

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 660 836**

51 Int. Cl.:

**G05D 1/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.06.2002 E 10183321 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.01.2018 EP 2287696**

54 Título: **Método y sistema de cobertura multicódigo para un robot autónomo**

30 Prioridad:

**12.06.2001 US 297718 P**

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

**26.03.2018**

73 Titular/es:

**IROBOT CORPORATION (100.0%)  
8 Crosby Drive  
Bedford, MA 01730, US**

72 Inventor/es:

**JONES, JOSEPH y  
MASS, PHILIP R.**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 660 836 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

Método y sistema de cobertura multicódigo para un robot autónomo.

**Campo de la invención**

5 Esta invención se refiere en general a vehículos o robots autónomos, y más específicamente a métodos y dispositivos robóticos móviles para cubrir un área específica según se podría requerir de, o utilizar como, limpiadoras o cortadoras de césped robóticas.

**Antecedentes**

Para los fines de esta descripción, los ejemplos se centrarán en los problemas abordados en la técnica anterior en relación con la limpieza robótica (por ejemplo, quitar el polvo, abrillantar, barrer, fregar, pasar la mopa en seco o aspirar). La invención reivindicada, sin embargo, se limita solo por las propias reivindicaciones, y un experto en la técnica reconocerá los innumerables usos para la presente invención más allá de la limpieza doméstica interior.

10 Los ingenieros en robótica han trabajado durante mucho tiempo de desarrollar un método eficaz de limpieza autónoma. A modo de introducción, el rendimiento de los robots de limpieza debería concentrarse en tres medidas de éxito: cobertura, velocidad de limpieza y efectividad percibida. La cobertura es el porcentaje del espacio disponible visitado por el robot durante un tiempo de limpieza fijo, e idealmente, un limpiador robótico proporcionaría una cobertura del 100 por ciento dado un tiempo de funcionamiento infinito. Desafortunadamente, los diseños de la  
15 técnica anterior a menudo dejan partes del área sin cubrir independientemente de la cantidad de tiempo que el dispositivo tenga para completar sus tareas. El fallo en lograr una cobertura completa puede ser el resultado de limitaciones mecánicas, por ejemplo, el tamaño y la forma del robot que pueden impedir que alcance determinadas áreas, o el robot puede quedar atrapado, incapaz de variar su control para escapar. El fallo en lograr una cobertura completa también puede ser el resultado de un algoritmo de cobertura inadecuado. El algoritmo de cobertura es el conjunto de instrucciones utilizadas por el robot para controlar su movimiento. Para los fines de la presente invención, la cobertura se describe como un porcentaje del área disponible visitado por el robot durante un tiempo de limpieza finito. Debido a limitaciones mecánicas y/o algorítmicas, determinadas áreas dentro del espacio disponible se pueden descuidar sistemáticamente. Dicha negligencia sistemática es una limitación significativa en la técnica anterior. Una segunda medida del rendimiento de un robot de limpieza es la velocidad de limpieza dada en unidades de área limpiada por unidad de tiempo. La velocidad de limpieza se refiere a la velocidad a la que aumenta el área de piso limpio; la velocidad de cobertura se refiere a la velocidad a la que el robot cubre el piso, independientemente de si el piso estaba previamente limpio o sucio. Si la velocidad del robot es  $v$  y la anchura del mecanismo de limpieza del robot (también llamada anchura de trabajo) es  $w$ , entonces la velocidad de cobertura del robot es simplemente  $wv$ , pero su velocidad de limpieza puede ser drásticamente menor.

30 Un robot que se mueve de forma puramente aleatoria en un entorno cerrado tiene una velocidad de limpieza que disminuye en relación con la velocidad de cobertura del robot en función del tiempo. Esto se debe a que cuanto más tiempo funciona el robot, más probable es que vuelva a visitar áreas ya limpiadas. El diseño óptimo tiene una velocidad de limpieza equivalente a la velocidad de cobertura, minimizando por tanto las limpiezas repetidas innecesarias del mismo punto. En otras palabras, la proporción de la velocidad de limpieza con la velocidad de cobertura es una medida del rendimiento y una velocidad de limpieza óptima significaría la cobertura del mayor porcentaje del área designada con la cantidad mínima de pases acumulativos o redundantes sobre un área ya limpia.

Una tercera medida del rendimiento del robot de limpieza es la efectividad percibida del robot. Esta medida se ignora en la técnica anterior. El movimiento deliberado y determinado movimiento de patrones se ve favorecido ya que los usuarios percibirán que un robot que contiene un movimiento deliberado es más efectivo. Aunque la cobertura, la  
40 velocidad de limpieza y la eficacia percibida son los criterios de rendimiento descritos en la presente memoria, una forma de realización preferida de la presente invención también tiene en cuenta la facilidad de uso en salas de una variedad de formas y tamaños (que contienen una variedad de obstáculos desconocidos) y el coste de los componentes robóticos. Otros criterios de diseño también pueden influir en el diseño, por ejemplo, la necesidad de evitar colisiones y la respuesta adecuada a otros peligros.

45 Según se describe en detalle en Jones, Flynn & Seiger, Mobile Robots: Inspiration to Implementation segunda edición, 1999, A K Peters, Ltd., y en otros lugares, se han realizado numerosos intentos para construir robots de aspirado y limpieza. Cada uno de estos robots se ha enfrentado a un reto similar: cómo cubrir eficazmente el área designada dadas las reservas de energía limitadas. Nos referimos a la limpieza eficiente al máximo, donde la velocidad de limpieza es igual a la velocidad de cobertura, como la limpieza determinista. Según se muestra en la FIG. 1A, un robot 1 que sigue una trayectoria determinista se mueve de una manera tal que cubre completamente el  
50 área 2 mientras evita toda limpieza redundante. La limpieza determinista requiere que el robot sepa dónde está y dónde ha estado; esto a su vez requiere un sistema de posicionamiento. Un sistema de posicionamiento de este tipo -un sistema de posicionamiento adecuadamente preciso para permitir la limpieza determinista podría depender de exploradores de barrido láser, transductores ultrasónicos, GPS diferenciales de la fase de la portadora u otros métodos- puede ser prohibitivamente costoso e implica configuración de usuario específica para las geometrías de  
55

sala particulares. Además, los métodos que dependen del posicionamiento global generalmente se incapacitan por el fallo de cualquier parte del sistema de posicionamiento.

5 Un ejemplo de utilización de tecnologías de detección altamente sofisticadas (y costosas) para crear una limpieza determinista es el dispositivo RoboScrub construido por Denning Mobile Robotics y Windsor Industries, que utilizaba sonar, detectores de infrarrojos, sensores de choque y navegación láser de alta precisión. El sistema de navegación de RoboScrub requería unir grandes objetivos de código de barras en varias posiciones en la sala. El requisito de que RoboScrub sea capaz de ver al menos cuatro objetivos simultáneamente era un problema de funcionamiento significativo. RoboScrub, por lo tanto, se limitó a limpiar grandes áreas abiertas.

10 Otro ejemplo, RoboKent, un robot construido por Kent Corporation, sigue una estrategia de posicionamiento global similar a RobotScrub. RoboKent prescinde del sistema de posicionamiento láser más costoso de RobotScrub, pero una vez hecho esto, RoboKent debe restringirse solo a las áreas con una geometría rectangular simple, por ejemplo, largos pasillos. En estas regiones más restringidas, la corrección de la posición mediante medidas de variación de sonar es suficiente. Otros sistemas de limpieza deterministas se describen, por ejemplo, en los documentos Patentes de EE.UU. n.º 4.119.900 (Kremnitz), 4.700.427 (Knepper), 5.353.224 (Lee et al.), 5.537.017 (Feiten et al.), 15 5.548.511 (Bancroft), 5.650.702 (Azumi).

Debido a las limitaciones y dificultades de la limpieza determinista, algunos robots se han basado en esquemas pseudodeterministas. Un método para proporcionar limpieza pseudodeterminista es un método de navegación autónomo conocido como navegación a estima. La navegación a estima consiste en medir la rotación precisa de cada rueda motriz del robot (utilizando, por ejemplo, encoders de eje ópticos). El robot puede entonces calcular su posición esperada en el entorno dado un punto de partida y orientación conocidos. Un problema con esta técnica es el deslizamiento de rueda. Si se produce deslizamiento, el sensor de pulsos en esa rueda registra una rotación de la rueda incluso si esa rueda no está impulsando el robot con relación al suelo. Según se muestra en la FIG. 1B, a medida que el robot 1 navega por la sala, estos errores de deslizamiento de la rueda motriz se acumulan haciendo que este tipo de sistema no sea confiable para carreras de cualquier duración considerable. (La trayectoria ya no consiste en filas apretadas, en comparación con la cobertura determinista que se muestra en la FIG. 1A.) El resultado de confiar en la navegación a estima es una negligencia sistemática insuperable; en otras palabras, las áreas del piso no se limpian.

Un ejemplo de un sistema pseudodeterminista es el robot Cyé de Probotics, Inc. Cyé depende exclusivamente de la navegación a estima y, por lo tanto, toma medidas heroicas para maximizar el rendimiento de su sistema de navegación a estima. Cyé debe comenzar en un punto de registro físico instalado por el usuario en una ubicación conocida donde el robot fija su posición y orientación. Cyé realiza entonces un seguimiento de la posición a medida que se aleja de ese punto. A medida que Cyé se mueve, aumenta la incertidumbre en su posición y orientación. Cyé debe asegurarse de regresar a un punto de calibración antes de que este error crezca tanto que sea improbable que encuentre un punto de calibración. Si se mueve o bloquea un punto de calibración o si se produce un deslizamiento excesivo de rueda, Cyé puede perderse (posiblemente sin darse cuenta de que se ha perdido). Por lo tanto, Cyé es adecuado para utilizar solo en entornos benignos relativamente pequeños. Otros ejemplos de este enfoque se describen en los documentos Patentes de EE.UU. n.º 5.109.566 (Kobayashi et al) y 6.255.793 (Peless et al.).

Otro enfoque para la limpieza robótica es el movimiento puramente aleatorio. Según se muestra en la FIG. 1C, en una sala 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 por más tiempo para lograr una cobertura aceptable. Para tener la confianza de que el robot de movimiento aleatorio ha limpiado el 98% de una sala libre de obstáculos, el robot de movimiento aleatorio debe funcionar aproximadamente cinco veces más tiempo que un robot determinista con el mismo mecanismo de limpieza moviéndose a la misma velocidad.

45 Las limitaciones de cobertura de un algoritmo aleatorio se pueden ver en la FIG. 1D. Un obstáculo 5 en la sala puede crear el efecto de segmentar la sala en una colección de cuartos. La cobertura en el tiempo de un robot de algoritmo aleatorio en una sala de este tipo es análoga a la densidad de tiempo del gas liberado en un cuarto de un volumen confinado. Inicialmente, la densidad del gas es la más alta en el cuarto donde se libera y la más baja en los cuartos más separados. De manera similar, es muy probable que el robot limpie a fondo el cuarto donde comienza, en lugar de los cuartos más distantes, al inicio del proceso. Dado el tiempo suficiente, un gas alcanza el equilibrio con igual densidad en todos los cuartos. Igualmente dado el tiempo, el robot limpiaría todas las áreas a fondo. Sin embargo, las limitaciones de los suministros de energía en la práctica generalmente garantizan que el robot no tendrá tiempo suficiente para limpiar todas las áreas de un espacio abarrotado de obstáculos. Nos referimos a este fenómeno como el problema de la difusión del robot.

55 Según se describió, la técnica anterior comercialmente disponible no ha sido capaz de producir un algoritmo de cobertura efectivo para un área de geometría desconocida. Según se indicó anteriormente, la técnica anterior o bien se ha basado en sofisticados sistemas de marcadores o balizas o bien ha limitado la utilidad del robot a salas con geometrías rectangulares simples. Los intentos de utilizar algoritmos de control pseudodeterministas pueden dejar áreas del espacio sistemáticamente descuidadas.

El documento Patente alemana n.º DE 198 49 978 C2 describe un dispositivo de limpieza autopulsado en el que un controlador puede seleccionar entre diferentes patrones de movimiento.

### Resumen de la invención

Es un objetivo de la presente invención proporcionar un sistema y método para permitir que un robot móvil funcione de varios modos con el fin de cubrir eficazmente un área.

- 5 La presente invención se refiere a un robot móvil según se establece en la reivindicación 1. Se describen formas de realización adicionales en las reivindicaciones dependientes.

### Breve descripción de los dibujos

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

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

- 10 La FIG. 2 es una representación esquemática en vista superior de los componentes básicos de un robot móvil utilizado en una forma de realización preferida de la invención;

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

- 15 La FIG. 4A es un diagrama que muestra un método para determinar el ángulo con el cual el robot encuentra un obstáculo; La FIG. 4B es un diagrama que muestra la orientación de una forma de realización preferida del sistema de control del robot;

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

- 20 La FIG. 6A es una representación esquemática del patrón de cobertura para una forma de realización preferida del comportamiento de ESPIRAL; La FIG. 6B es una representación esquemática del patrón de cobertura para una forma de realización alternativa del comportamiento de ESPIRAL; La FIG. 6C es una representación esquemática del patrón de cobertura para todavía otra forma de realización alternativa del comportamiento de ESPIRAL;

La FIG. 7 es una ilustración del diagrama de flujo del algoritmo de cobertura por puntos de una forma de realización preferida de la invención;

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

- 25 La FIG. 9A es una ilustración del diagrama de flujo del algoritmo de seguimiento de obstáculos de una forma de realización preferida de la invención; La FIG. 9B es una ilustración del diagrama de flujo de un algoritmo preferido para determinar cuándo salir del modo seguimiento de obstáculos.

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

- 30 La FIG. 11 es una ilustración del diagrama de flujo del algoritmo de cobertura de sala de una forma de realización preferida de la invención;

Las FIG. 12A y 12B son ilustraciones del diagrama de flujo de un comportamiento de escape de ejemplo;

- 35 La FIG. 13A es una representación esquemática del patrón de cobertura de un robot móvil con solo un único modo de funcionamiento; La FIG. 13B es una representación esquemática del patrón de cobertura para una forma de realización preferida de la presente invención que utiliza modos de seguimiento de obstáculos y cobertura de sala; y

La FIG. 14 es una representación esquemática del patrón de cobertura para una forma de realización preferida de la presente invención que utiliza modos de cobertura por puntos, de seguimiento de obstáculos y de cobertura de sala.

