reivindicación anterior, que comprende además un medio para determinar el nivel de desorden.
- 14.- Un robot (10) móvil según la reivindicación 13, en el que:
- dicho medio para determinar el nivel de desorden comprende uno cualquiera de lo siguiente:
- 20 i) realizar un seguimiento del número de interacciones con obstáculos en el tiempo;
 - ii) correlacionar el nivel de desorden con la frecuencia en la que el controlador alterna modos de funcionamiento; o
 - iii) correlacionar de manera positiva el nivel de desorden con la distancia mínima de seguimiento de obstáculo.
- 25 15.- Un robot (10) móvil según la reivindicación 13 o la reivindicación 14, que comprende además un medio para introducir el área apropiada de la superficie, en el que dicho medio para determinar el nivel de desorden está relacionado además con el área aproximada de la superficie.
- 30 16.- Un robot (10) móvil según la reivindicación 1, en el que dicho sistema de control comprende además una memoria en la que está almacenado un programa de sistema de funcionamiento, comprendiendo dicho programa de sistema de funcionamiento una pluralidad de comportamientos y un árbitro para seleccionar qué comportamiento controla los medios de desplazamiento del robot.
- 17.- Un robot (10) móvil según la reivindicación 8, que comprende además un comportamiento de escape seleccionado a partir de uno cualquiera de lo siguiente:
- i) un comportamiento de escape que funciona en dicho modo de seguimiento de obstáculo y donde el sensor de detección de obstáculos comprende un sensor táctil;
- 35 ii) dicho comportamiento de escape se activa por la tasa de un evento de calado de motor;
- iii) dicho comportamiento de escape se activa por un aumento en la tasa de un evento de calado de motor;
 - iv) dicho comportamiento de escape se activa por la duración de entrada de sensor;
 - v) dicho comportamiento de escape comprende apagar el robot; o
 - vi) dicho comportamiento de escape se activa por una ausencia de entrada de sensor.
- 40 18.- Un robot (10) móvil según la reivindicación 8, que comprende además:
- i) un detector de desnivel, mediante el cual el sistema de control está configurado para reducir la velocidad del

robot tras la detección de un desnivel; y/o

- ii) un sensor de descenso de rueda, mediante el cual dicho robot utiliza la tasa de eventos de sensor de descenso de rueda como entrada para dicho sistema de control.

5 19.- Un robot (10) móvil según cualquier reivindicación anterior, que comprende además un medio para seleccionar manualmente un modo de funcionamiento.

20.- Un procedimiento para controlar un robot (10) móvil equipado con un sensor para detectar un obstáculo, estando caracterizado dicho procedimiento por comprender las etapas de:

- 10 a) realizar una selección entre una pluralidad de modos de funcionamiento, durante el desplazamiento del robot (10), en respuesta a señales generadas por un sensor de detección de obstáculos, comprendiendo los modos un modo de cobertura localizada (45), un modo de seguimiento de obstáculo (51) y un modo de rebote (49), donde el robot se desplaza inicialmente en un modo de cobertura localizada, desplazándose el robot en un movimiento de recorrido en espiral;
- b) interrumpir dicho movimiento de recorrido en espiral en cuanto se detecte un obstáculo o se recorra una distancia predeterminada;
- 15 c) desplazarse en una dirección sustancialmente de avance hasta que se detecte un obstáculo;
- d) girar y desplazarse a lo largo del obstáculo detectado durante una distancia al menos dos veces el ancho de trabajo del robot;
- e) girar alejándose del obstáculo detectado y desplazarse en una dirección sustancialmente de avance; y
- 20 f) repetir después dicha etapa de desplazamiento a lo largo de un obstáculo detectado y dicha etapa de girar alejándose del obstáculo detectado, donde los cambios en el movimiento se seleccionan en tiempo real durante el funcionamiento del robot y como respuesta a cualquiera de entre la distancia calculada o las señales generadas por el sensor.

21.- El procedimiento de guiado del robot móvil según la reivindicación 20, en el que:

- 25 i) el procedimiento comprende la etapa de repetir el movimiento de recorrido en espiral después de un número predeterminado de eventos de sensor, o
- ii) el robot se desplaza a lo largo de dicho obstáculo durante al menos una distancia mínima pero menor que una distancia máxima, donde preferentemente dicho sensor de obstáculos comprende un sensor IR que puede detectar dicha delimitación, comprendiendo además preferentemente dicho sensor de obstáculos un sensor táctil.

