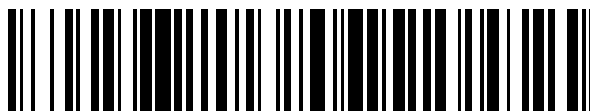


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 667 850**

51 Int. Cl.:

**G05D 1/02**

(2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.09.2015** **PCT/EP2015/071799**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.03.2017** **WO17050357**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.09.2015** **E 15770843 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.03.2018** **EP 3167342**

54 Título: **Método de readaptación y de seguimiento de líneas virtuales para vehículos autónomos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la  
traducción de la patente:  
**14.05.2018**

73 Titular/es:

**BLUEBOTICS SA (100.0%)**  
**Jordils 41B**  
**1025 Saint-Sulpice, CH**

72 Inventor/es:

**LAMON, PIERRE;**  
**TOMATIS, NICOLA;**  
**TERRIEN, GRÉGOIRE y**  
**JEANNOTAT, YANNIS**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

ES 2 667 850 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 de readaptación y de seguimiento de líneas virtuales para vehículos autónomos.

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere, en formas de realización, a un vehículo autónomo tal como un vehículo robotizado rodado, pero no de manera exclusiva.

**10 Descripción de las anterioridades**

Los vehículos robotizados autónomos son dispositivos autopropulsados con capacidad de navegar en un entorno de una manera libre, sin soporte humano constante, con el fin de llevar a cabo una tarea deseada. Se han desarrollado múltiples aplicaciones de vehículos robóticos en áreas muy diferentes que incluyen, entre otras, almacenes, fábricas, hospitales, plantas nucleares y minas.

En solicitudes conocidas, tales como los documentos US 5 548 511, US 2002/0153184 y EP 0 403 390, los robots autónomos comprenden uno o más sensores con capacidad de analizar el entorno en el cual está situado el robot. El sensor puede comprender unos sensores de determinación de la distancia, como, por ejemplo, radares, telémetros láser, o telémetros acústicos, parachoques, palpadores mecánicos, cámaras estereoscópicas, acelerómetros, giróscopos, brújulas, inclinómetros, altímetros u otros sensores ambientales. El presente documento se referirá principalmente a un escáner láser, sin pérdida de generalidad, entendiéndose que la invención puede contemplar el uso de otros sensores adecuados basados en principios diferentes.

Se usan sensores en el proceso de mapeo, con el objetivo de crear una representación del entorno en el cual está destinado a funcionar el robot. Típicamente, el robot es controlado manualmente por un operario en el entorno, mientras los sensores registran la posición y/o distancias de puntos de referencia en el entorno. A continuación, a partir de los datos así recopilados se genera un mapa del entorno, habitualmente con la ayuda de datos odométricos, a través de varios métodos conocidos.

También se conoce el uso de sensores en la localización del vehículo en el mapa, que constituye la determinación de la ubicación y orientación actuales del robot sobre el mapa. Esto se puede lograr únicamente con datos odométricos internos, siempre que se conozca una localización inicial (navegación por estima) o, preferentemente, con una combinación de datos odométricos y de determinación de la distancia. A la combinación de posición y orientación se le hace referencia como "postura" del robot y, en el caso de un movimiento 2D, se podría representar con una pareja de coordenadas cartesianas y un ángulo de rumbo.

También se usan sensores en calidad de dispositivo de seguridad para evitar colisiones o minimizar su severidad. Con este fin, muchos vehículos autónomos están equipados con escáneres láser omnidireccionales: los escáneres se programan para generar una alerta de colisión que provoca que el vehículo se detenga cuando se detecta un obstáculo dentro de una distancia de seguridad dada. También son posibles estrategias de gestión de obstáculos más sofisticadas, por las cuales un robot puede estar informado de obstáculos en movimiento (es decir, personas, otros robots, objetos que no se mapearon originalmente o que se han desplazado desde su posición mapeada original) y puede adoptar medidas apropiadas para evitar choques.

Se conocen también vehículos seguidores de líneas, es decir, vehículos que no disponen de capacidades sofisticadas de localización y/o navegación, pero que están dispuestos para seguir una línea física, por ejemplo, un cable inductivo enterrado o una línea pintada en el suelo. Estos vehículos incluyen un sensor de línea que genera una señal de desviación determinada por la distancia entre el sensor y el centro de la línea. El robot sigue la línea por medio de un bucle de control que minimiza la desviación mientras avanza a una velocidad dada.