### Descripción detallada de la forma de realización preferida

- 40 En la presente invención, un robot móvil se diseña para proporcionar una cobertura máxima a una velocidad de cobertura eficaz en una sala de geometría desconocida. Además, la eficacia percibida del robot se mejora mediante la inclusión de un movimiento de patrones o deliberado. Además, en una forma de realización preferida, la cobertura eficaz requiere un sistema de control capaz de evitar que el robot se inmovilice en un entorno desconocido.

- 45 Aunque las estructuras físicas de los robots móviles son conocidas en la técnica, se describen los componentes de una forma de realización de ejemplo preferida de la presente invención en esta memoria. Una forma de realización preferida de la presente invención es una barredora robótica, en esencia, circular que contiene determinadas características. Según se muestra en la FIG. 2, por ejemplo, el robot móvil 10 de una forma de realización preferida

incluye un chasis 11 que soporta los 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 precipicio 14 situados en la carcasa del robot 15, y un sensor de seguimiento de pared 16 montado en la carcasa del robot 15. En otras formas de realización, se puede utilizar solo un sensor en el robot. Un experto en la técnica reconocerá que el(los) sensor(es) puede(n) ser de una variedad de tipos que incluyen sonar, táctiles, electromagnéticos, capacitivos, etc. Debido a restricciones de coste, una forma de realización preferida de la presente invención utiliza sensores de choque (táctiles) 12 y 13 y sensores de proximidad de IR reflexivos para los sensores de precipicio 14 y el sensor de seguimiento de pared 16. Los detalles de los sensores de IR se describen en la Solicitud de Patente de EE.UU. U.S.S.N. 09/768.773.

Una forma de realización preferida del robot también contiene dos ruedas 20, motores 21 para accionar las ruedas de forma independiente, un microcontrolador de gama baja y bajo costo 22, y una batería recargable 23 u otra fuente de alimentación conocida en la técnica. Estos componentes son bien conocidos en la técnica y no se describen en detalle en esta memoria. El dispositivo de limpieza robótico 10 incluye además uno o más cabezales de limpieza 30. El cabezal de limpieza puede contener una aspiradora, diversos cepillos, esponjas, mopas, telas electrostáticas o una combinación de diversos elementos de limpieza. La forma de realización mostrada en la FIG. 2 también incluye un cepillo lateral 32.

Según se mencionó anteriormente, una forma de realización preferida del dispositivo de limpieza robótico 10 comprende una carcasa exterior 15 que define un lado dominante, un lado no dominante y una parte frontal del robot 10. El lado dominante del robot es el lado que se mantiene cerca o en contacto con un objeto (u obstáculo) cuando el robot limpia el área adyacente a ese objeto (u obstáculo). En una forma de realización preferida, según se muestra en la FIG. 1, el lado dominante del robot 10 es el lado derecho con relación a la dirección principal de desplazamiento, aunque en otras formas de realización el lado dominante puede ser el lado izquierdo. En todavía otras formas de realización, el robot puede ser simétrico y no necesitar de este modo un lado dominante; sin embargo, en una forma de realización preferida, se elige un lado dominante por razones de coste. La dirección de desplazamiento principal es según se muestra en la FIG. 2 mediante la flecha 40.

En una forma de realización preferida, dos sensores de choque 12 y 13 están situados delante de las ruedas 20 con relación a la dirección del movimiento de avance, mostrado 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 de estos sensores de choque 12 y 13 se activan simultáneamente, el robot 10 reconoce un obstáculo en la posición delantera. En otras formas de realización, se pueden utilizar más o menos sensores de choque individuales. Del mismo modo, se puede utilizar cualquier cantidad de sensores de choque para dividir el dispositivo en cualquier cantidad de segmentos radiales. Mientras que en una forma de realización preferida los sensores de choque 12 y 13 son sensores de interrupción de haz de IR activados por contacto entre el robot 10 y un obstáculo, se pueden utilizar otros tipos de sensores, incluyendo interruptores mecánicos y capacitivos que detecten la capacitancia de los objetos que tocan el robot o entre dos placas de metal en el parachoques que se comprimen al contacto. También se pueden utilizar sensores sin contacto, que permitan al robot detectar la proximidad de objetos sin tocar físicamente el objeto, como sensores capacitivos o una cortina de luz de IR.

Es útil contar con un sensor o sensores que no solo puedan determinar si una superficie ha sido contactada (o está cerca), sino también el ángulo relativo al robot con el que se realizó el contacto. En el caso de una forma de realización preferida, el robot puede calcular el tiempo entre la activación de los interruptores de choque derecho e izquierdo 12 y 13, si ambos están activados. El robot es entonces capaz de estimar el ángulo en el cual se hizo el contacto. En una forma de 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, en esencia, en los dos extremos del parachoques que detectan el movimiento del parachoques. Cuando se comprime el parachoques, el tiempo entre los eventos de detección se utiliza para calcular el ángulo aproximado con el que el robot contacta el obstáculo. Cuando el parachoques se comprime desde el lado derecho, el sensor de choque derecho detecta primero el choque, seguido por el sensor de choque izquierdo, debido al cumplimiento de la geometría del parachoques y del detector de choque. De esta forma, el ángulo de choque se puede aproximar con solo 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 se activa un sensor de choque, el robot calcula el tiempo antes de que el otro sensor se active (si es que lo hace). 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 ocurrió en la región IV. Si  $t$  es mayor o igual que  $t_1$  y menor que  $t_2$ , entonces el robot supone que se hizo contacto en la región V. Si  $t$  es mayor que o igual a  $t_2$  (incluido el caso en el que el sensor de choque izquierdo 42 no se activa en absoluto dentro del tiempo supervisado), entonces el robot supone que el contacto ocurrió en la región VI. Si los sensores de choque se activan simultáneamente, el robot supone que el contacto se realizó directamente delante. Este método se puede utilizar para dividir el parachoques en una cantidad arbitrariamente grande de regiones (para mayor precisión) según el tiempo utilizado y la geometría del parachoques. Como una extensión, se pueden utilizar tres sensores para calcular el ángulo de choque en tres dimensiones en lugar de solo dos dimensiones como en el ejemplo anterior.

Una forma de realización preferida también contiene un sensor de detección de pared o seguimiento de pared 16 montado en el lado dominante del robot 10. En una forma de realización preferida, el sensor de seguimiento de pared es un sensor de IR compuesto por una pareja de emisor y detector colimados de manera que un volumen finito de intersección ocurre en la posición esperada de la pared. Este punto de enfoque mide aproximadamente 7,62 cm [tres pulgadas] por delante de la rueda motriz en la dirección del movimiento de avance del robot. El rango radial de detección de pared es de aproximadamente 1,905 cm [0,75 pulgadas].

Una forma de realización preferida también contiene cualquier cantidad de sensores de precipicio TR 14 que evitan que el dispositivo se caiga por las escaleras u otras caídas verticales. Estos sensores de precipicio tienen una construcción similar a la del sensor de seguimiento de pared, pero están dirigidos a observar el piso en lugar de una pared. Como una medida adicional de seguridad y detección, el robot 10 incluye un sensor de caída de rueda que puede detectar si una o más ruedas no están soportadas por el piso. Por lo tanto, este sensor de caída de rueda puede detectar no solo precipicios sino también diversos obstáculos sobre los que el robot puede ser impulsado, tales como bases de lámparas, transiciones de piso altas, pilas de cables, etc. Otras formas de realización pueden utilizar otros sensores conocidos o combinaciones de sensores.

La FIG. 3 muestra un diagrama de bloques del hardware del controlador y el robot de una forma de realización preferida de la invención. En una forma de realización preferida, se utiliza un procesador de la serie Winbond W78XXX. 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. Tiene una velocidad de reloj de 40MHz que se divide para una velocidad de procesador de 3,3 MHz. Tiene dos temporizadores que se utilizan para disparar interrupciones utilizadas para procesar sensores y generar señales de salida, así como un temporizador de vigilancia. Los bits más bajos 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 del sensor de pulsos de las dos ruedas motrices. El procesador también tiene una UART que se utiliza para probar y depurar el programa de control del robot.

Los puertos de E/S del microprocesador están conectados a los sensores y motores del robot y son la interfaz que lo conecta al estado interno del robot y su entorno. Por ejemplo, los sensores de caída de rueda se conectan a un puerto de entrada y la señal PWM del motor de escobillas se genera en un puerto de salida. La ROM en el microprocesador se utiliza para almacenar el programa de cobertura y control para el robot. Esto incluye los comportamientos (descritos a continuación), los algoritmos de procesamiento de detección y la generación de señal. La memoria RAM se utiliza para almacenar el estado activo del robot, tal como la distancia de choque promedio, el tiempo de funcionamiento y la distancia, y la identificación ID del comportamiento bajo control y sus órdenes de motor actuales.

Para los fines de comprender el 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 unido al robot. El movimiento direccional del robot 10 se puede entender como el radio con el que se moverá el robot 10. Para girar alejándose rápidamente de la pared 100, el robot 10 debe establecer un valor pequeño positivo de r ( $r_3$  en la FIG. 4B); para poder girar rápidamente hacia la pared, el robot debería establecer un valor pequeño y negativo de r ( $r_1$  en la FIG. 4B). Por otro lado, para hacer giros pequeños, el robot debe establecer valores absolutos más grandes para que los valores r positivos se muevan hacia la izquierda (es decir, alejándose de la pared,  $r_4$  en la FIG. 4B) y valores negativos para moverse hacia la derecha (es decir, hacia la pared,  $r_2$  en la FIG. 4B). Este esquema de coordenadas se utiliza en los ejemplos de control descritos a continuación. El microcontrolador 22 que controla la velocidad diferencial a la que se accionan los motores de rueda 21 individuales determina el radio de giro.

Además, en determinadas formas de realización, el robot puede incluir una o más entradas de usuario. Por ejemplo, según se muestra en la FIG. 2, una forma de realización preferida incluye tres botones 33 simples que permiten al usuario introducir el tamaño aproximado de la superficie que se va a cubrir. En una forma de realización preferida, estos botones etiquetados como "pequeña", "mediana" y "grande" corresponden respectivamente a salas de 11,1, 20,8 y 27,9 metros cuadrados.

Según se mencionó anteriormente, el robot de ejemplo es una forma de realización preferida para poner en práctica la presente invención, y un experto en la técnica puede elegir entre elementos conocidos en la técnica para diseñar un robot para un propósito particular. Ejemplos de diseños adecuados incluyen los descritos en los siguientes documentos Patentes de EE. UU. n.º: 4.306.329 (Yokoi), 5.149.566 (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).

La FIG. 5 muestra una representación de bloques simple de los diversos modos de funcionamiento de un dispositivo. En una forma de realización preferida, y solo a modo de ejemplo, los modos de funcionamiento pueden incluir limpieza por puntos (donde el usuario o robot designa una región específica a limpiar), limpieza de bordes y limpieza de sala. Cada modo de funcionamiento comprende combinaciones complejas de instrucciones y/o comportamientos internos, descritos a continuación. Estas complejidades, sin embargo, generalmente están ocultas para el usuario. En una forma de realización, el usuario puede seleccionar el modo de funcionamiento particular utilizando un

elemento de entrada, por ejemplo, un interruptor selector o botón pulsador. En otras formas de realización preferidas, según se describe a continuación, el robot puede funcionar en ciclos de forma autónoma a través de los modos de funcionamiento.

5 El robot de cobertura de la presente invención utiliza estos diversos modos de funcionamiento para cubrir eficazmente el área. Si bien un experto en la técnica puede implementar estos diversos modos de funcionamiento en una variedad de arquitecturas conocidas, una forma de realización preferida se basa en el control del comportamiento. Aquí, los comportamientos son simplemente capas de sistemas de control que funcionan todas en paralelo. El microcontrolador 22 a continuación ejecuta un esquema de arbitraje priorizado para resolver el comportamiento dominante para un escenario dado. Una descripción del control del comportamiento se puede encontrar en Mobile Robots, supra.

10 En otras palabras, en una forma de realización preferida, el microprocesador y el software de control del robot ejecutan varios comportamientos simultáneamente. Dependiendo de la situación, el control del robot se dará a uno o más comportamientos diferentes. Con el fin de 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 seguridad/usuario. Los comportamientos de cobertura están diseñados principalmente para permitir que el robot realice su funcionamiento de cobertura de manera eficiente. Los comportamientos de escape son comportamientos especiales a los que se les da prioridad cuando una o más entradas de detección sugieren que el robot puede no estar funcionando libremente. Como una convención para esta memoria descriptiva, los comportamientos descritos a continuación se escriben en mayúsculas.

#### 20 1. Comportamientos de cobertura

Las FIG. 6-14 muestran los detalles de cada uno de los modos de funcionamiento preferidos: cobertura por puntos, seguimiento de paredes (o seguimiento de obstáculos) y cobertura de sala.

Modo de funcionamiento: cobertura por puntos

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

30 En una forma de realización preferida, el método para lograr la limpieza por puntos es un algoritmo de control que proporciona un movimiento en espiral hacia afuera, o comportamiento de ESPIRAL, según se muestra en la FIG. 6A. En general, el movimiento en espiral se genera al aumentar el radio de giro en función del tiempo. En una forma de realización preferida, el robot 10 comienza su espiral en sentido contrario a las agujas del reloj, marcado en la FIG. 6A por la línea de movimiento 45, a fin de mantener el lado dominante en el borde de ataque exterior de la espiral. En otra forma de realización, mostrada en la FIG. 6B, el movimiento en espiral del robot 10 se genera hacia dentro de manera que el radio de las vueltas continúa disminuyendo. La espiral hacia adentro se muestra como la línea de movimiento 45 en la FIG. 6B. Sin embargo, no es necesario mantener el lado dominante del robot en el exterior durante el movimiento en espiral.

35 El método de limpieza por puntos usado en una forma de realización preferida - con espiral hacia afuera - se describe en la FIG. 7. Una vez que se inicia la espiral (etapa 201) y el valor de  $r$  se establece en su valor positivo mínimo (que producirá el giro más cerrado posible en sentido antihorario), el comportamiento en espiral recalcula el valor de  $r$  en función de  $\theta$ , donde  $\theta$  representa el giro angular desde el inicio del comportamiento en espiral (etapa 210). Al utilizar la ecuación  $r = a\theta$ , donde  $a$  es un coeficiente constante, se puede controlar la rigidez o la superposición deseada de la espiral. (Téngase en cuenta que  $\theta$  no está normalizado en  $2\pi$ ). El valor de  $a$  se puede elegir mediante la ecuación  $a = d/(2\pi)$ ; donde  $d$  es la distancia entre dos pases consecutivos de la espiral. Para una limpieza efectiva, se debe elegir un valor para  $d$  que sea menor que la anchura del mecanismo de limpieza 30. En una forma de realización preferida, se selecciona un valor de  $d$  que está entre la mitad y dos tercios de la anchura del cabezal de limpieza 30.