30

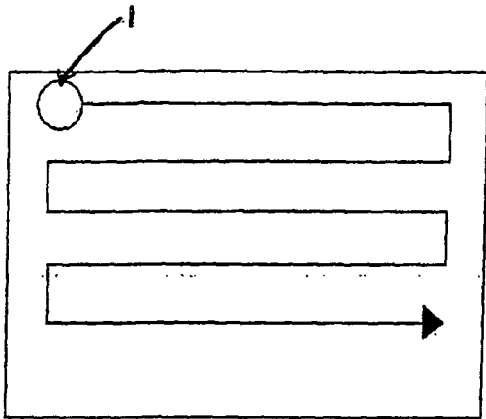


FIG. 1A

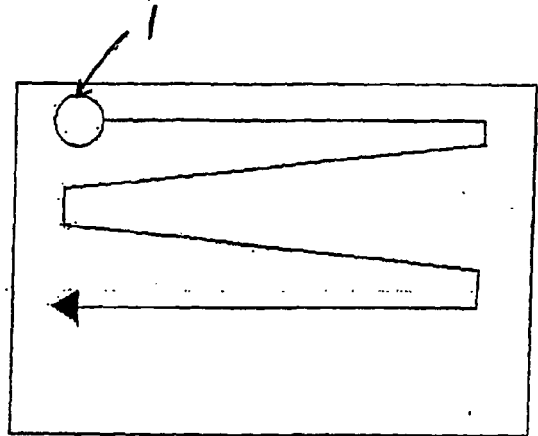


FIG. 1B

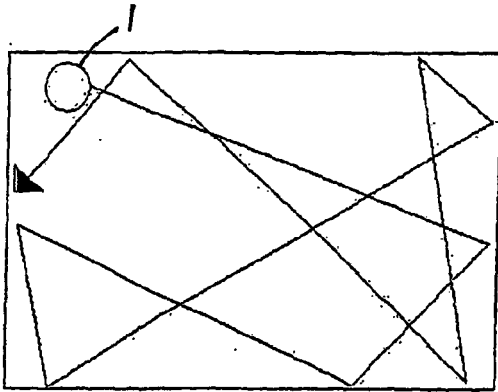


FIG. 1C

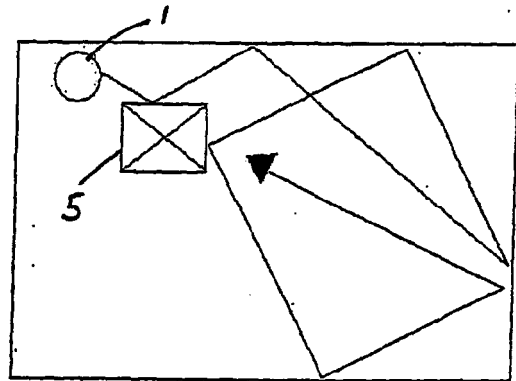


