

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 646 267**

51 Int. Cl.:

B60W 30/14 (2006.01)

G01C 21/34 (2006.01)

G01C 21/20 (2006.01)

G06Q 10/04 (2012.01)

G05D 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.07.2014 PCT/GB2014/052037**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.01.2015 WO15008029**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.07.2014 E 14736945 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 3022617**

54 Título: **Planificación de rutas**

30 Prioridad:

15.07.2013 GB 201312605

15.07.2013 EP 13275165

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

13.12.2017

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)

6 Carlton Gardens

London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

DEITERT, MARKUS

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 646 267 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

Planificación de rutas.

Campo de la invención

La presente invención se refiere a la planificación de rutas y al aparato para la planificación de rutas para vehículos.

Antecedentes

5 Las metodologías de planificación de rutas o metodologías de planificación de trayectorias, por ejemplo, utilizando programación lineal entera mixta (MILP), se utilizan para determinar globalmente las trayectorias óptimas para vehículos. Muchas metodologías de planificación de rutas limitan las trayectorias de los vehículos con una aproximación lineal de la dinámica del vehículo.

10 Muchos vehículos (incluyendo, por ejemplo, automóviles, camiones, vehículos oruga, aeronaves y barcos) están sujetos a una limitación de radio de giro mínimo. Dichas limitaciones suelen ser difíciles de incluir en un problema de planificación de ruta lineal, ya que dichas limitaciones son intrínsecamente no lineales.

Muchos procesos MILP implementan limitaciones adicionales en la dinámica del vehículo con el fin de producir una trayectoria válida. Sin embargo, dichos enfoques suelen fallar si una solución óptima contiene velocidades cercanas a cero.

15 El documento US 6.477.515 B1 describe un sistema para el cálculo de rutas de menos coste con duras limitaciones tales como el ángulo de giro, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

Resumen de la invención

20 En un primer aspecto, la presente invención proporciona un método para determinar una ruta para un vehículo. El método comprende: proporcionar una posición de partida para el vehículo; proporcionar una posición final deseada para el vehículo; y utilizar la posición de partida proporcionada y la posición final deseada, realizando, mediante uno o más procesadores, un proceso de optimización para determinar una posición para cada punto de la ruta en una secuencia ordenada de puntos de la ruta, proporcionando de este modo la ruta para el vehículo definida por la secuencia ordenada de puntos de la ruta. Realizar el proceso de optimización comprende: minimizar una distancia entre la posición final deseada para el vehículo y un último punto de la ruta en la secuencia de puntos de la ruta; para cada punto de la ruta que no sea un último punto de la ruta en la secuencia de puntos de la ruta, limitar una distancia entre ese punto de la ruta y el siguiente punto de la ruta en la secuencia ordenada para que sea igual a una distancia predefinida; y para cada punto de la ruta distinto del primer punto de la ruta en la secuencia ordenada y del último punto de la ruta en la secuencia ordenada, limitar un ángulo entre una línea que conecta ese punto de la ruta al punto de la ruta que precede ese punto de la ruta en la secuencia ordenada y una línea que conecta ese punto de la ruta al siguiente punto de la ruta en la secuencia ordenada para que sea mayor o igual que un ángulo predefinido.

30 El método puede comprender además controlar, mediante un controlador de vehículos operativamente acoplado a uno o más procesadores, el vehículo de manera que el vehículo siga la ruta determinada.

Realizar el proceso de optimización puede comprender: para cada punto de la ruta, proyectar un vector entre ese punto de la ruta y el siguiente punto de la ruta en la secuencia ordenada en cada uno de los varios vectores base, proporcionando de este modo varias proyecciones; y para cada punto de la ruta, limitar las varias proyecciones para ese punto de la ruta para que sea menor o igual que la distancia predefinida.

35 Realizar el proceso de optimización puede comprender: para cada punto de la ruta, proyectar un vector entre ese punto de la ruta y el siguiente punto de la ruta en la secuencia ordenada en cada uno de los varios vectores base, proporcionando de este modo varias proyecciones; y para cada punto de la ruta, limitar una de las proyecciones para ese punto de la ruta para que sea mayor o igual que alguna parte de la distancia predefinida.

40 Realizar el proceso de optimización puede comprender, para cada punto de la ruta que no sea el primer punto de la ruta en la secuencia ordenada ni el último punto de la ruta en la secuencia ordenada, limitar una distancia entre ese punto de la ruta y una línea que conecta el punto de la ruta que precede a ese punto de la ruta en la secuencia ordenada al punto de la ruta que sigue a ese punto de la ruta en la secuencia ordenada para que sea menor o igual que una distancia predefinida adicional.

45 La distancia predefinida adicional puede ser alguna función de un ángulo, dependiendo el ángulo de un radio de giro mínimo del vehículo.

La distancia predefinida adicional puede ser alguna función de la distancia predefinida.

Realizar el proceso de optimización puede comprender limitar una posición del segundo punto de la ruta en la secuencia ordenada para depender de una posición del primer punto de la ruta en la secuencia ordenada y de un vector que señale, en esencia, en la misma dirección que una velocidad inicial del vehículo.