40 En otras formas de realización, el robot supervisa su distancia total recorrida en modo de espiral. Debido a que la espiral se deteriorará después de cierta distancia, es decir, el punto central del movimiento en espiral tenderá a derivar con el tiempo debido a la superficie dependiente del deslizamiento de rueda y/o imprecisiones en el algoritmo de aproximación en espiral y la precisión de cálculo. En determinadas formas de realización, el robot puede salir del modo de espiral después de que el robot haya recorrido una distancia específica ("distancia espiral máxima"), tal como 6,3 o 18,5 metros (etapa 240). En una forma de realización preferida, el robot utiliza múltiples distancias espirales máximas dependiendo de si el robot está realizando una espiral inicial o una espiral posterior. Si se alcanza la distancia espiral máxima sin un choque, el robot da el control a un comportamiento diferente, y el robot, por ejemplo, continúa a continuación moviéndose en una línea predominantemente recta. (En una forma de realización preferida, un comportamiento de LÍNEA RECTA es un comportamiento predeterminado de baja prioridad que propulsa al robot en una línea recta aproximada a una velocidad preestablecida de aproximadamente 0,306 m/s cuando no hay otros comportamientos activos.

En modo de espiral, se pueden tomar varias acciones cuando se encuentra un obstáculo. Por ejemplo, el robot podría (a) tratar de evitar el obstáculo y continuar la espiral en el sentido antihorario, (b) tratar de evitar el obstáculo y continuar la espiral en la dirección opuesta (por ejemplo, cambiando de sentido antihorario a sentido horario), o (c) cambiar los modos de funcionamiento. Continuar la espiral en la dirección opuesta se conoce como espiral reflectante y se representa en la FIG. 6C, donde el robot 10 invierte su trayectoria de movimiento 45 cuando entra en contacto con obstáculo 101. En una forma de realización preferida, según se detalla en la etapa 220, el robot 10 sale del modo de limpieza por puntos después del primer obstáculo encontrado por un sensor de choque 12 o 13.

Aunque una forma de realización preferida describe un movimiento en espiral para la cobertura por puntos, se puede utilizar cualquier área autolimitada, que incluye pero no se limita a las formas de polígonos regulares, tales como cuadrados, hexágonos, elipses, etc.

Modo de funcionamiento: seguimiento de pared/obstáculos

El seguimiento de pared o, en el caso de un robot de limpieza, la limpieza de bordes, permite al usuario limpiar sólo los bordes de una sala o los bordes de los objetos dentro de una sala. El usuario coloca el robot 10 en el suelo cerca de un borde a limpiar y selecciona el modo de funcionamiento de limpieza de bordes. El robot 10 se mueve entonces de tal manera que sigue el borde y limpia todas las áreas puestas en contacto con el cabezal de limpieza 30 del robot.

El movimiento del robot 10 en una sala 110 se muestra en la FIG. 8. En la FIG. 8A, el robot 10 se coloca junto a la pared 100, con el lado dominante del robot próximo a la pared. El robot entonces corre a lo largo de la pared de manera indefinida siguiendo la trayectoria de movimiento 46. De manera similar, en la FIG. 8B, el robot 10 se coloca en la proximidad de un obstáculo 101. El robot entonces sigue el borde del obstáculo 101 indefinidamente siguiendo la trayectoria de movimiento 47.

En una forma de realización preferida, en el modo de seguimiento de pared, el robot utiliza el sensor de seguimiento de pared 16 para posicionarse a una distancia determinada de la pared. El robot entonces procede a desplazarse a lo largo del perímetro de la pared. Según se muestra en las FIG. 8A y 8B, en una forma de realización preferida, el robot 10 no es capaz de distinguir entre una pared 100 y otro obstáculo sólido 101.

El método utilizado en una forma de realización preferida para el seguimiento de la pared se detalla en la FIG. 9A y proporciona una operación de seguimiento de pared suave incluso con un sensor de un bit. (Aquí el sensor de un bit sólo detecta la presencia de la ausencia de la pared dentro de un volumen particular en lugar de la distancia entre la pared y el sensor). Otros métodos de detectar una pared u objeto se pueden utilizar tales como la detección de choques o sensores sonar.

Una vez el modo de funcionamiento de seguimiento de pared, o el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED de una forma de realización preferida, se inicia (etapa 301), el robot coloca primero su valor inicial para la dirección en  $r_0$ . El comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED inicia entonces la rutina de detección de emisiones en el sensor seguidor de pared 16 (etapa 310). La existencia de una reflexión para la parte transmisora de IR del sensor 16 se traduce en la existencia de un objeto dentro de una distancia predeterminada del sensor 16. El comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED determina entonces si ha habido una transición desde una reflexión (objeto dentro del rango) a una no-reflexión (objeto fuera de rango) (etapa 320). Si ha habido una transición (en otras palabras, la pared está ahora fuera de rango), el valor de  $r$  se fija a su valor más negativo y el robot virará ligeramente a la derecha (etapa 325). El robot comienza entonces la secuencia de detección de emisiones de nuevo (etapa 310). Si no ha habido una transición desde una reflexión a una no-reflexión, el comportamiento de seguimiento de pared determina entonces si ha habido una transición desde no-reflexión a reflexión (etapa 330). Si ha habido una transición tal, el valor de  $r$  se fija a su valor más positivo y el robot virará ligeramente a la izquierda (etapa 335).

En la ausencia de cualquier tipo de evento de transición, el comportamiento de seguimiento de pared reduce el valor absoluto de  $r$  (etapa 340) y comienza la secuencia de detección de emisiones (etapa 310) de nuevo. Al disminuir el valor absoluto de  $r$ , el robot 10 comienza a girar más bruscamente en cualquier dirección a la que se dirige actualmente. En una forma de realización preferida, la velocidad de disminución del valor absoluto de  $r$  es una de velocidad constante dependiente de la distancia recorrida.

El modo de seguimiento de pared se puede continuar durante un tiempo predeterminado o aleatorio, una distancia predeterminada o aleatoria o hasta que se cumplan algunos criterios adicionales (por ejemplo, se active el sensor de choque, etc.). En una forma de realización, el robot continúa siguiendo la pared de manera indefinida. En una forma de realización preferida, según se muestra en las FIG. 8C y 8D, se determinan las distancias mínimas y máximas de desplazamiento, mediante lo cual el robot permanecerá en comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED hasta que el robot o bien se haya desplazado la distancia máxima (FIG. 8D) o bien desplazado al menos la distancia mínima y encontrado un obstáculo (FIG. 8C). Esta implementación del comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED garantiza que el robot pasa una cantidad de tiempo apropiada en el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED en comparación con sus otros modos de funcionamiento, disminuyendo de este modo la negligencia sistémica y la cobertura de distribución a todas las áreas. Al aumentar el seguimiento de pared, el robot es capaz de

moverse en más espacios, pero el robot es menos eficiente en la limpieza de uno cualquiera de los espacios. Además, al tender a salir del comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED después de la detección de obstáculos, el robot aumenta su eficacia percibida.

5 La FIG. 9B es una ilustración de diagrama de flujo que muestra esta forma de realización de determinar cuándo sale del comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED. El robot determina primero la distancia mínima para seguir la pared ( $d_{min}$ ) y la distancia máxima para seguir la pared ( $d_{max}$ ). Mientras que en el modo de seguimiento de pared (u obstáculo), el sistema de control supervisa la distancia que el robot se ha desplazado en ese modo ( $d_{WF}$ ). Si  $d_{WF}$  es mayor que  $d_{max}$  (etapa 350), entonces el robot sale del modo de seguimiento de pared (etapa 380). Si, sin embargo,  $d_{WF}$  es menor que  $d_{max}$  (etapa 350) y  $d_{WF}$  es menor que  $d_{min}$  (etapa 360), el robot permanece en el modo de seguimiento de pared (etapa 385). Si  $d_{WF}$  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).

15 En teoría, la distancia óptima para que el robot se desplace en el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED es una función del tamaño de la sala y la configuración y el tamaño del robot. En una forma de realización preferida, las distancias mínimas y máximas que permanecen en SEGUIMIENTO DE PARED se establecen en base al tamaño de sala aproximado, la anchura de los robots y un componente aleatorio, mediante lo cual la distancia de desplazamiento mínima promedio es  $2w/p$ , donde  $w$  es la anchura del elemento de trabajo del robot y  $p$  es la probabilidad de que el robot entrará en el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED en una interacción dada con un obstáculo. A modo de ejemplo, en una forma de realización preferida,  $w$  es aproximadamente de entre 15 cm y 25 cm, y  $p$  es 0,095 (donde el robot se encuentra con 6 a 15 obstáculos, o un promedio de 10,5 obstáculos, antes de entrar en un modo seguimiento de obstáculos). La distancia mínima se establece entonces de forma aleatoria como una distancia entre aproximadamente 115 cm y 350 cm; la distancia máxima se establece entonces al azar como una distancia entre aproximadamente 170 cm y 520 cm. En determinadas formas de realización, la relación entre la distancia mínima con la distancia máxima es de 2:3. En aras del rendimiento percibido, el funcionamiento inicial del robot de un modo seguimiento de obstáculos se puede establecer para que sea más largo que sus funcionamientos posteriores en el modo seguimiento de obstáculos. Además, los usuarios pueden colocar el robot a lo largo de la pared más larga cuando se inicia el robot, lo que mejora realmente, así como la cobertura percibida.

20 La distancia que el robot se desplaza en el modo de seguimiento de pared también puede ser ajustada por el robot dependiendo del número y la frecuencia de los objetos encontrados (según se determina por otros sensores), que es una medida del "desorden" de la sala. Si se encuentran más objetos, el robot seguirá la pared por una distancia mayor con el fin de entrar en todas las áreas del suelo. Por el contrario, si se encuentran pocos obstáculos, el robot seguirá la pared menos con el fin de no sobrecubrir los bordes del espacio en favor de pases por el centro del espacio. Una distancia inicial de seguimiento de pared también se puede incluir para permitir que el robot siga la pared una distancia más larga o más corta durante su periodo inicial en el que el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED tiene el control.

25 30 En una forma de realización preferida, el robot también puede salir del modo de seguimiento de pared si el robot gira más de, por ejemplo, 270 grados y es incapaz de localizar la pared (u objeto) o si el robot ha girado un total de 360 grados desde su entrada en el modo de seguimiento de pared.

35 En determinadas formas de realización, cuando el comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED está activo y hay un choque, el comportamiento de ALINEACIÓN se activa. El comportamiento de ALINEACIÓN gira el robot en sentido antihorario para alinear el robot con la pared. El robot siempre gira un ángulo mínimo para evitar llevar al robot a entrar en ciclos de muchos pequeños giros. Después de que haya girado a través de su ángulo mínimo, el robot supervisa su sensor de pared y si detecta una pared y luego la detección de pared desaparece, el robot deja de girar. Esto es porque en el extremo del intervalo seguidor de pared, el robot está bien alineado para comenzar el SEGUIMIENTO DE PARED. Si el robot no ha visto su detector de pared, continua y luego se apaga en el momento en que alcanza su ángulo máximo, se detiene de todos modos. Esto evita que el robot gire en círculos cuando la pared está fuera del rango de su sensor de pared. Cuando el choque más reciente está dentro de los 60 grados laterales del parachoques en el lado dominante, el ángulo mínimo se establece en 14 grados y el ángulo máximo es de 19 grados. De lo contrario, si el choque está dentro de 30 grados de la parte delantera 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.

40 45 50 Cuando el comportamiento de ALINEACIÓN ha terminado de girar, cede el control al comportamiento de SEGUIMIENTO DE PARED.

Modo de funcionamiento: cobertura de sala

55 El tercer modo de funcionamiento se denomina aquí cobertura de sala o el modo de limpieza de sala, lo que permite al usuario limpiar cualquier área delimitada por paredes, escaleras, obstáculos u otras barreras. Para ejercer esta opción, el usuario coloca el robot en el suelo y selecciona el modo de limpieza de sala. El robot se mueve entonces alrededor de la sala limpiando todas las áreas que es capaz de alcanzar.

En una forma de realización preferida, el método de realizar el comportamiento limpieza de sala es un comportamiento de REBOTE en combinación con el comportamiento de LÍNEA RECTA. Según se muestra en la FIG. 10, el robot 10 se desplaza hasta que un sensor de choque 12 y/o 13 se activa por contacto con un obstáculo

101 o una pared 100. El robot 10 gira entonces y continúa desplazándose. Una trayectoria de movimiento de ejemplo se muestra en la FIG. 11 como la línea 48.

5 El algoritmo para el comportamiento de rebote aleatorio se describe en la FIG. 10. El robot 10 continúa su movimiento de avance (etapa 401) hasta que un sensor de choque 12 y/o 13 se activa (etapa 410). El robot 10 calcula entonces un rango aceptable de nuevas direcciones en base a una determinación de cuales sensores o sensor de choque han sido activados (etapa 420). Una determinación se hace entonces con un poco de cálculo aleatorio para elegir el nuevo rumbo dentro de ese intervalo aceptable, tal como 90 a 270 grados con respecto al objeto que el robot encontró. El ángulo del objeto que el robot ha golpeado se determina según se describió anteriormente utilizando la temporización entre los sensores de choque derecho e izquierdo. El robot gira entonces a sus nuevos rumbos. En una forma de realización preferida, el giro es o bien en sentido horario o bien en sentido antihorario dependiendo de cuál dirección requiere el menor movimiento para lograr el nuevo rumbo. En otras formas de realización, el giro se acompaña por el movimiento de avance con el fin de aumentar el rendimiento de la cobertura del robot.

15 La estadística de la elección de rumbo hecha por el robot se puede distribuir uniformemente a través de los rumbos permitidos, es decir, hay una posibilidad equivalente para cualquier rumbo dentro del intervalo aceptable. Alternativamente podemos elegir las estadísticas basadas en una distribución de Gauss u otra diseñada para impulsar el robot preferentemente perpendicularmente alejándose de una pared.

20 En otras formas de realización, el robot podría cambiar de direcciones en momentos aleatorios o predeterminados y no en base a la actividad del sensor externo. Alternativamente, el robot podría hacer de forma continua pequeñas correcciones de ángulo en base a sensores de largo alcance para evitar incluso ponerse en contacto con un objeto y, de este modo cubrir el área superficial con trayectorias curvas.