FIG. 1D

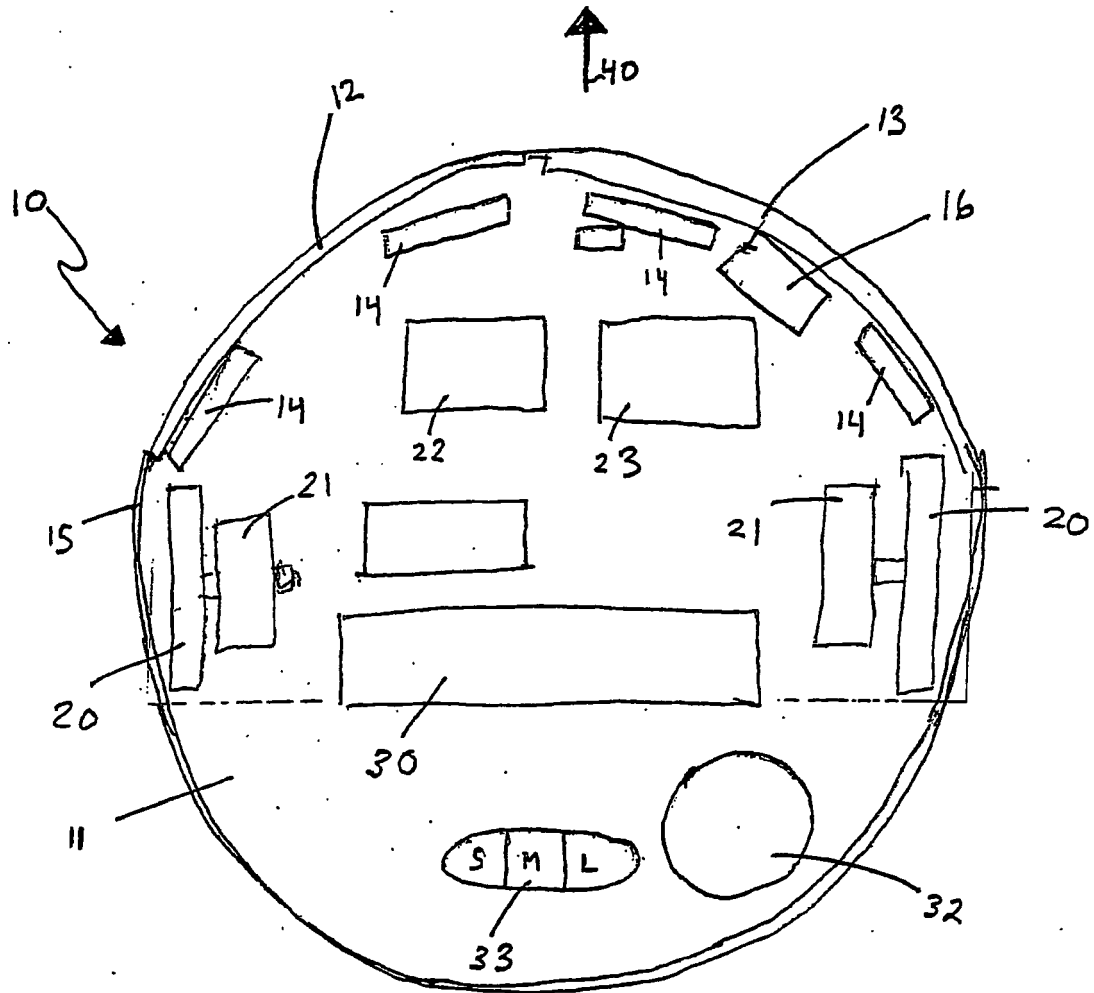
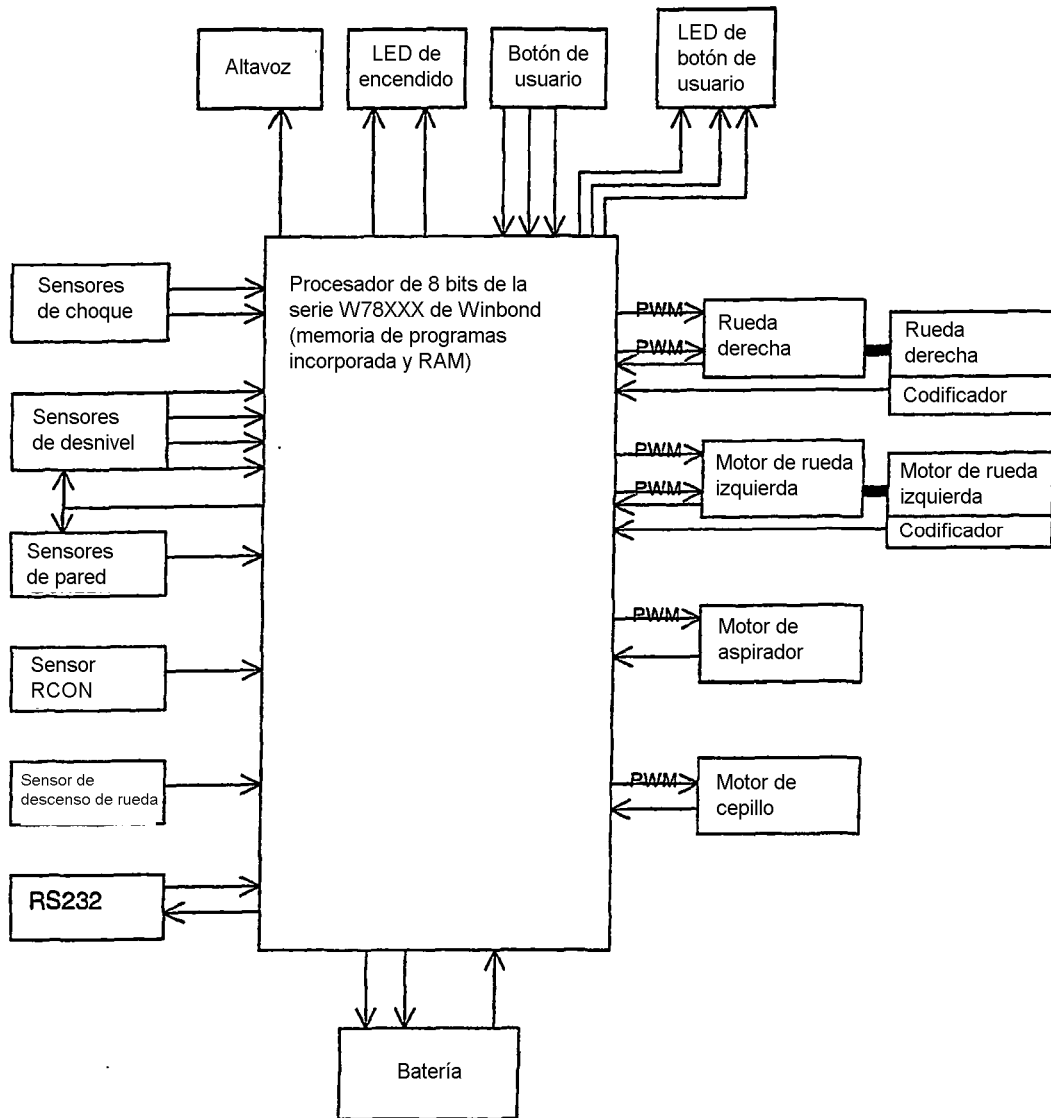
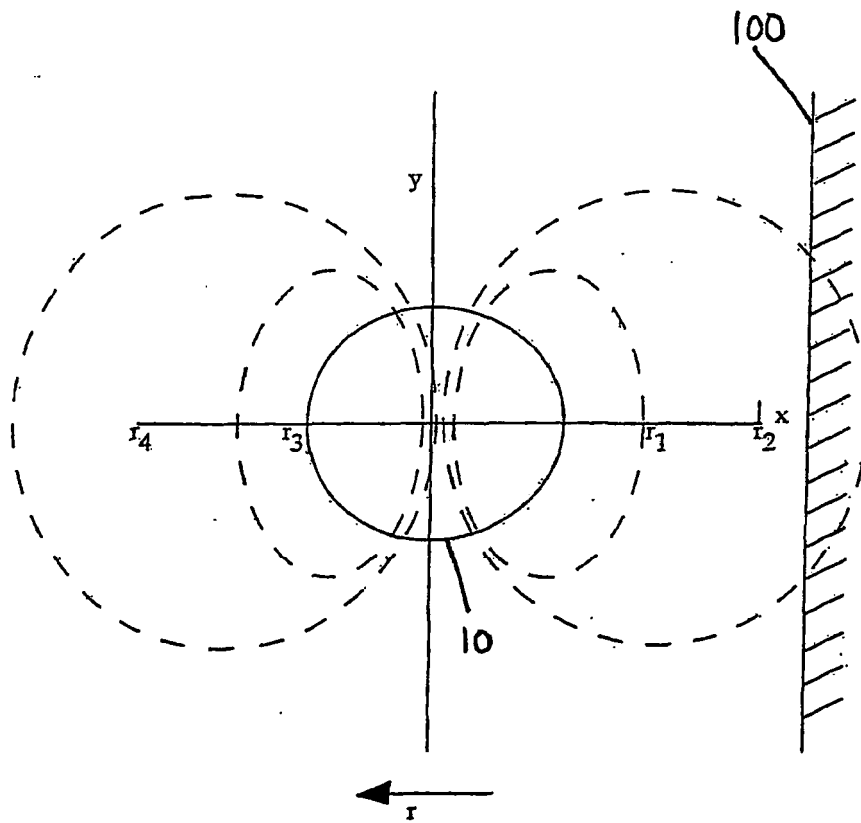
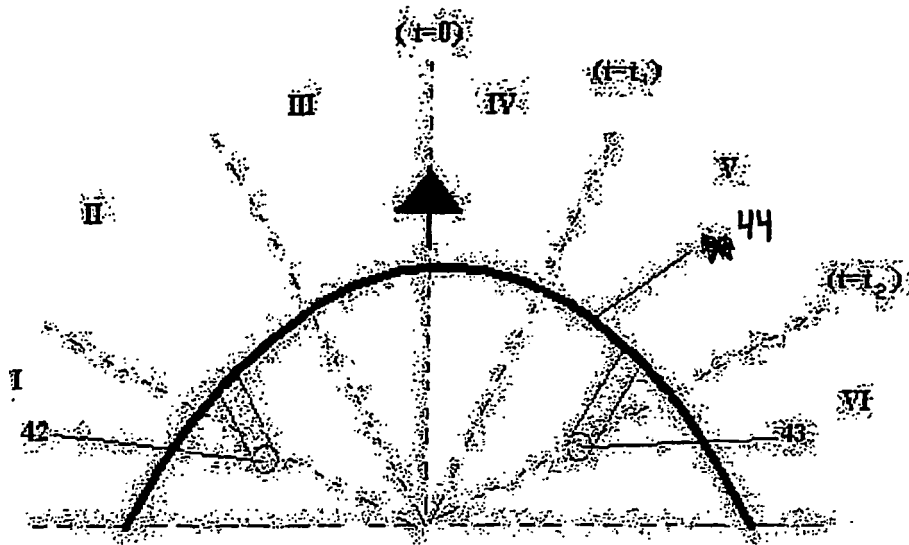