Un vehículo seguidor de líneas se puede programar, de una manera limitada, colocando etiquetas adecuadas, por ejemplo, códigos de barras o etiquetas RFID de inducción, a lo largo de la línea. Las etiquetas codifican instrucciones para el robot, incluyendo, por ejemplo, órdenes de velocidad para acelerar, frenar y detenerse, órdenes de cambio para conmutar vehículos individuales en dos bifurcaciones diferentes de un cruce, y otras.

Aunque los vehículos seguidores de líneas son apreciados por su economía y robustez, la modificación de sus misiones requiere mover físicamente las líneas y las etiquetas asociadas, lo cual es extremadamente engorroso, consume mucho tiempo y es caro.

**Breve resumen de la invención**

Por lo tanto, una finalidad de la presente invención es proponer un método de navegación y un método de readaptación de un robot existente. Estas finalidades se alcanzan con el objetivo de la reivindicación 1, mientras que las reivindicaciones dependientes se refieren a características ventajosas, aunque opcionales.

## Breve descripción de los dibujos

La invención se entenderá mejor con la ayuda de la descripción de una forma de realización aportada a título de ejemplo e ilustrada con las figuras, en las cuales:

- la Figura 1 muestra esquemáticamente un plano del entorno en el cual actúa un robot, con líneas correspondientes a posibles tareas del robot.
- la Figura 2 ilustra esquemáticamente y de manera simplificada, una posible estructura de un robot de acuerdo con un aspecto de la presente invención.
- la Figura 3 es una representación en diagrama de flujo de un método de acuerdo con un aspecto de la invención.

## Descripción detallada de posibles formas de realización de la invención

La Figura 2 muestra esquemáticamente una posible estructura de un vehículo robótico 20 de acuerdo con un aspecto de la presente invención. Debe entenderse que esta es una representación conceptual, y que no refleja todas las características de un producto industrial. El vehículo se muestra, para presentar un ejemplo, en forma de una configuración de triciclo, aunque no se pretende que la invención se limite a este sistema cinemático. De hecho, la invención se podría aplicar a cualquier robot autónomo con cualquier configuración.

La propulsión del robot se garantiza por medio de la rueda motorizada 27 que es accionada por el motor 23, mientras que un segundo motor o accionador 29 se usa para dirigir el vehículo, determinando el ángulo de viraje  $\alpha$ . En la mayoría de los casos, puesto que el robot se mueve en un espacio de trabajo bidimensional, serán necesarios por lo menos dos motores o accionadores independientes para la navegación. No obstante, la invención es aplicable a sistemas con un número cualquiera de motores o accionadores y a espacios de trabajo unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales.

Los motores 23 29 son accionados por una unidad de accionamiento que genera las señales de alimentación necesarias. La unidad de accionamiento 51 puede ser de un tipo adecuado para un robot seguidor de líneas, dispuesta para controlar los motores con el fin de minimizar una desviación lateral, mientras el robot móvil avanza a una velocidad dada.

El robot 20 incluye, también, un sensor 21 que proporciona al menos cierto grado de información sobre la posición del robot en su espacio de trabajo. En el ejemplo presentado, el sensor es un escáner láser de 360°. Los dispositivos de este tipo se usan normalmente en robots o móviles con fines relacionados con la seguridad y la localización, y están disponibles en varios fabricantes. Otros dispositivos que se pueden usar como sensor incluyen telémetros acústicos, radares, escáneres 3D ópticos, sensores táctiles, receptores de radiocomunicaciones, y cámaras estereoscópicas, aunque la lista no es exhaustiva. Los datos generados por el sensor 21 se combinan con información odométrica recogida a partir de la rueda de dirección y/o las ruedas traseras 26, por parte de la unidad de localización 53 que genera, en tiempo real, una estimación de la postura del robot, incluyendo, por ejemplo, dos coordenadas lineales  $x$ ,  $y$ , y un ángulo de guiñada  $\theta$ .