En una forma de realización preferida, el robot permanece en el modo de limpieza de sala hasta que se alcanza una determinada cantidad de interacciones de rebote, por lo general entre 6 y 13.

## 2. Comportamientos de Escape

25 Existen diversas situaciones en las que el robot se puede encontrar al tratar de cubrir un área que evitan o impiden que cubra la totalidad del área de manera eficiente. Una clase general de sensores y comportamientos denominados comportamientos de escape se diseñan para conseguir que el robot salga de estas situaciones, o en casos extremos para apagar el robot si se determina que no puede escapar. Con el fin de decidir si dar una prioridad al comportamiento de escape entre los diversos comportamientos del robot, el robot determina lo siguiente: (1) ¿es necesario un comportamiento de escape?; (2) Si es así, ¿qué comportamiento de escape se justifica?

30 A modo de ejemplo, las siguientes situaciones ilustran situaciones donde se necesita un comportamiento de escape para un robot de limpieza de interiores y un comportamiento adecuado para ejecutar:

35 (i) Situación 1. El robot detecta una situación en la que podría quedar atrapado - por ejemplo, un punto alto en una alfombra o cerca de una base de lámpara que actúa como una rampa para el robot. El robot realiza pequeños comportamientos de giro de "pánico" para salir de la situación;

(ii) Situación 2. El robot está atascado físicamente - por ejemplo, el robot se acuña bajo un sofá o contra una pared, enredado en cables o flecos de alfombra o atrapado en una pila de cables eléctricos con sus ruedas girando. El robot realiza grandes comportamientos de giro de pánico y apaga los motores correspondientes para escapar de la obstrucción;

40 (iii) Situación 3. El robot está en un área pequeña, confinada - por ejemplo, el robot está entre las patas de una silla o en el área abierta bajo una cómoda, o en un área pequeña creada mediante la colocación de una lámpara próxima a la esquina de una sala. El borde del robot sigue utilizando su parachoques y/o realiza comportamientos de giro de pánico para escapar del área; y

45 (iv) Situación 4. El robot se ha atascado y no se puede liberar el mismo- por ejemplo, el robot está en uno de los casos de la categoría (ii) anterior, y no ha sido capaz de liberarse con cualquiera de sus comportamientos de pánico. En este caso, el robot detiene el funcionamiento y lo señaliza al usuario solicitando ayuda. Esto preserva la duración de la batería y evita daños a los pisos o mobiliario.

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

50 (i) Situación 1. (a) cuando el cepillo o cepillo lateral actual se eleva por encima de un umbral, la tensión aplicada al motor correspondiente se reduce. Cada vez que esto sucede, se incrementa una variable de velocidad de parada. Cuando la corriente es inferior al umbral, la velocidad de parada se reduce. Si el nivel de parada se eleva por encima de un umbral bajo y la pendiente de la velocidad es positiva, el robot realiza pequeños comportamientos de giro de pánico. Sólo repite estos pequeños comportamientos de giro de pánico cuando el nivel ha vuelto a cero y se ha elevado hasta el umbral de nuevo. (b) De la misma manera, hay una variable de nivel de caída de rueda que se incrementa cuando se detecta un evento de caída de rueda y se reduce constantemente con el tiempo. Cuando se

detecta un evento de caída de rueda y el nivel de caída de rueda es superior a un umbral (lo que significa que ha habido varias caídas de rueda recientemente), el robot realiza pequeños o grandes comportamientos de giro de pánico dependiendo del nivel de caída de rueda.

5 (ii) Situación 2. (a) Cuando la velocidad de parada del cepillo se eleva por encima de un umbral alto y la pendiente es positiva, el robot apaga el cepillo durante 13 segundos y realiza grandes comportamientos de giro de pánico a los 1, 3 y 7 segundos. Al final de los 13 segundos, el cepillo se vuelve a encender. (b) Cuando la velocidad de parada del accionamiento se eleva por encima de un umbral medio y la pendiente es positiva, el robot realiza grandes comportamientos de giro de pánico continuamente. (c) Cuando la velocidad de parada del accionamiento se eleva por encima de un umbral alto, el robot apaga todos los motores durante 15 segundos. Al final de los 15 segundos, los motores se encienden de nuevo. (d) Cuando el parachoques del robot es mantenido de forma constante durante 5 segundos (como en una situación de acuñamiento lateral), el robot realiza un gran comportamiento de giro de pánico. Se repite el comportamiento de giro de pánico cada 5 segundos hasta que el parachoques se libera. (e) Cuando el robot ha alcanzado sin choques una distancia de 6,096 metros (20 pies), se supone que podría estar atascado con sus ruedas girando. Para liberarse el mismo, realiza una espiral. Si aun así no se ha tenido un choque durante 3,048 metros (10 pies) después del final de la espiral, realiza un gran comportamiento de giro de pánico. Continúa esto cada 3,048 metros (10 pies) hasta que se tiene un choque.

20 (iii) Situación 3. (a) Cuando la distancia media entre choques cae por debajo de un umbral bajo, el robot realiza el seguimiento de borde utilizando su parachoques para tratar de escapar del área confinada. (b) Cuando la distancia media entre choques cae por debajo de un umbral muy bajo, el robot realiza grandes comportamientos de giro de pánico para orientarse de manera que pueda ser capaz de escapar mejor del área confinada.

25 (iv) Situación 4. (a) Cuando el cepillo se ha parado y ha sido apagado varias veces recientemente y la velocidad de parada del cepillo es alta y la pendiente es positiva, el robot se apaga. (b) Cuando el accionamiento se ha parado y los motores apagado varias veces recientemente y la velocidad de parada de accionamiento es alta y la pendiente es positiva, el robot se apaga (c) Cuando cualquiera de las ruedas se cae de forma continua durante más de 2 segundos, el robot se apaga. (d) Cuando se producen muchos eventos de caída de rueda en un corto período de tiempo, el robot se apaga. (e) Cuando cualquiera de los sensores de precipicio detecta un precipicio de forma continua durante 10 segundos, el robot se apaga. (f) Cuando el sensor de choque se presiona constantemente durante una determinada cantidad de tiempo, por ejemplo 10 segundos, es probable que el robot esté acuñado, y el robot se apaga.

30 Como un ejemplo descriptivo, las FIG. 12A y 12B ilustran el análisis utilizado en una forma de realización preferida para identificar la necesidad de un comportamiento de escape con respecto a un motor del cepillo parado, según se describió anteriormente en las Situaciones de 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 velocidad se incrementa en 1 (etapa 404); si no se detecta ningún límite, el registro de la velocidad se disminuye en 1 (etapa 406). Un registro de pendiente diferente almacena los últimos valores durante un último periodo de tiempo tal como 120 ciclos. Si la velocidad es superior a 600 (donde 600 corresponde a un segundo de parada constante) (etapa 414) y la pendiente es positiva (etapa 416), entonces el robot ejecutará un comportamiento de escape (etapa 420) si el comportamiento de escape está activado (etapa 418). Los comportamientos de escape se desactivan después de ejecutarse (etapa 428) hasta que la velocidad ha vuelto a cero (etapa 422), vuelve a habilitar (etapa 424) y aumenta hasta 600 de nuevo. Esto se hace para evitar que el comportamiento de escape se dispare constantemente a velocidades superiores a 600.

45 Si, sin embargo, la velocidad está por encima de 2400 (etapa 410) y la pendiente es positiva (etapa 412), el robot ejecutará un conjunto especial de comportamientos de escape, mostrados en la FIG. 12B. En una forma de realización preferida, el motor del cepillo se apagará (etapa 430), el "nivel" se incrementa en una cantidad predeterminada (50 a 90) (etapa 430), el tiempo de parada se establece (etapa 430), y un comportamiento de pánico (etapa 452) se premoldea en 1 segundo (etapa 445), 4 segundos (etapa 450) y 7 segundos (etapa 455) desde que el cepillo se apaga. El sistema de control reinicia entonces el cepillo a los 13 segundos (etapas 440 y 442). El nivel se disminuye en 1 cada segundo (etapas 444). Si el nivel alcanza un umbral máximo (etapa 435), el robot deja todos los funcionamientos (etapa 437). Además, el robot puede tomar acciones adicionales cuando se detectan determinadas paradas, tales como la limitación de la tensión del motor para evitar daños en el motor.

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

55 GIRO. El robot gira en su lugar en una dirección aleatoria, comenzando con una velocidad más alta (aproximadamente el doble de su velocidad normal de giro) y disminuyendo a una velocidad inferior (aproximadamente la mitad de su velocidad normal de giro). La variación de la velocidad puede ayudar al robot a escapar de diversas situaciones. El ángulo con el que el robot debe girar puede ser al azar o una función del grado de escape necesario o ambos. En una forma de realización preferida, en situaciones de poco pánico el robot gira cualquier valor desde 45 a 90 grados, y en situaciones de pánico alto el robot gira cualquier valor desde 90 a 270 grados.

BORDE. El robot sigue el borde usando su sensor de choque hasta que (a) el robot gira 60 grados sin un choque o (b) el robot de forma acumulativa ha girado más de 170 grados desde que se inició el comportamiento de BORDE. El comportamiento de BORDE puede ser útil si la distancia de choque promedio es baja (pero no tan baja como para provocar un comportamiento de pánico). El comportamiento de BORDE permite al robot encajar a través de las pequeñas aberturas físicamente posibles para el robot y de esta manera puede permitir al robot escapar de áreas confinadas.

CAIDA DE RUEDA. El robot impulsa las ruedas hacia atrás brevemente, y a continuación las detiene. El accionamiento hacia atrás de las ruedas ayuda a minimizar los falsos positivos de caída de rueda, dando a las ruedas un pequeño golpe en la dirección opuesta. Si la caída de la rueda ha desaparecido en 2 segundos, el robot continúa el funcionamiento normal.

LENTO. Si un detector de caída de rueda o de precipicio se apaga, el robot desacelera a la velocidad de 0,235 m/s (o 77% de su velocidad normal) en una distancia de 0,5 m y luego acelera de vuelta hasta su velocidad normal.

Además de los comportamientos de cobertura y los comportamientos de escape, el robot también puede contener comportamientos adicionales relacionados con la seguridad o la facilidad de uso. Por ejemplo, si se detecta un precipicio durante más de una cantidad predeterminada de tiempo, el robot se puede apagar. Cuando se detecta un precipicio primero, un comportamiento de respuesta para evitar el precipicio toma prioridad inmediata sobre todos los demás comportamientos, girando el robot alejándose del precipicio hasta que el robot ya no detecta el precipicio. En una forma de realización preferida, el evento de detección del precipicio no provoca un cambio en los modos de funcionamiento. En otras formas de realización, el robot podría utilizar un algoritmo similar al comportamiento de seguimiento de pared para proporcionar seguimiento de precipicio.

El funcionamiento individual de los tres modos de funcionamiento se ha descrito anteriormente; pasamos ahora al modo preferido de cambiar entre los diversos modos.

Con el fin de lograr la cobertura y el rendimiento de limpieza óptimos, una forma de realización preferida utiliza un programa de control que da prioridad a diversos comportamientos de cobertura. (Si es necesario, siempre se les da a los comportamientos de escape una prioridad más alta). Por ejemplo, el robot 10 puede utilizar el modo de seguimiento de pared durante un periodo de tiempo especificado o aleatorio y a continuación cambiar los modos de funcionamiento a limpieza de habitación. Al cambiar entre los modos de funcionamiento, el dispositivo robótico de la presente invención es capaz de aumentar la cobertura, el rendimiento de limpieza y la eficacia percibida.

A modo de ejemplo, las FIG. 13A y 13B muestran un robot móvil 10 en un entorno con forma de "hueso de perro" en el que dos salas 115 y 116 de dimensiones aproximadamente iguales están conectadas por un pasadizo estrecho 105. (Este ejemplo ilustra el problema de difusión del robot descrito anteriormente.) Esta disposición es una versión simplificada de los entornos domésticos típicos, donde el "hueso de perro" se puede generar por las disposiciones de obstáculos dentro de la sala. En la FIG. 13A, la trayectoria del robot 10 se traza como la línea 54 cuando el robot 10 funciona en el modo de rebote aleatorio. El robot 10 es incapaz de moverse desde la sala 116 a la 115 durante la carrera limitada debido a que no tuvo lugar un comportamiento aleatorio del robot para conducir al robot a través del pasadizo 105. Este método deja la cobertura mucho menos que óptima y la velocidad de limpieza disminuyó debido a la cantidad de veces que el robot 10 cruza su propia trayectoria.

La FIG. 13B muestra el movimiento de una forma de realización preferida del robot 10, mediante el cual el robot funciona en ciclos entre los comportamientos de SEGUIMIENTO DE PARED y de REBOTE. A medida que el robot sigue la trayectoria 99, cada vez que el robot 10 se encuentra con una pared 100, el robot sigue la pared durante una distancia igual a dos veces el diámetro del robot. Las partes de la trayectoria 99 en las que el robot 10 funciona en el modo de seguimiento de pared se etiquetan 51. Este método proporciona cobertura aumentada en gran medida, junto con los aumentos concomitantes en la velocidad de limpieza y la eficacia percibida.

Finalmente, una forma de realización preferida de la presente invención se detalla en la FIG. 14, en la que se utilizan todos los tres modos de funcionamiento. En una forma de realización preferida, el dispositivo 10 comienza en el modo de espiral (línea de movimiento 45). Si se utiliza un patrón de espiral de reflexión, el dispositivo continúa en el modo de espiral hasta que se ha producido una cantidad predeterminada o aleatoria de eventos de reflexión. Si se utiliza una espiral estándar (según se muestra en la FIG. 14), el dispositivo debe continuar hasta cualquier evento de detección de choque. En una forma de realización preferida, el dispositivo entra inmediatamente en el modo de seguimiento de pared después del evento de activación.

En una forma de realización preferida, el dispositivo cambia a continuación entre el modo de seguimiento de pared (líneas de movimiento 51) y los modos de rebote aleatorios (líneas de movimiento 48) en base a eventos de detección de choque o la finalización del algoritmo de seguimiento de pared. En una forma de realización, el dispositivo no vuelve al modo de espiral; en otras formas de realización, sin embargo, el dispositivo puede entrar en el modo de espiral en base a un evento predeterminado o aleatorio.