FIG. 2

FIG. 3





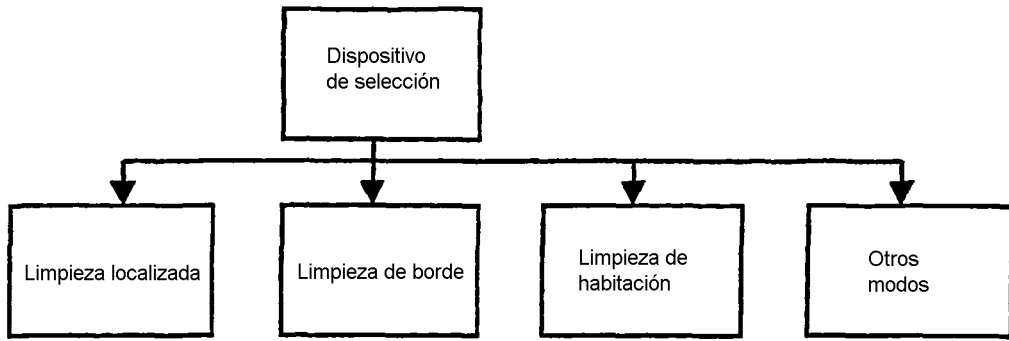


FIG. 5

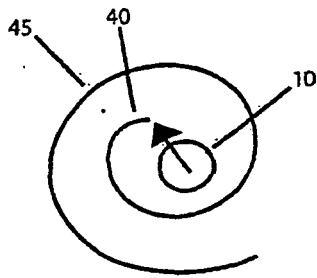


FIG. 6A

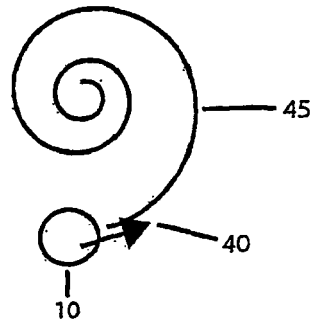


FIG. 6B

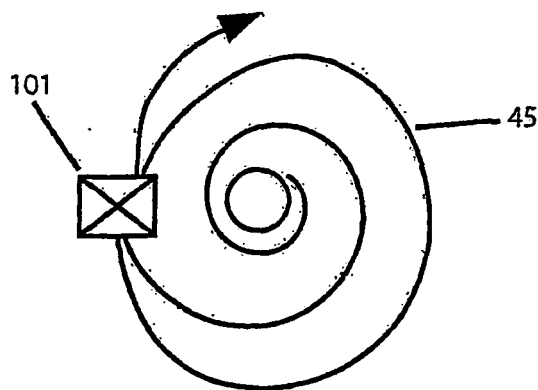


FIG. 6C

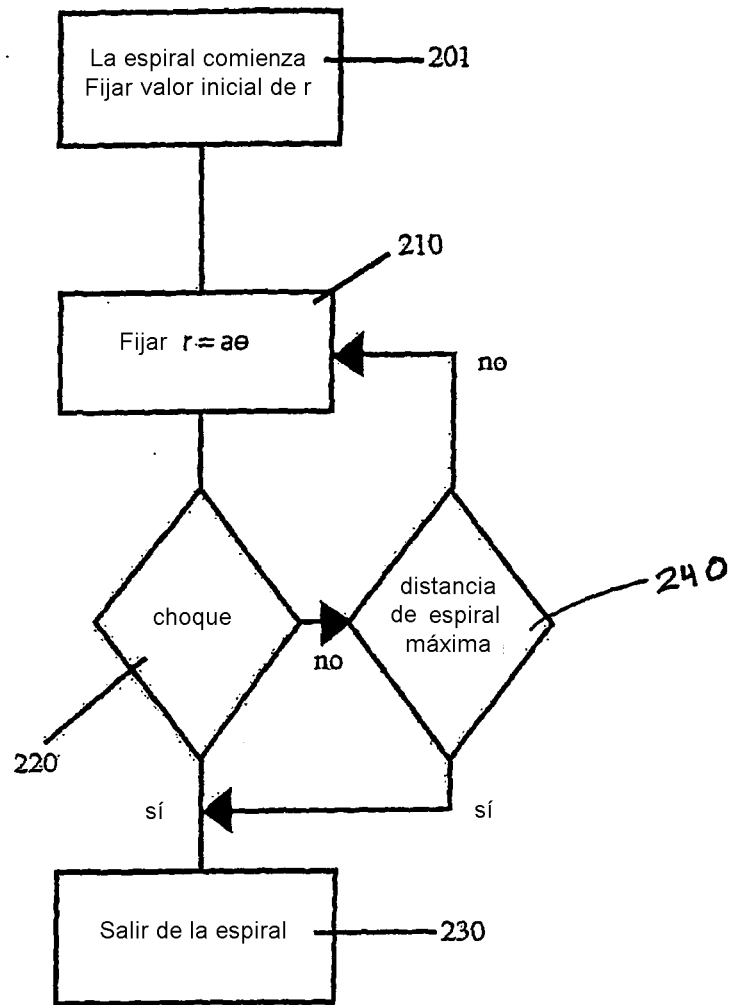


FIG. 7

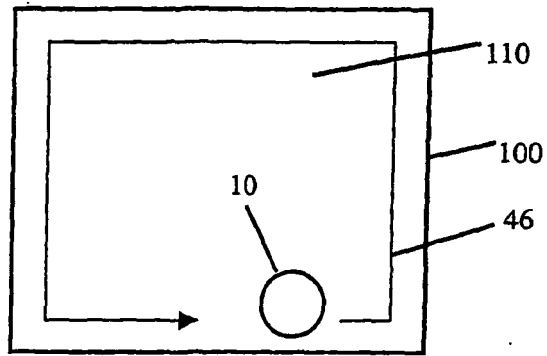


FIG. 8A

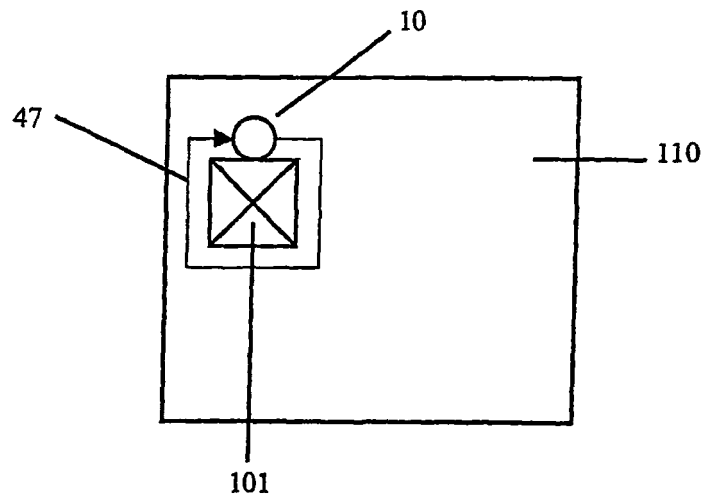
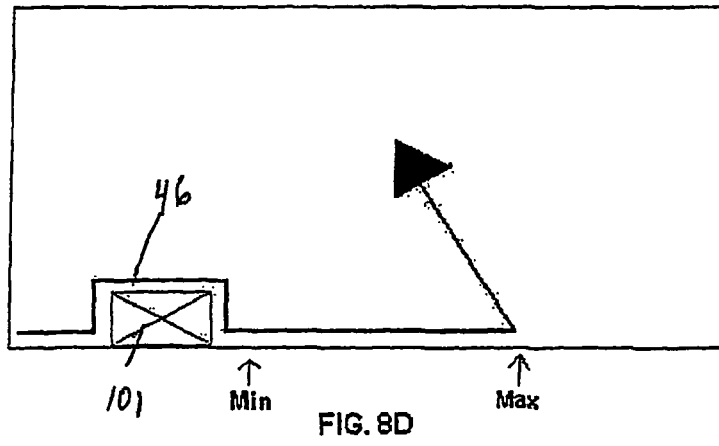
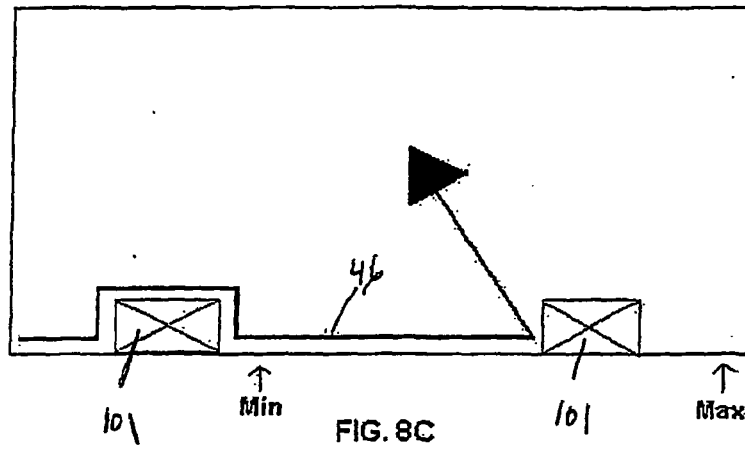