La mayoría de robots incluye, además de los motores 23, 29, otros accionadores y transductores 57 necesarios para lograr su misión específica, como, por ejemplo, una carretilla elevadora, herramientas para fregar o limpiar el suelo, una cuchilla para cortar hierba, una cámara de vigilancia, un brazo prensil, u otros. El sensor se podría controlar por medio de la unidad de accionamiento 51, tal como se representa, o a través de otros medios controladores.

La trayectoria 31 (véase figura 1) que se supone que debe seguir el robot en el espacio de trabajo se ha definido de antemano, a través de cualquier método adecuado, y se almacena en una memoria que es accesible por un módulo de seguimiento de trayectorias 55. La trayectoria es una línea imaginaria que une un punto de partida A con un punto de destino B, respetando todas las restricciones del mapa, como paredes 65 y objetos 60. El módulo de cálculo recibe datos de localización instantáneos  $(x, y, \theta)$  desde la unidad de localización, y sintetiza un valor de desviación, que representa la distancia lateral entre la línea de la trayectoria y el centro, u otro punto de referencia adecuado, del robot 20.

El valor de desviación, codificado adecuadamente en forma de señal eléctrica digital o analógica, según el caso, se suministra a la unidad de accionamiento 51 que la usa para dirigir el robot, por ejemplo minimizando la desviación con respecto a la línea de la trayectoria. En una realización muy simple, la unidad de accionamiento simplemente gira la rueda de dirección hacia la derecha cuando el signo de la desviación indica que la trayectoria se encuentra en ese lado, y, en caso contrario, hacia la izquierda. No obstante, también son posibles estrategias de control más avanzadas.

Y lo que es más importante, el método de navegación de la invención también se puede utilizar para mejorar o readaptar un robot seguidor de líneas que no disponga de un conjunto completo de localización y navegación. Normalmente, dichos robots incluyen un láser u otro sensor por motivos de seguridad, que se puede usar también para la localización, y su unidad de accionamiento está configurada para responder a una señal de desviación generada por un sensor de línea 24. El sensor de línea se desconecta, y a la unidad de accionamiento se le proporciona la señal de desviación sintetizada por la unidad de seguimiento de trayectorias 55 en lugar de la correspondiente obtenida por la línea física. De esta manera, la trayectoria del robot se puede reprogramar totalmente por software, cambiando los datos usados por la unidad de seguimiento de trayectorias 55, con una mínima intervención en el hardware del robot.

La invención no solamente permite cambiar las trayectorias predeterminadas con facilidad, sino que también permite modificar las trayectorias dinámicamente de acuerdo con las necesidades. Por ejemplo, un sistema de control puede detectar que la trayectoria 31 no es viable, y puede reprogramar los datos de la unidad de seguimiento de trayectorias 55 para enviar, en cambio, el robot a la trayectoria alternativa 32.

Otra de las ventajas es que ahora son posibles cruces y bifurcaciones de trayectorias sin limitaciones. En los sistemas tradicionales de seguimiento de líneas, los cruces y las bifurcaciones requerían etiquetas especiales que daban instrucciones a los vehículos sobre la bifurcación que debían seguir. En la invención, cada robot sigue una trayectoria virtual especial conocida por su unidad de seguimiento de trayectorias 55, y no se requiere ninguna gestión especial de los cruces.

Aunque la presente exposición se refiere a entidades funcionales, como el módulo de localización 53, la unidad de seguimiento de trayectorias 55, y otras, es importante entender que no se requiere necesariamente que las mismas se materialicen con elementos distinguibles e independientes de hardware. Dichas funciones se podrían implementar, sin apartarse del alcance de la invención, de manera parcial o total a través de medios de software, y podrían compartir recursos entre ellas, o con otras unidades funcionales.

Mover un robot a lo largo de una trayectoria requiere no solamente el control de la posición a lo largo de una trayectoria, sino también, por ejemplo, gestionar la velocidad del robot. Esto se logra tradicionalmente, en robots seguidores de líneas, colocando etiquetas en puntos adecuados de la trayectoria, las cuales son leídas por un lector de etiquetas 25 adecuado en el robot. En el marco de la invención, las etiquetas son también virtuales, el lector de etiquetas se desconecta u omite, y la unidad de seguimiento de trayectorias 55 sintetiza señales de etiquetas para la unidad de accionamiento 51 en los momentos y posiciones adecuados, con el fin de obtener el perfil de velocidad deseado. Se pueden usar etiquetas para especificar una velocidad constante, una rampa de aceleración o deceleración, u otras acciones, incluyendo el envío de órdenes a los accionadores y sensores 57 del robot.