En una forma de realización preferida, el robot mantiene un registro de la distancia media recorrida entre choques. El robot calcula entonces una distancia de choque promedio (ABD) utilizando la siguiente fórmula:  $(3/4 \times ABD) + (1/4 \times \text{la distancia más reciente entre golpes})$ . Si el ABD está una por encima de un umbral predeterminado, el robot

volverá a dar prioridad al comportamiento de ESPIRAL. En todavía otras formas de realización, el robot puede tener una mínima cantidad de eventos de choque antes de que se le vuelva a dar prioridad al comportamiento de ESPIRAL. En otras formas de realización, el robot puede entrar en el comportamiento de ESPIRAL si se desplaza una distancia máxima, por ejemplo, de 6,096 metros (20 pies), sin un evento de choque.

- 5 Además, el robot también puede tener condiciones tras las que detener todos los funcionamientos. Por ejemplo, para un tamaño de sala dado, que se puede seleccionar manualmente, se establecen un tiempo mínimo y máximo de funcionamiento y se selecciona una distancia total mínima. Cuando se hayan alcanzado el tiempo mínimo y la distancia mínima el robot se apaga. Del mismo modo, si se ha alcanzado el tiempo máximo, el robot se apaga.

- 10 Por supuesto, también se puede utilizar un control manual para seleccionar entre los modos de funcionamiento. Por ejemplo, se podría utilizar un mando a distancia para cambiar o influir en los modos de funcionamiento o comportamientos. Del mismo modo, un interruptor montado en la propia carcasa se podría utilizar para establecer el modo de funcionamiento o para el cambio entre modos. Por ejemplo, se podría utilizar un interruptor para establecer el nivel de desorden en una sala que permita al robot un algoritmo de cobertura más apropiado con capacidad de detección limitada.

- 15 Un experto en la técnica reconocerá que partes de la presente invención se pueden utilizar en vehículos autónomos para una variedad de propósitos además de limpiar. El alcance de la invención se debe determinar por las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes legales, en lugar de por los ejemplos dados.

Se han descrito una cantidad de implementaciones. Sin embargo, se entenderá que se pueden hacer diversas modificaciones sin apartarse del alcance de las siguientes reivindicaciones.

20

**REIVINDICACIONES**

1. Un robot móvil (10) que comprende:
  - (a) medios para mover el robot (10) sobre una superficie;
  - 5 (b) un sensor de detección de obstáculos (12, 13), un sensor de seguimiento de obstáculos (16), un detector de precipicios (14) y un sensor de caída de rueda que es capaz de detectar si una o más ruedas no están soportadas por la superficie;
  - (c) y un sistema de control conectado con capacidad de funcionamiento a dicho sensor de detección de obstáculos (12, 13) y dichos medios de movimiento;
  - 10 (d) configurado dicho sistema de control para hacer funcionar el robot (10) en varios modos, comprendiendo dichos varios modos:

un modo de seguimiento de obstáculos mediante el cual dicho robot (10) se desplaza adyacente a un obstáculo, en donde el sensor de seguimiento de obstáculos (16) se utiliza en el modo de seguimiento de obstáculos para posicionar el robot (10) a una distancia establecida de un obstáculo, y un modo de rebote mediante el cual el robot (10) se desplaza, en esencia, en una dirección alejándose de un obstáculo después de encontrar un obstáculo,

  - 15 mediante el cual dicho sistema de control se configura para reducir la velocidad del robot tras la detección de un precipicio.
2. Un robot móvil (10) de acuerdo con la reivindicación 1, mediante el cual dicho sensor de detección de obstáculos (12, 13) comprende un sensor táctil.
3. Un robot móvil (10) de acuerdo con la reivindicación 2, mediante el cual dicho sensor de detección de obstáculos comprende además un sensor de IR.
4. El robot móvil (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, mediante el cual el modo de seguimiento de obstáculos comprende alternar entre disminuir el radio de giro del robot (10) como una función de la distancia recorrida de manera que el robot (10) gire hacia dicho obstáculo hasta que el sensor de detección de obstáculos detecte un obstáculo, y disminuir el radio de giro del robot (10) como una función de la distancia recorrida de manera que el robot (10) se aleje de dicho obstáculo hasta que el sistema de detección de obstáculos ya no detecte un obstáculo.
5. El robot móvil (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, mediante lo cual el robot (10) funciona en el modo de seguimiento de obstáculos durante una distancia mayor que el doble de la anchura de trabajo del robot (10) y menor de aproximadamente diez veces la anchura de trabajo del robot.
6. El robot móvil (10) de acuerdo con la reivindicación 5, mediante lo cual el robot funciona en el modo de seguimiento de obstáculos durante una distancia mayor que el doble de la anchura de trabajo del robot (10) y menor de cinco veces la anchura de trabajo del robot (10).
7. Un robot móvil (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el sistema de control alterna entre los modos de funcionamiento en base a la falta de entrada de detección.
8. Un robot móvil (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde dicho sistema de control comprende además la memoria en donde se almacena un programa del sistema de funcionamiento, comprendiendo dicho programa del sistema de funcionamiento varios comportamientos y un árbitro para seleccionar a qué comportamiento se le da el control sobre los medios de movimiento.
9. Un robot móvil (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende además un comportamiento de escape.
10. Un robot móvil (10) de acuerdo con la reivindicación 9, en donde se le da prioridad al comportamiento de escape cuando una o más entradas de detección sugieren que el robot (10) puede no estar funcionando libremente.
11. Un robot móvil (10) de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, en donde dicho sensor de detección de obstáculos comprende un sensor táctil, y en donde dicho comportamiento de escape comprende funcionar en dicho modo de seguimiento de obstáculos.
12. Un robot móvil (10) de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, en donde dicho comportamiento de escape se activa por la velocidad de un evento de parada del motor.
13. Un robot móvil (10) de acuerdo con la reivindicación 12, en donde dicho comportamiento de escape se activa por un aumento de dicha velocidad de un evento de parada del motor.

14. Un robot móvil (10) de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, en donde dicho comportamiento de escape se activa por la duración de la entrada de detección, o en donde dicho comportamiento de escape comprende apagar el robot (10), o en donde dicho comportamiento de escape se activa por una falta de entrada de detección.