FIG. 8B



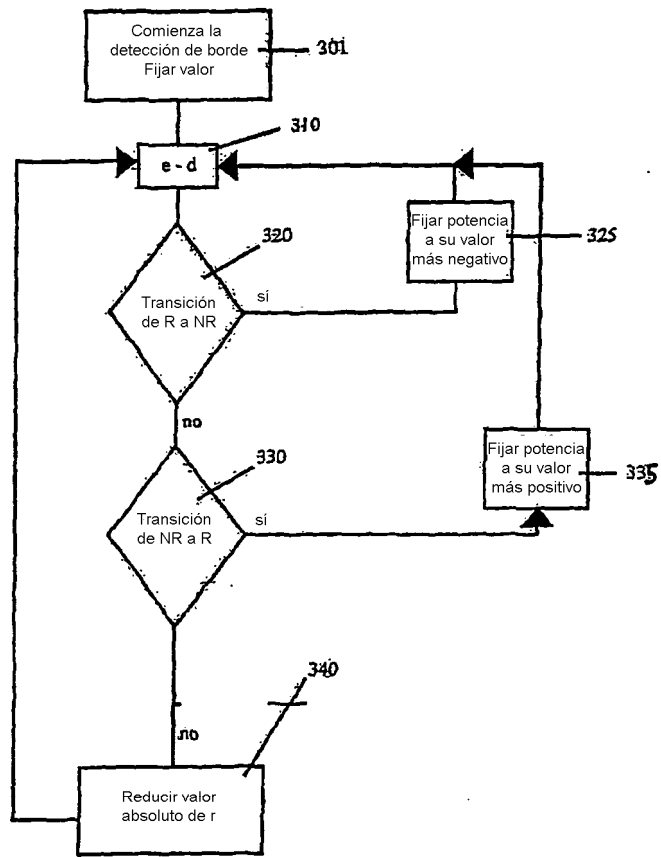


FIG. 9A

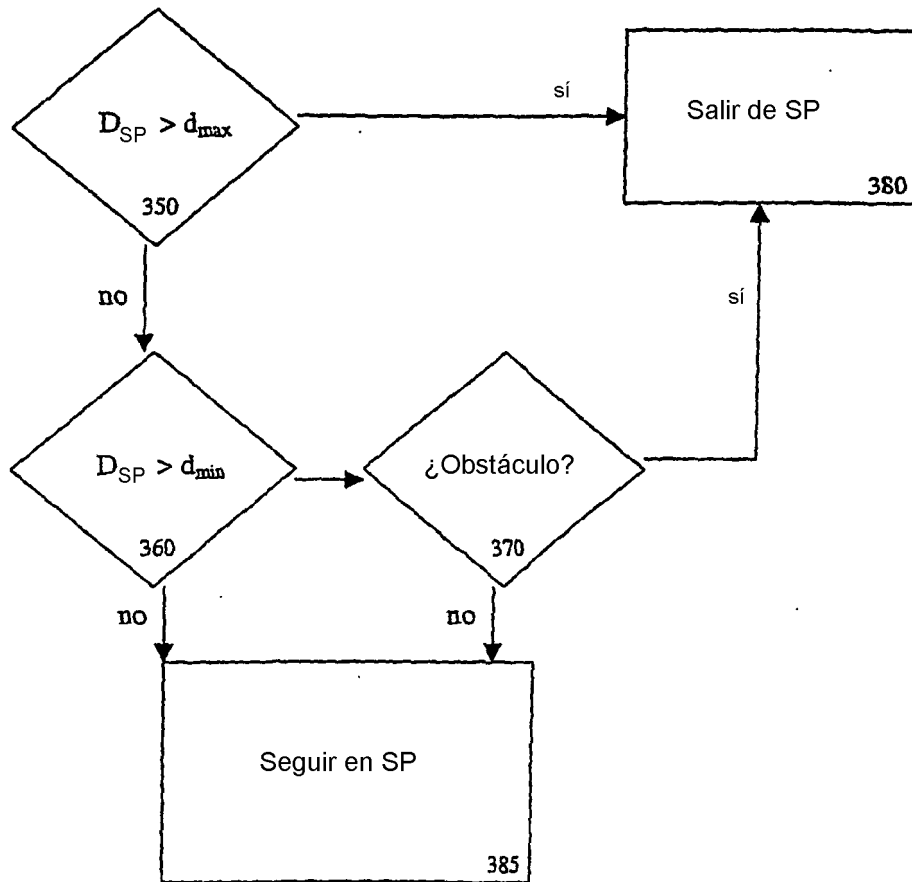


FIG. 9B