En algunos casos, las etiquetas se pueden generar cuando el robot pasa sobre una posición predeterminada, repitiendo, así, exactamente, el funcionamiento de las etiquetas físicas, excepto en cuanto a la necesidad de pegar o fijar la etiqueta en su lugar.

Y lo que es más ventajoso, la invención puede generar etiquetas automáticamente, no basándose solamente en la posición instantánea, sino también en la condición dinámica del robot y en una sección venidera de la trayectoria virtual. El sistema se puede programar para sintetizar automáticamente una etiqueta de ralentización 40 antes de una curva cerrada o de un punto de frenada, por ejemplo imponiendo umbrales sobre la aceleración lateral y longitudinal impuesta en el vehículo, y una etiqueta de aceleración 45 después de la curva. La generación de etiquetas se basa en una sección sucesiva de la trayectoria virtual, y no solamente en la ubicación instantánea. La etiqueta de deceleración 43, por ejemplo, se generará solamente para vehículos que sigan la trayectoria 33, pero no para aquellos que se encuentren en las trayectorias 31 o 32. Las etiquetas de ralentización y parada 41 se insertan automáticamente antes de los puntos de destino. Cualquier cambio en la forma de la trayectoria provoca automáticamente que las etiquetas correspondientes se muevan a las posiciones nuevas adecuadas.

En una posible variante, la unidad de seguimiento de trayectorias 55 genera una serie de etiquetas que especifican una velocidad progresivamente creciente o decreciente, con el fin de obtener una rampa de velocidad. La generación automática de etiquetas virtuales permite, de hecho, un control completo de la velocidad del vehículo en tiempo real. Si la unidad de accionamiento 51 tiene la capacidad de procesar una etiqueta que especifica una rampa de aceleración o deceleración, la unidad de seguimiento de trayectorias 55 generará una etiqueta individual con ese fin. La invención incluye, también, variantes en las cuales la velocidad de avance se puede comunicar directamente y en tiempo real a la unidad de accionamiento 51. En tales casos, podrían obtenerse rampas de aceleración y deceleración siempre que sea necesario, sin generar una etiqueta virtual. Si resulta conveniente, podrían seguir generándose etiquetas virtuales que provoquen que el vehículo cambie de velocidad, por ejemplo, con vistas a la compatibilidad con sistemas heredados.

La Figura 3 ilustra una posible estructura del método de la invención. El diagrama de flujo indica las etapas llevadas a cabo por la unidad de seguimiento de trayectorias 55 y las correspondientes que tienen lugar en la unidad de accionamiento 51.

5 La unidad de seguimiento de trayectorias 55 recibe los datos de posición generados por la unidad de localización (etapa 71), y genera una desviación correspondiente a la distancia entre el vehículo y la trayectoria virtual (etapa 72). La trayectoria virtual se ha definido en un proceso de planificación anterior que no se indica en la figura. La desviación es recibida por la unidad de accionamiento (etapa 82) que dirige el vehículo con el fin de reducir la desviación. La figura ilustra un método muy sencillo aunque, en una implementación real, el esquema de control  
10 podría ser notablemente más avanzado.

En la etapa 73, la unidad de seguimiento de trayectorias considera una parte venidera de la trayectoria, y prevé acciones que será necesario que lleve a cabo el robot. La unidad de seguimiento de trayectorias 55 puede calcular la aceleración del vehículo si la trayectoria debiera seguirse a la velocidad dada. A continuación, se comprueba la aceleración con respecto a umbrales definidos en relación con la aceleración longitudinal  $a_l$  y la  
15 aceleración transversal  $a_t$ . Si una aceleración supera un umbral, tal como podría ocurrir si la trayectoria prevé una curva brusca o una frenada de golpe, las unidades de seguimiento de trayectorias 55 actuarán para garantizar que la velocidad del robot se reduce a un valor más seguro. Por el contrario, cuando se sale de una curva o cuando finaliza una situación que requería que el robot avanzase lentamente, la unidad de seguimiento de la trayectoria hará que el robot acelere. De la misma manera, la unidad de seguimiento de trayectorias puede prever y disponer el accionamiento de una carretilla elevadora o de otro accionador 57.  
20

La acción del robot puede ser ordenada directamente por la unidad de seguimiento de trayectorias 55 cuando exista una interfaz adecuada o, tal como se muestra en la figura 3, se puede provocar por la generación de una o  
25 varias etiquetas virtuales (etapa 75) que son recibidas por la unidad de accionamiento (etapa 85) la cual adapta la velocidad o ejecuta una orden (etapa 86).