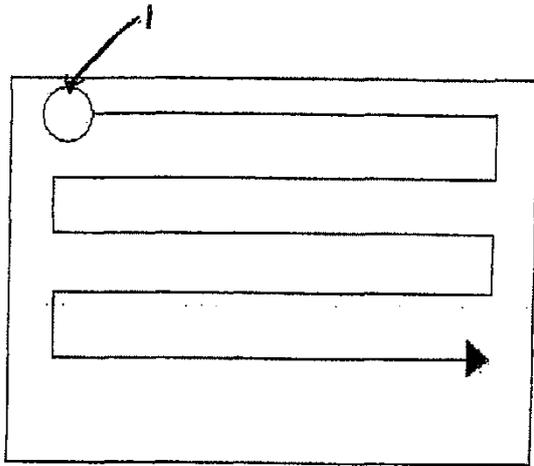


FIG. 1A

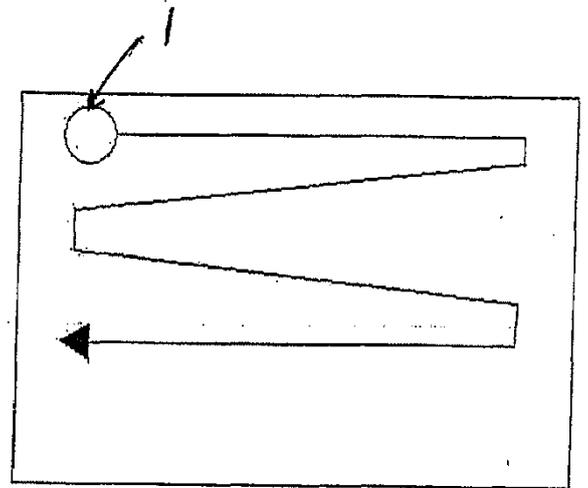


FIG. 1B

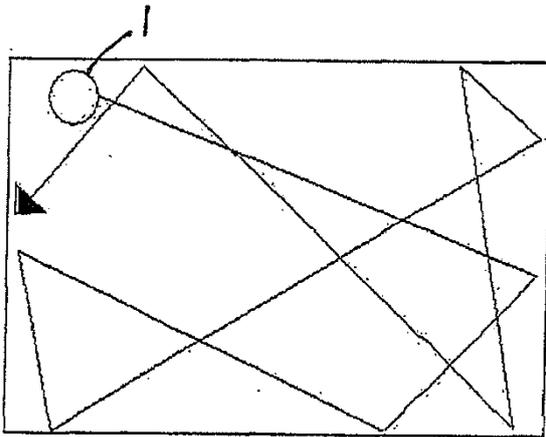


FIG. 1C

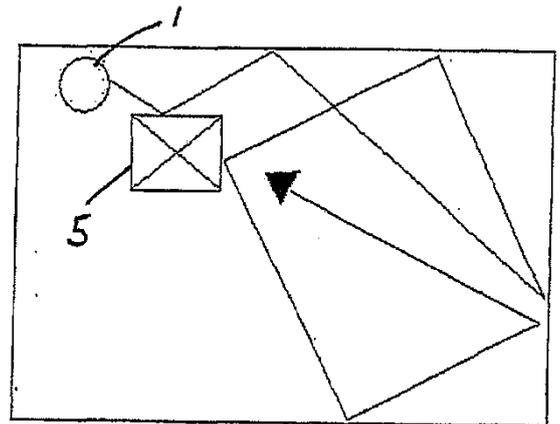


FIG. 1D

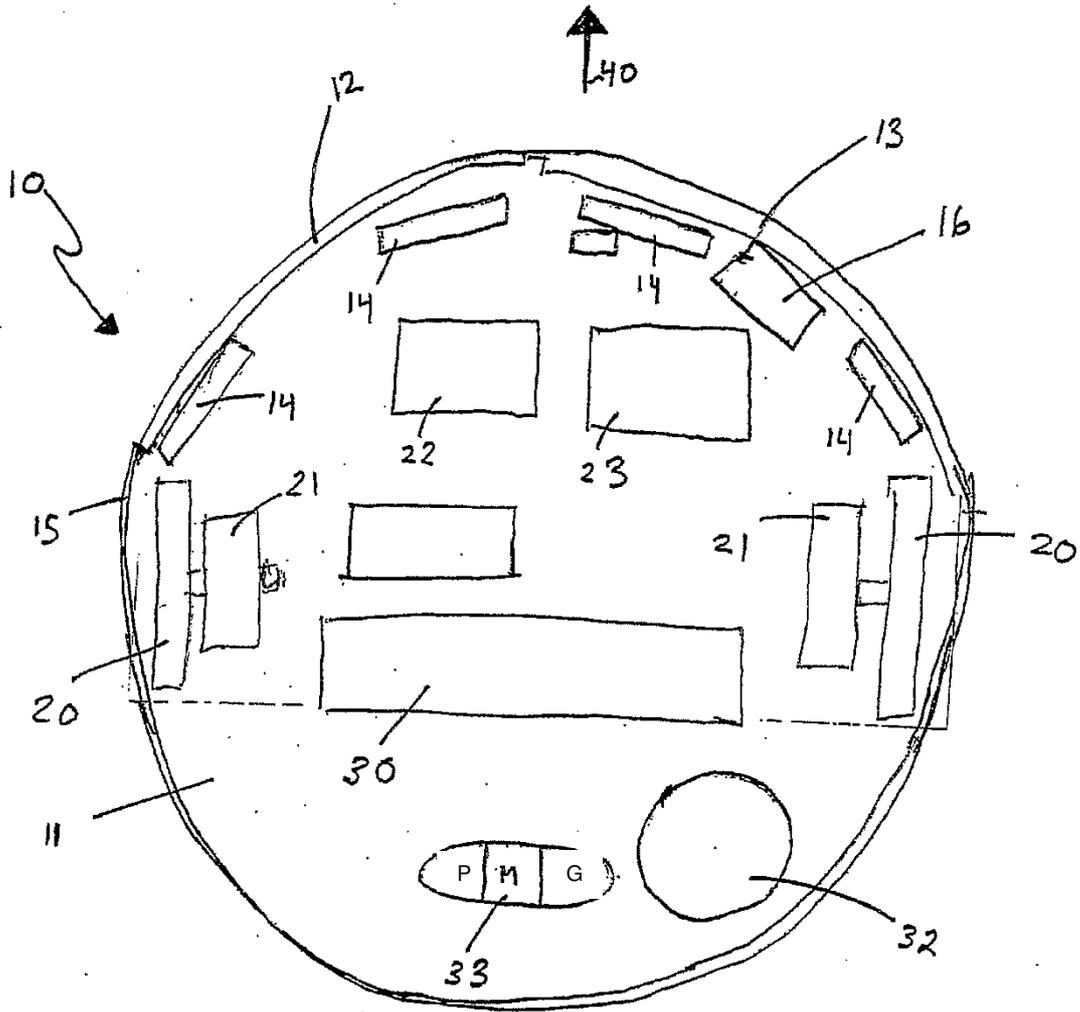
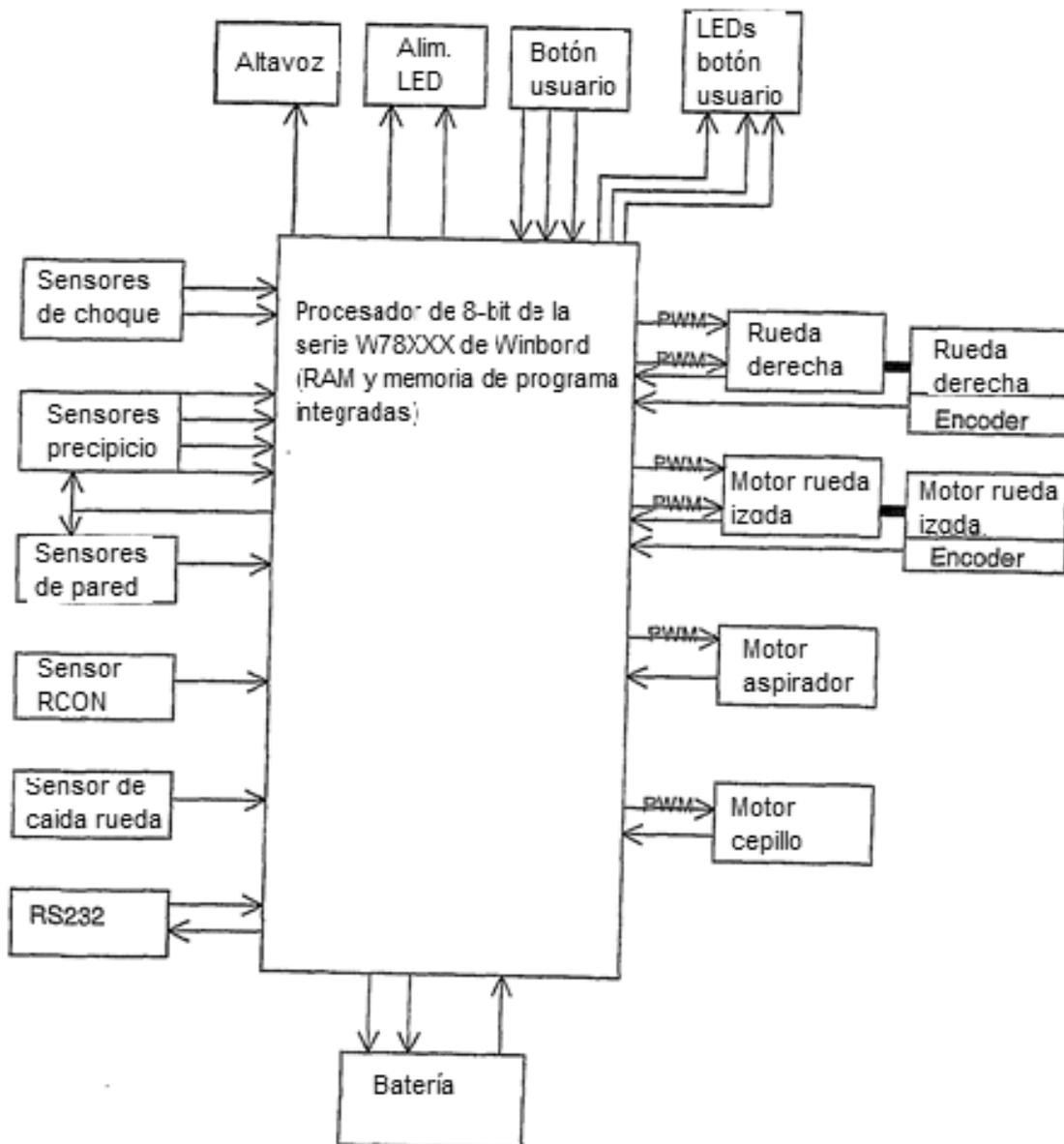
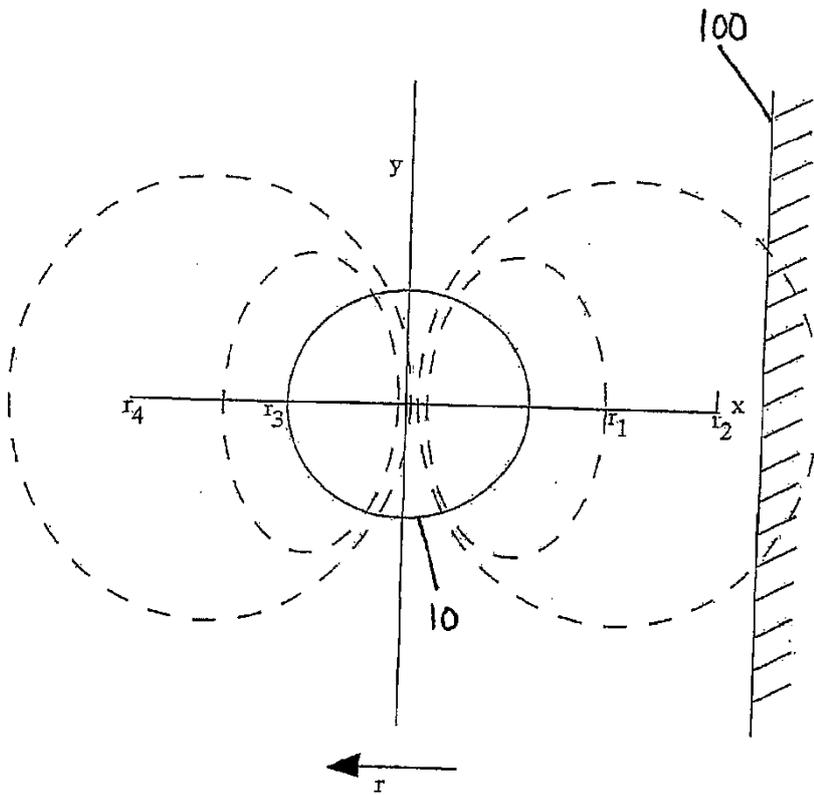
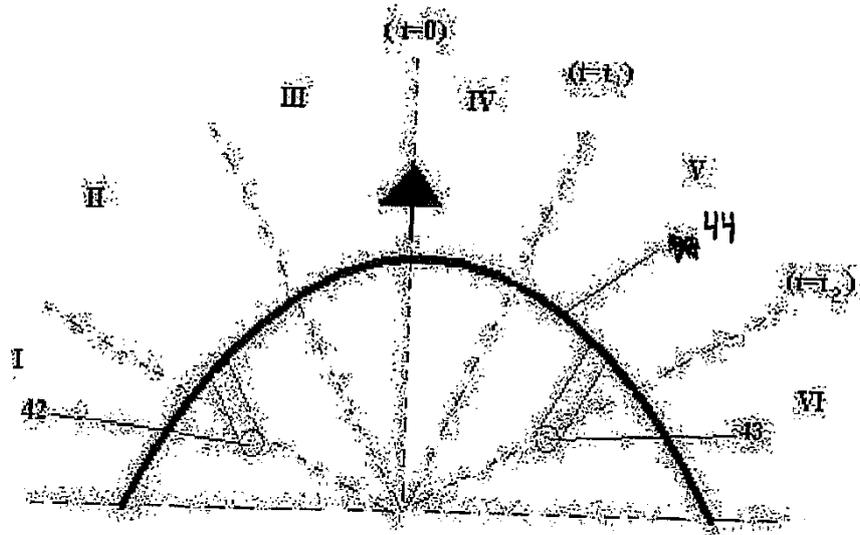