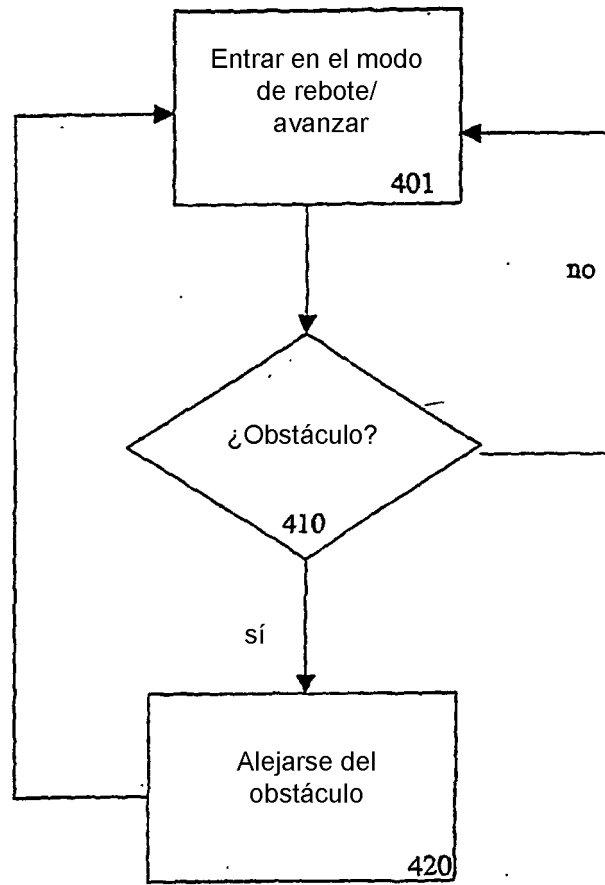


FIG. 10

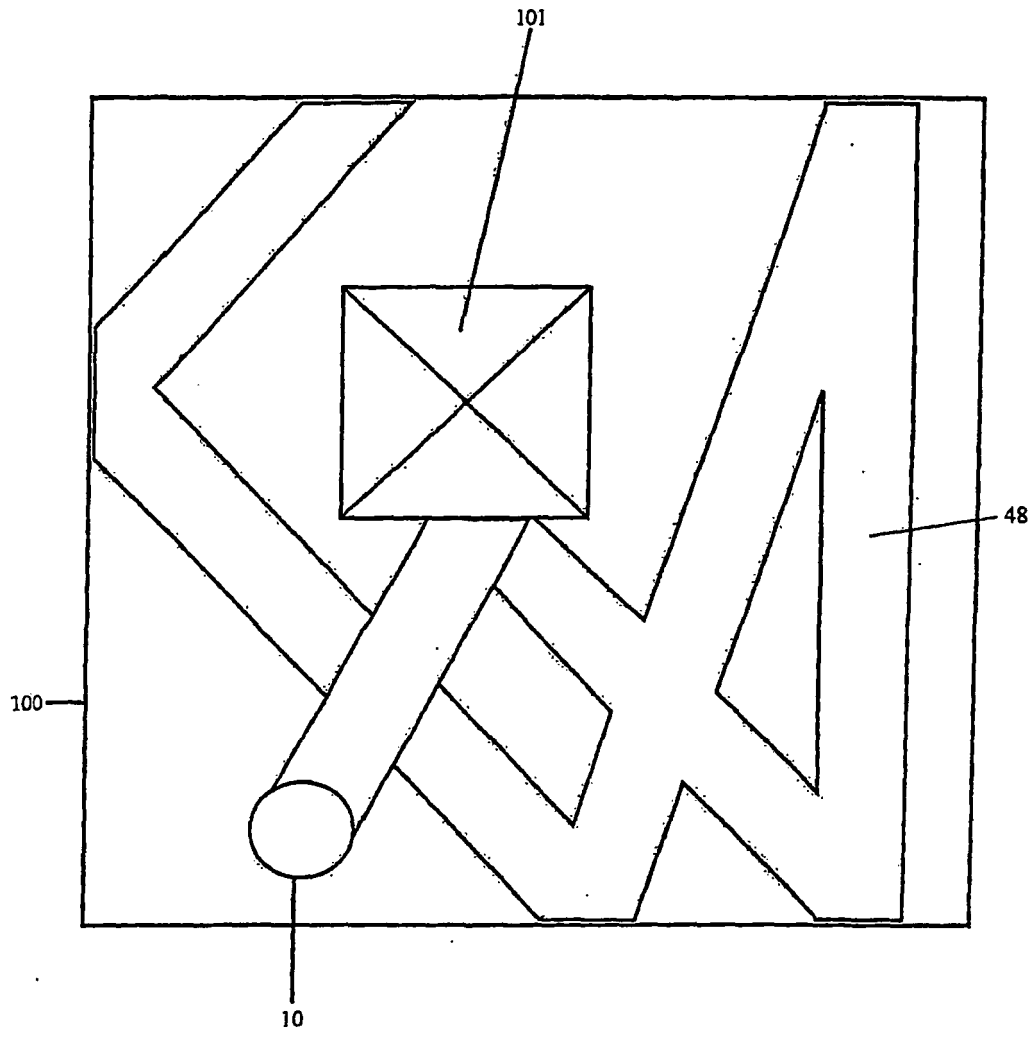


FIG. 11

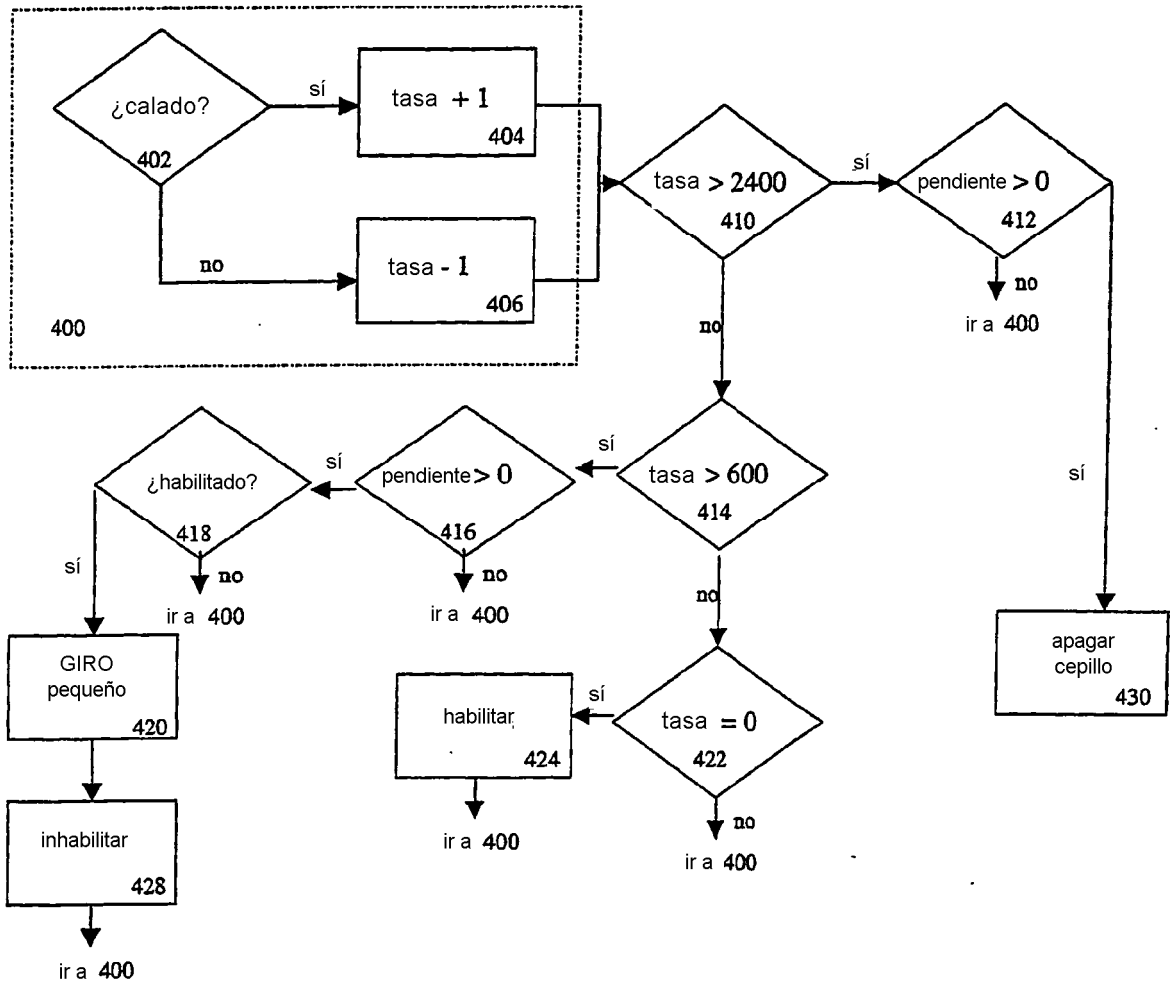