#### Números de referencia

30	A	punto de partida
	B, C	puntos finales
	$\alpha$	ángulo de viraje
	x, y, $\vartheta$	postura del vehículo
	10	espacio de trabajo
35	20	vehículo robótico
	21	escáner láser
	23	motor de tracción
	24	sensor de línea
	25	sensor de etiquetas
40	26	rueda trasera
	27	rueda de dirección y motriz
	29	motor de dirección
	31	trayectoria
	32	trayectoria alternativa
45	33	segunda trayectoria
	40	etiqueta virtual: ralentización
	41	etiqueta virtual: parada
	43	etiqueta virtual: ralentización
	45	etiqueta virtual: aceleración
50	51	accionamiento del motor
	53	localización
	55	módulo de seguimiento de trayectorias
	57	accionadores y/o sensores
	60	objeto
55	65	pared
	71	localización
	72	generación de una desviación sintetizada
	73	previsión de $a_t$ y $a_l$
	74	comprobación de la aceleración por encima del umbral
60	75	generación de una etiqueta virtual
	82	recepción de una desviación sintetizada
	85	recepción de una etiqueta virtual
	86	adaptación de la velocidad

## REIVINDICACIONES

1. Método de readaptación o mejora de un vehículo automático seguidor de líneas (20) y de adición de la capacidad de seguir una trayectoria virtual teórica (31, 32, 33), presentando el vehículo un sensor de línea (24),  
5 unos accionadores de movimiento (27, 29), y una unidad de accionamiento (51), recibiendo la unidad de accionamiento una señal del sensor de línea (24) y estando adaptada para accionar los accionadores (27, 29), de tal manera que mantengan la línea en medio del sensor de línea (24); incluyendo el método: proporcionar una unidad de localización (53) dispuesta para determinar la posición o la postura del vehículo (x, y,  $\theta$ ); proporcionar una unidad de seguimiento de trayectorias (55) dispuesta para determinar una desviación indicativa de una  
10 medición de un desplazamiento lateral entre la posición instantánea del robot móvil y la trayectoria virtual (31, 32, 33) y sintetizar una señal de salida virtual del sensor de línea basada en dicha desviación; proporcionar dicha salida del sensor virtual a dicha unidad de accionamiento (51).
2. Método según la reivindicación 1, que además comprende: generar por lo menos una etiqueta virtual (40, 45, 43, 41) sobre la trayectoria virtual, siendo la etiqueta virtual una posición teórica asociada a una instrucción para el robot, y, durante el desplazamiento del robot, determinar el instante de paso por la etiqueta en el que el robot (20) se desplaza sobre la etiqueta virtual (40, 45, 43, 41) y, en el instante de paso por la etiqueta, ejecutar la instrucción.  
15
3. Método según la reivindicación anterior, en el que la etiqueta virtual (40) se genera automáticamente en una posición a lo largo de la trayectoria virtual (31) que depende de la aceleración en una parte sucesiva de la trayectoria virtual.  
20
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3, que comprende la generación de órdenes o etiquetas virtuales que provocan la aceleración y/o deceleración del robot móvil.  
25
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3, que comprende la generación de órdenes o etiquetas virtuales que provocan que el robot móvil haga funcionar un accionador.
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además comprende una operación de mapeo.  
30
7. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la unidad de localización (53) determina la posición o la postura del vehículo (x, y,  $\theta$ ) basándose en datos de sensores y datos odométricos, siendo dichos  
35 datos de sensores obtenidos por uno o más dispositivos de entre: escáner láser (21), telémetro ultrasónico, radar, cámara estereoscópica, parachoques, sensores táctiles, receptor de radiocomunicaciones, brújula, giroscopio, acelerómetro, altímetro, inclinómetro, u otro sensor ambiental.