FIG. 2

FIG. 3





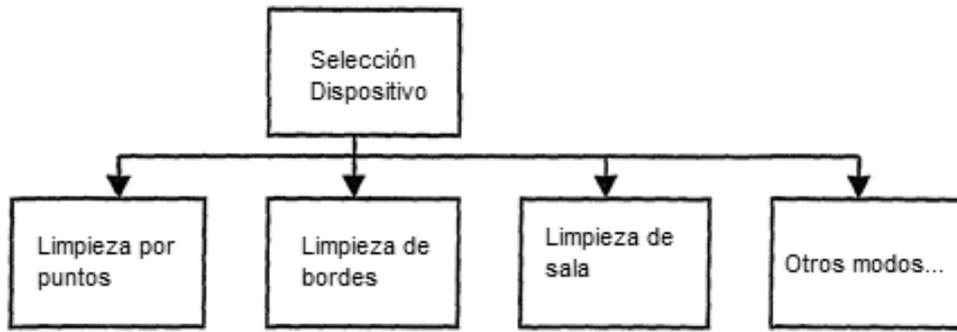


FIG. 5

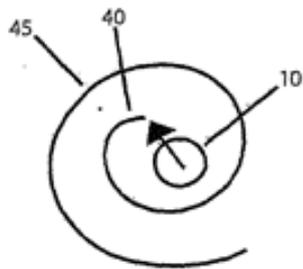


FIG. 6A

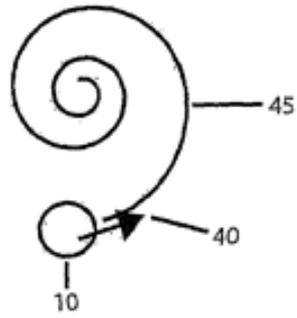


FIG. 6B

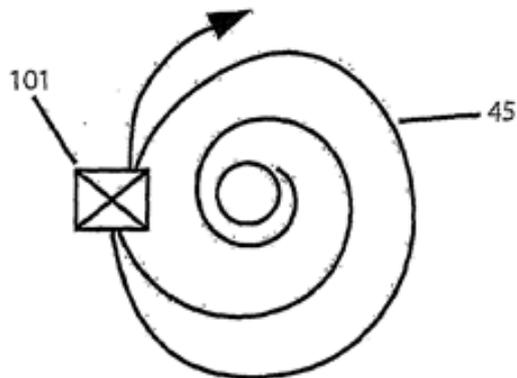


FIG. 6C

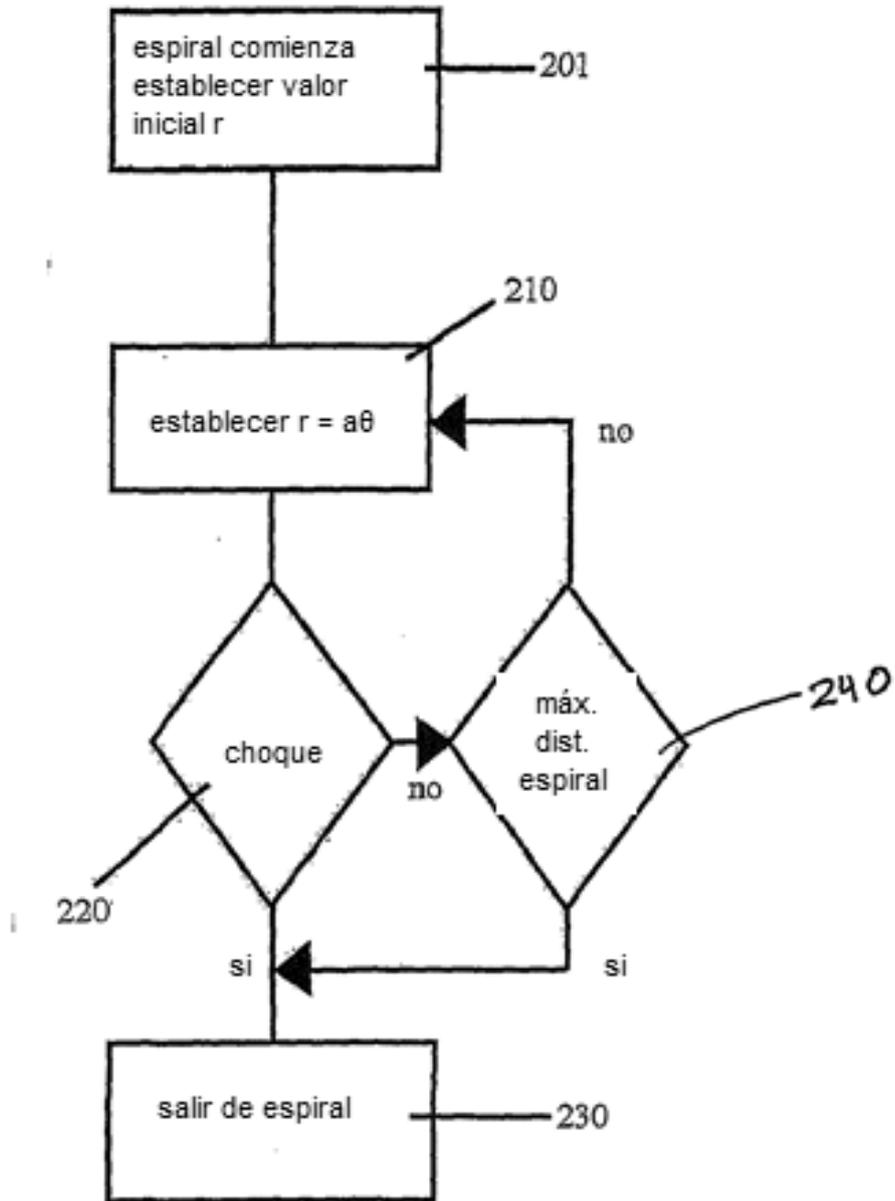


FIG. 7

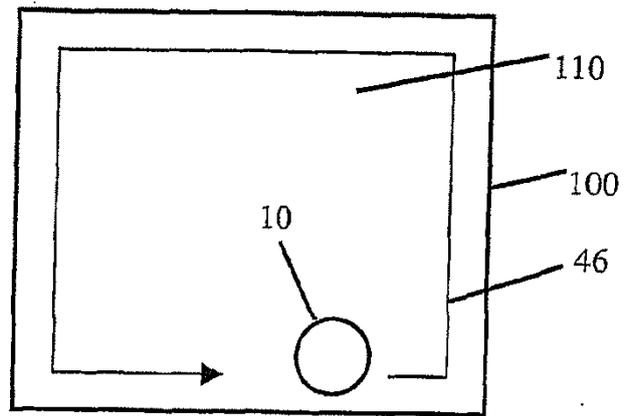


FIG. 8A

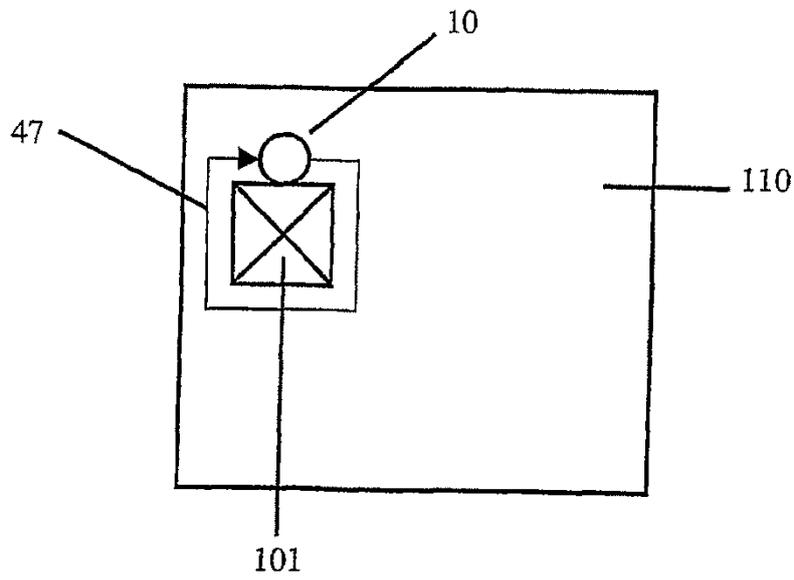
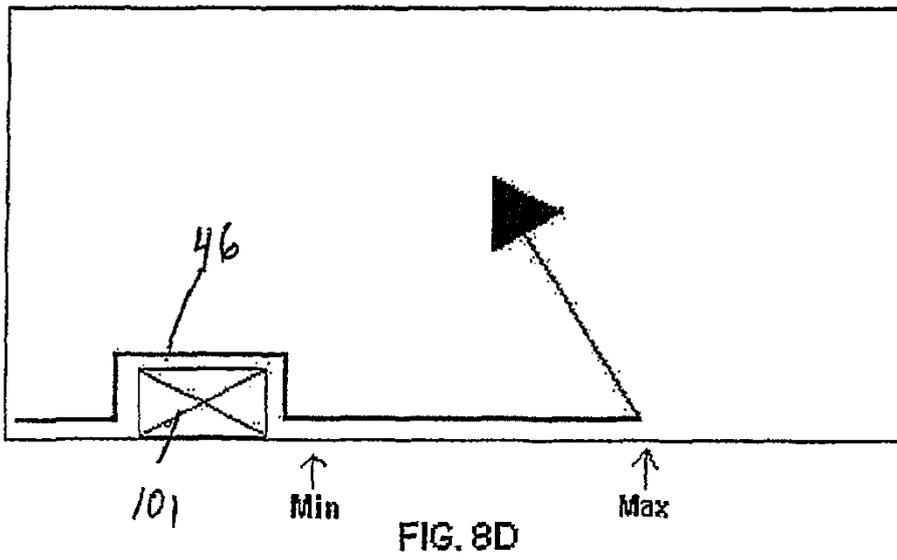
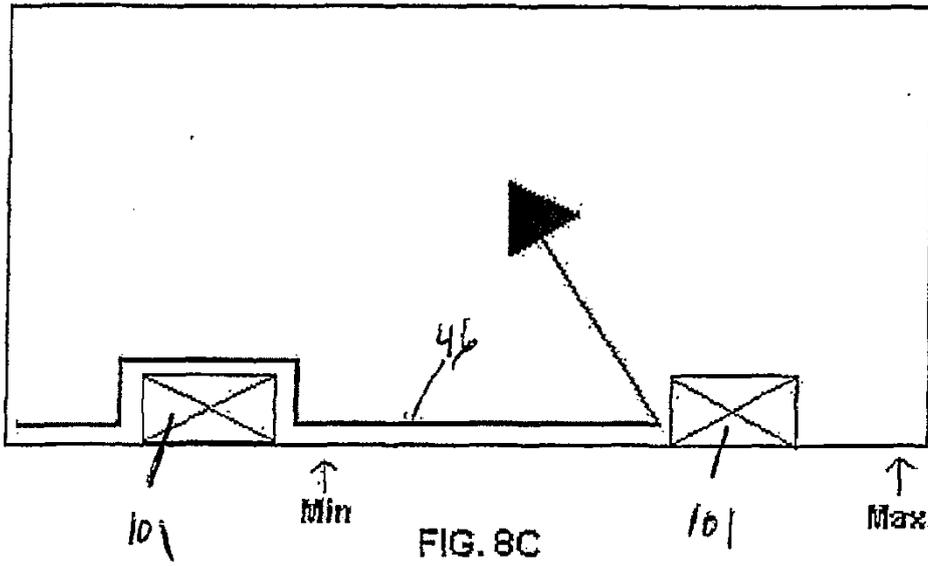