FIG. 12A

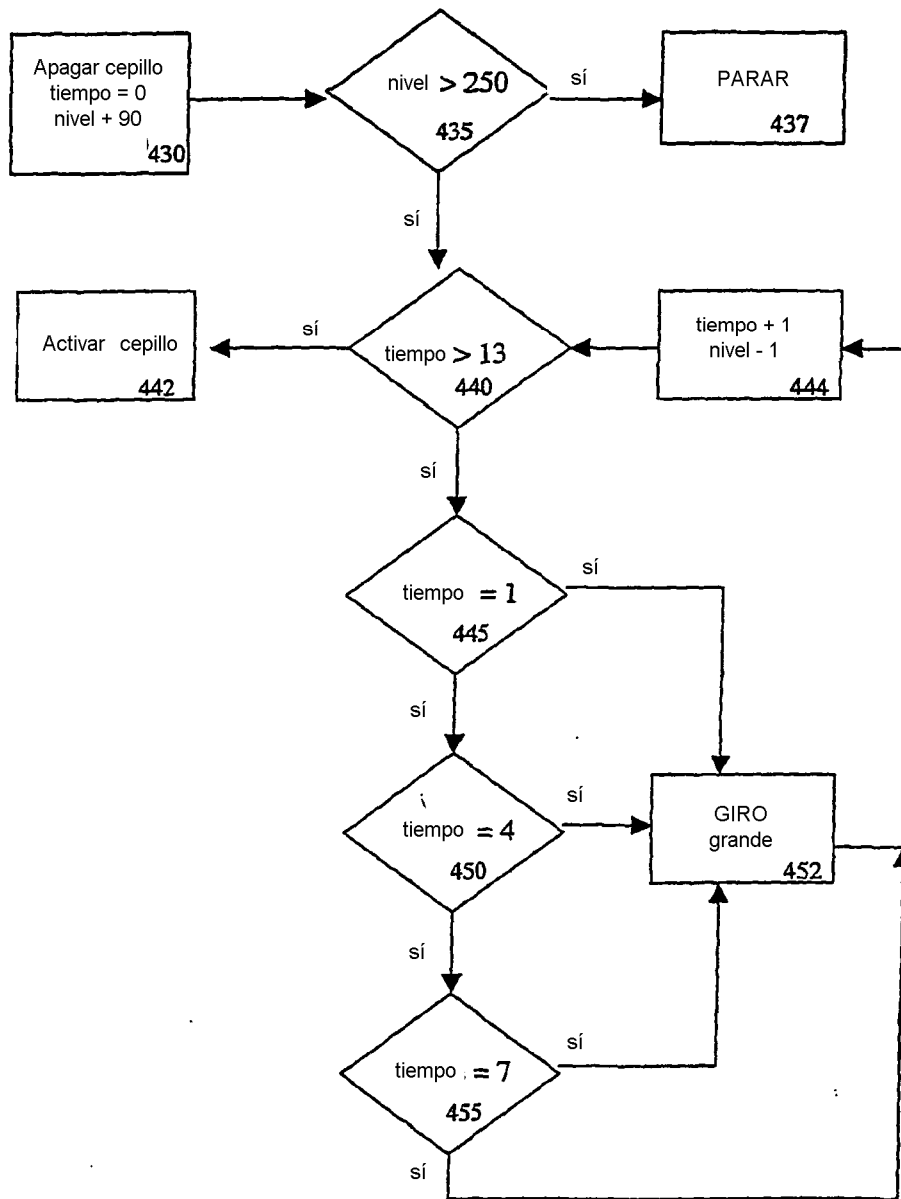


FIG. 12B

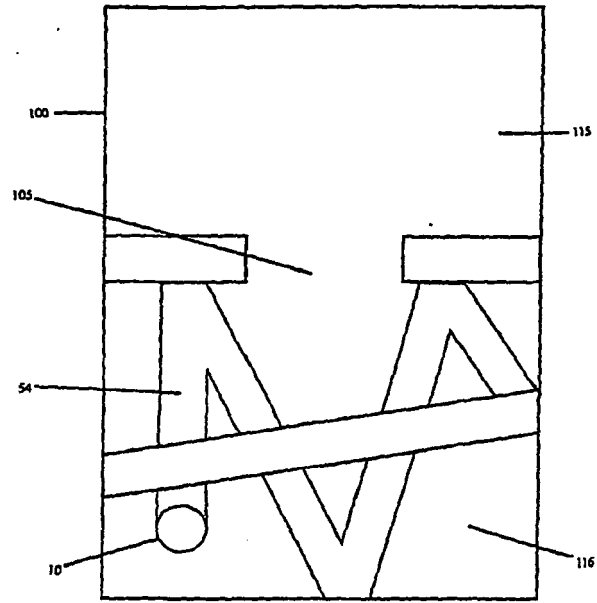


FIG. 13A

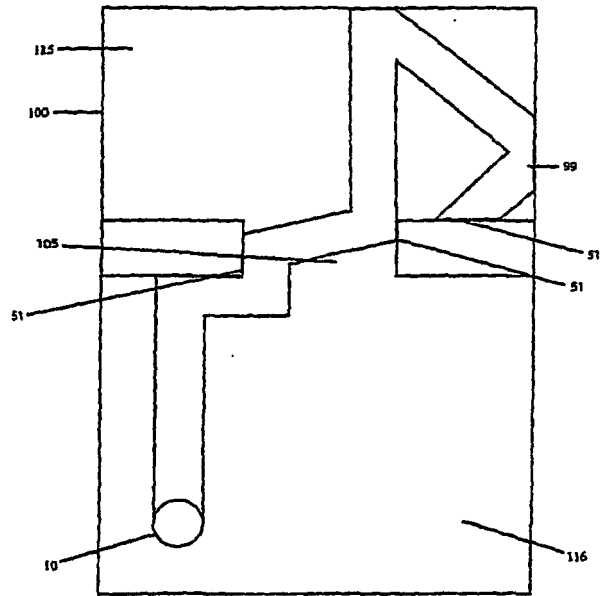


FIG. 13B

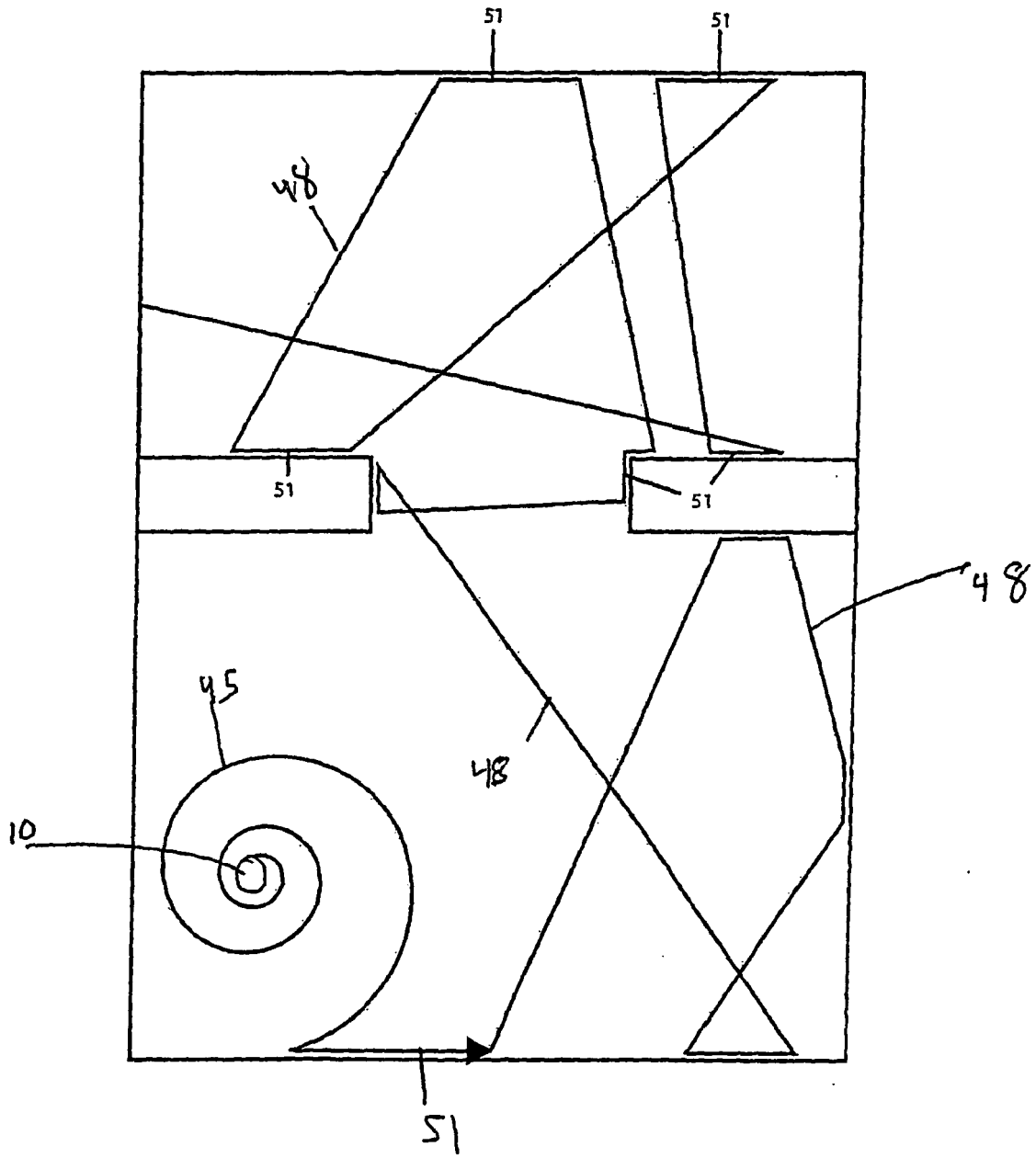


FIG. 14