FIG. 8B



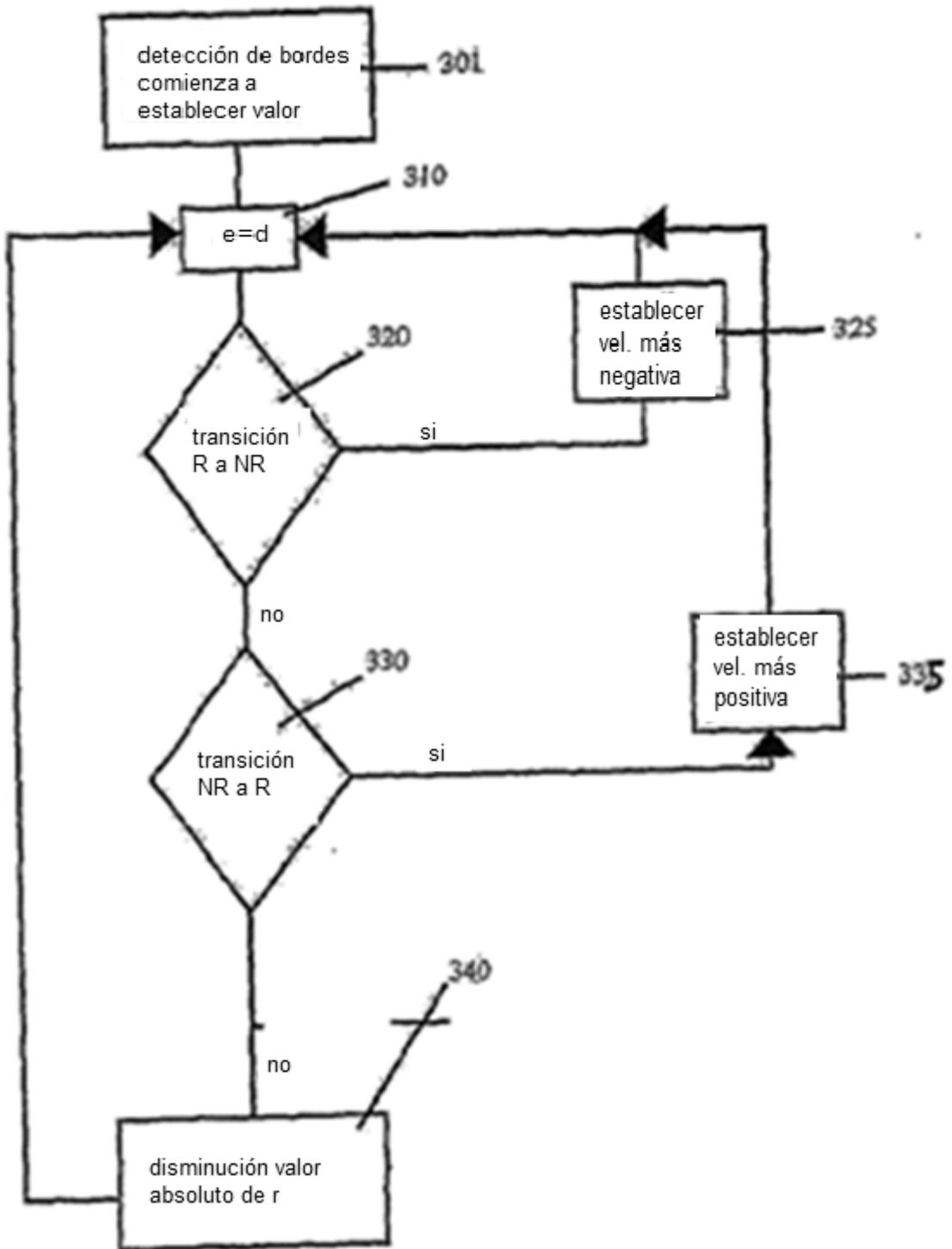


FIG. 9A

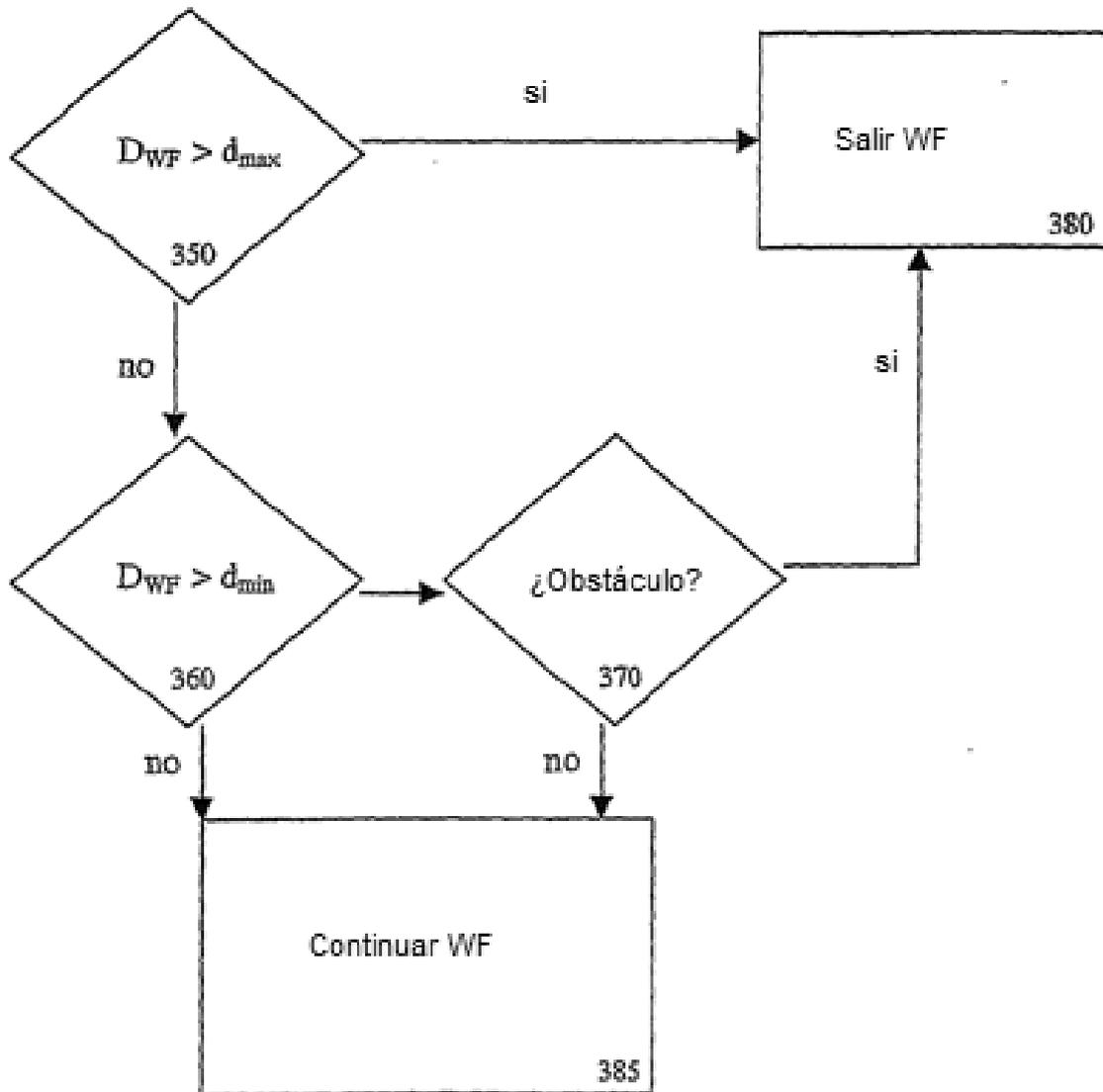


FIG. 9B

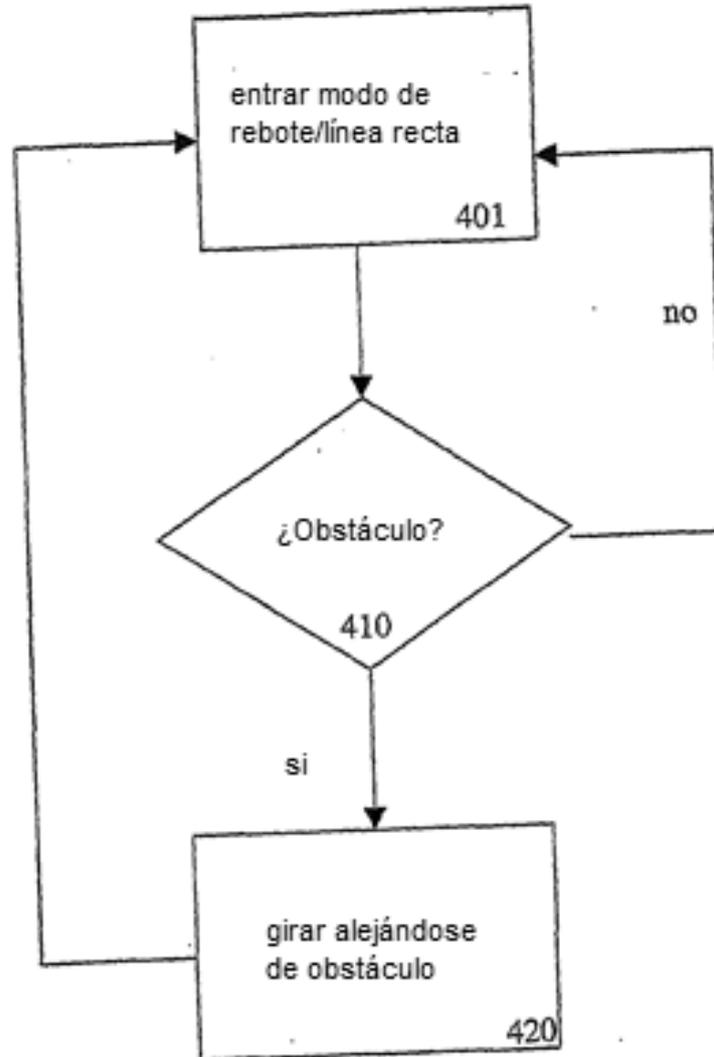


FIG. 10

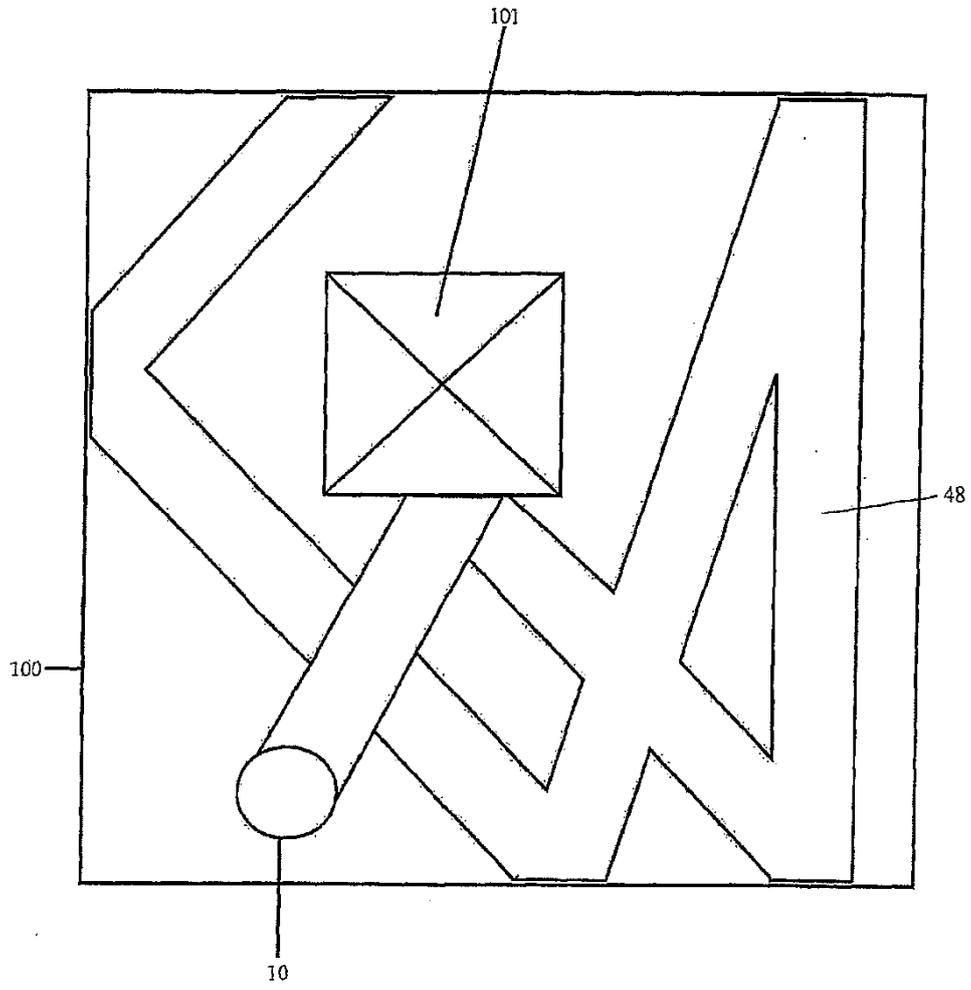


FIG. 11

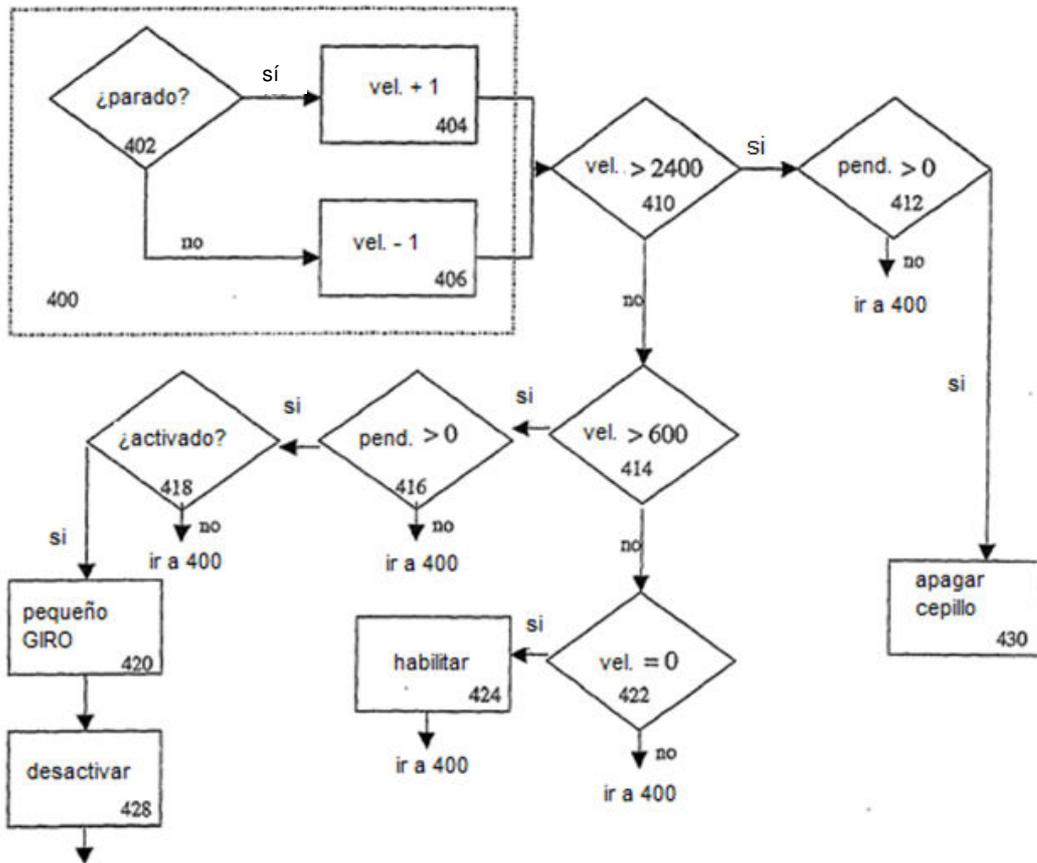


FIG.12A

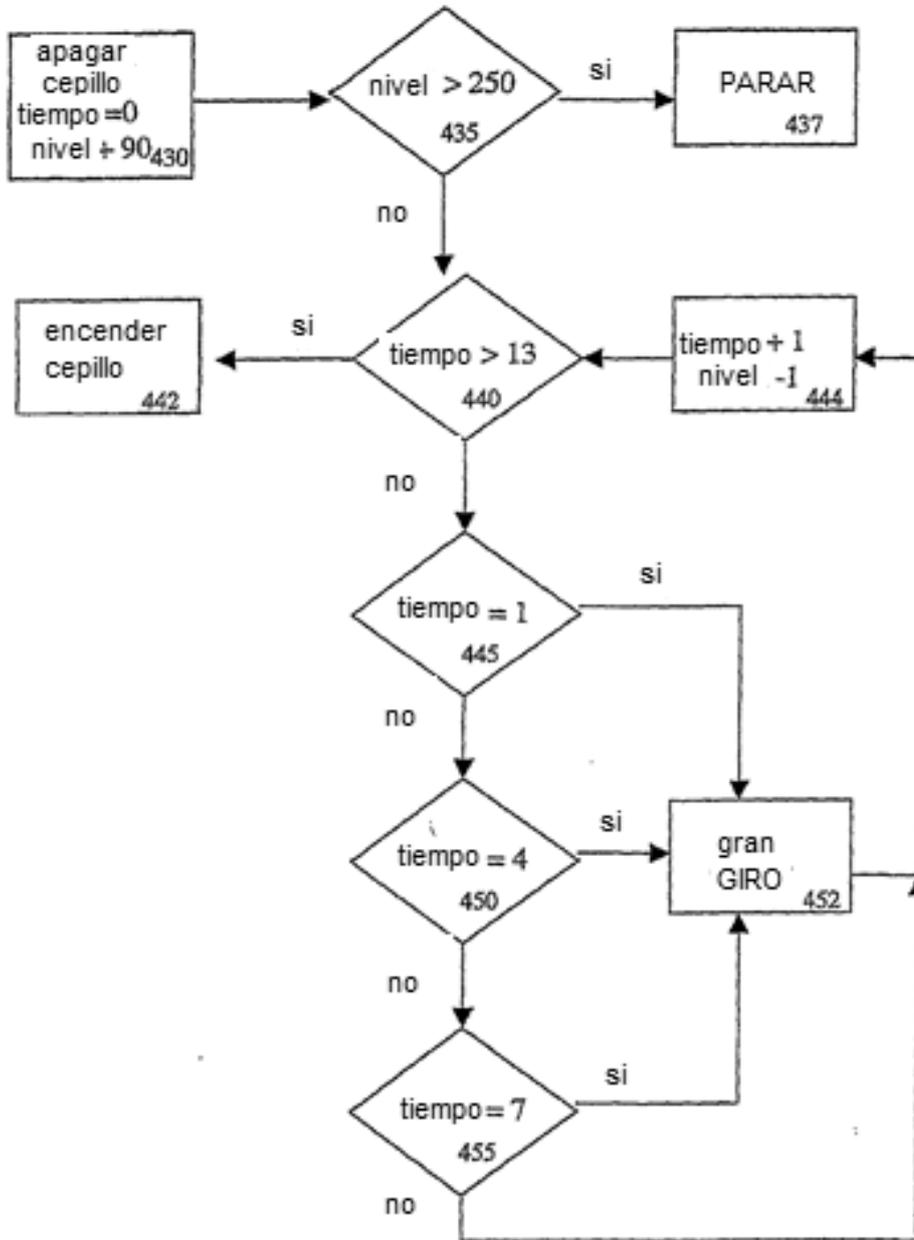


FIG. 12B

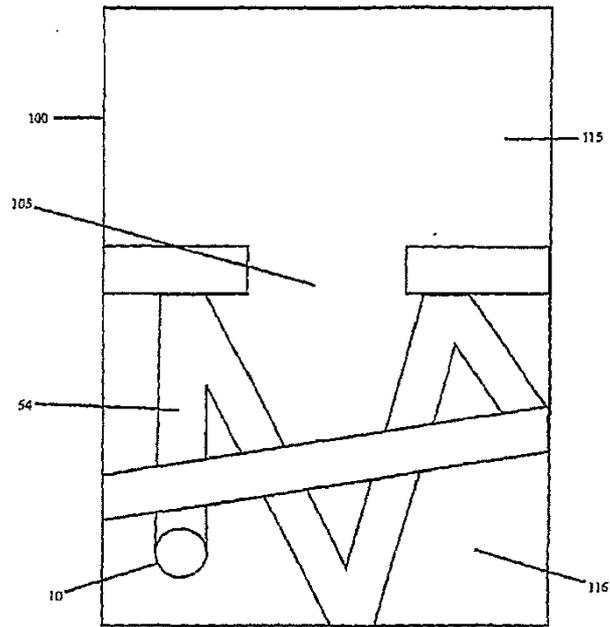


FIG. 13A

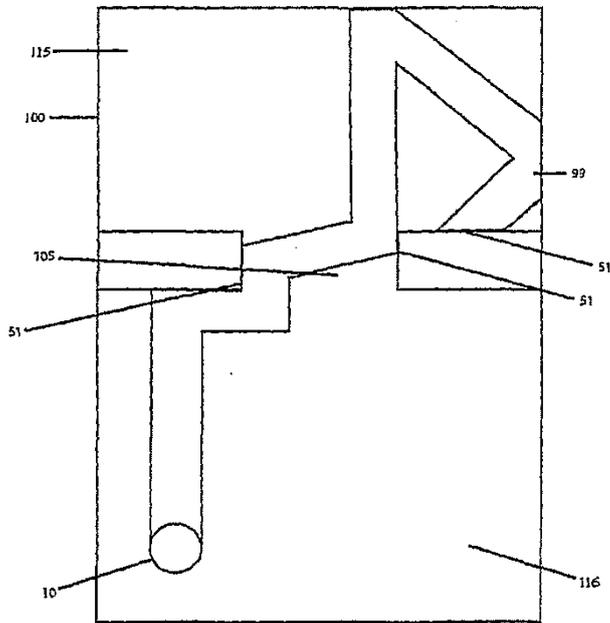


FIG. 13B

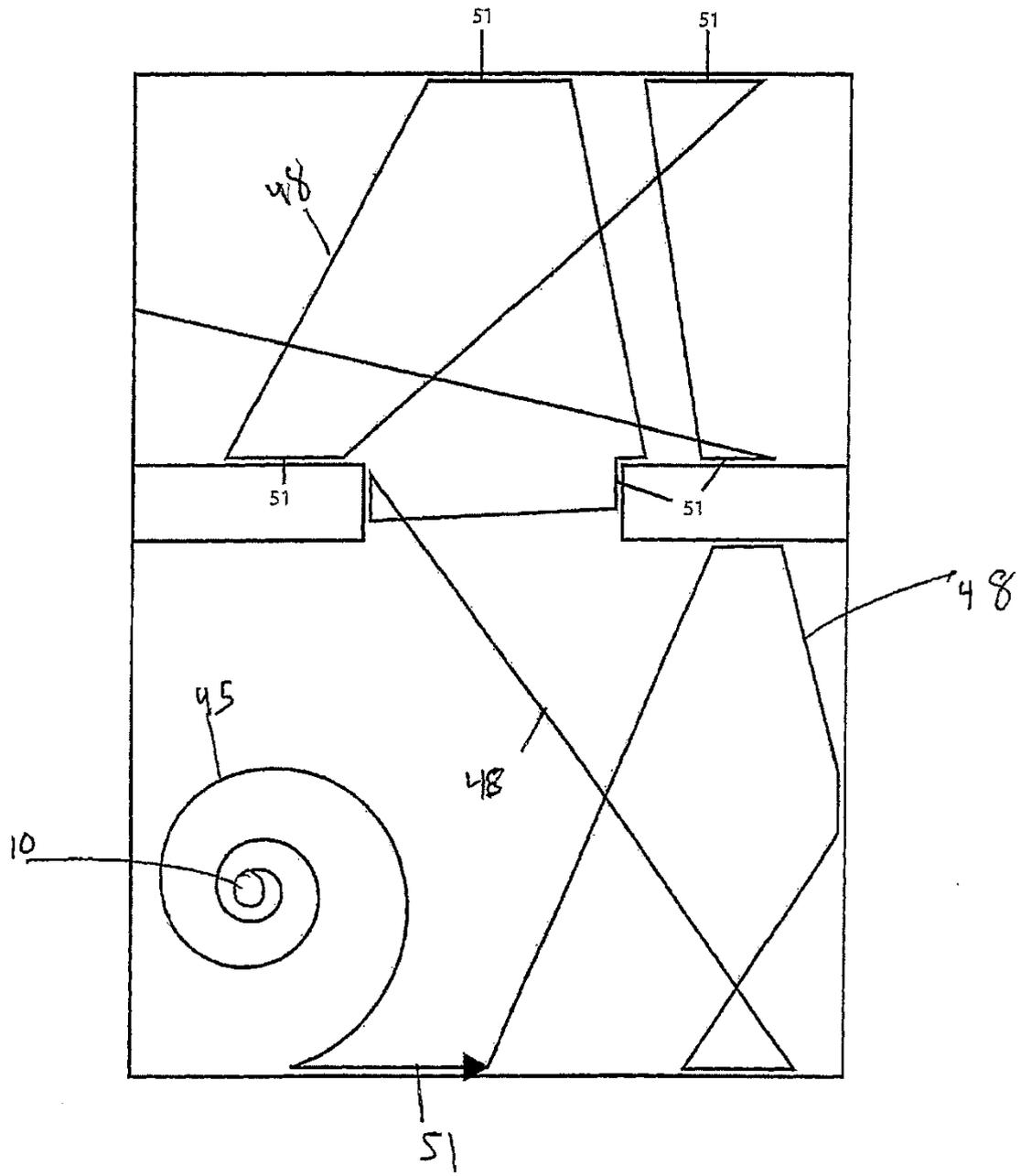


FIG. 14