El vehículo puede funcionar con el fin de cambiar entre funcionar con una marcha de avance y funcionar con una marcha de retroceso. El proceso de optimización puede comprender además determinar un perfil de cambio para el vehículo, especificando el perfil de cambio, para cada punto de la ruta, tanto si el vehículo cambia o no de funcionar con una marcha de avance a funcionar con una marcha de retroceso o viceversa.

- 5 El proceso de optimización puede comprender además determinar un perfil de velocidad para el vehículo. El perfil de velocidad puede especificar una velocidad para el vehículo en cada punto de la ruta en la secuencia ordenada de puntos de la ruta.

Realizar el proceso de optimización puede comprender limitar una velocidad del vehículo en el último punto de la ruta en la secuencia ordenada para ser menor o igual que una velocidad límite predefinida.

- 10 En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un aparato para determinar una ruta para un vehículo. El aparato comprende uno o más procesadores configurados para, utilizando una posición de partida para el vehículo y una posición final deseada para el vehículo, realizar un proceso de optimización para determinar una posición para cada punto de la ruta en una secuencia ordenada de puntos de la ruta, definiendo la secuencia ordenada de puntos de la ruta para el vehículo. Realizar el proceso de optimización comprende: minimizar una distancia entre la posición final deseada para el vehículo y un último punto de la ruta en la secuencia de puntos de la ruta; para cada punto de la ruta que no sea un último punto de la ruta en la secuencia de puntos de la ruta, limitar una distancia entre ese punto de la ruta y el siguiente punto de la ruta en la secuencia ordenada para que sea igual a una distancia predefinida; y para que cada punto de la ruta que no sea el primer punto de la ruta en la secuencia ordenada ni el último punto de la ruta en la secuencia ordenada, limitar un ángulo entre una línea que conecta ese punto de la ruta al punto de la ruta que precede ese punto de la ruta en la secuencia ordenada y una línea que conecta ese punto de la ruta al siguiente punto de la ruta en la secuencia ordenada para que sea mayor o igual que un ángulo predefinido.

El aparato puede comprender además un controlador de vehículos acoplado operativamente a uno o más procesadores y configurado para controlar el vehículo de manera que el vehículo siga la ruta determinada.

- 25 En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un programa o varios programas dispuestos de tal manera que cuando son ejecutados por un sistema informático o uno o más procesadores provoca(n) que el sistema informático o el uno o más procesadores funcionen de acuerdo con el método de cualquiera de los aspectos anteriores.

En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un medio de almacenamiento legible por máquina que almacena un programa o al menos uno de los varios programas de acuerdo con el aspecto anterior.

Breve descripción de los dibujos

- 30 La Figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un supuesto en el que se implementa una forma de realización de un método para controlar un vehículo;

La Figura 2 es un diagrama de flujo del proceso que muestra una forma de realización de un método para controlar el vehículo;

La Figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra varios vectores base; y

- 35 La Figura 4 es una ilustración esquemática (no a escala) que ilustra las limitaciones en una curvatura de una ruta para el vehículo.

Descripción detallada

La Figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un supuesto 1 en el que se implementa una forma de realización de un método para controlar un vehículo 2.

En este supuesto 1, el vehículo 2 es un vehículo terrestre o de superficie. En otras palabras, el vehículo 2 está configurado para viajar por el suelo. Por ejemplo, el vehículo 2 es un vehículo con ruedas o con orugas.

- 40 En este supuesto, el vehículo se controla de manera que el vehículo 2 se desplaza por una ruta 4 por el suelo. La terminología "ruta" se utiliza en la presente memoria para referirse a un trayecto para el vehículo 2 desde una primera ubicación en el suelo hasta una segunda ubicación en el suelo.

La ruta 4 comprende una secuencia ordenada de puntos $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$.

P_1 es el primer punto de la ruta 4.

- 45 P_n es el punto final de la ruta 4.

En este supuesto 1, el vehículo 2 se controla desde una estación de tierra 4.

En este supuesto 1, la estación de tierra 6 comprende un planificador de rutas 8 y un controlador de vehículos 10.

El planificador de rutas 8 se configura para determinar la ruta 4 para el vehículo 2. La determinación de la ruta 4 para el vehículo 2 se describe con más detalle más tarde a continuación.

5 El módulo de planificación de rutas 8 se acopla al controlador de vehículos 10 de modo que la información (por ejemplo, la información que especifica la ruta 4) se puede enviar entre el planificador de rutas 8 y el controlador de vehículos 10.

El controlador de vehículos 10 se configura para controlar el vehículo 2 de manera que el vehículo siga la ruta 4 determinada por el planificador de rutas 8. El controlador de vehículos 10 controla el vehículo 2 enviando una o más señales de control (es decir, instrucciones que deben ser implementadas por el vehículo 2) al vehículo 2. Se envía una señal de control desde el controlador de vehículos 10 al vehículo 2 a través del enlace de comunicaciones 12.

10 En esta forma de realización, el enlace de comunicaciones 12 es un enlace de comunicaciones inalámbricas.

La Figura 2 es un diagrama de flujo de proceso que muestra una forma de realización de un método para controlar el vehículo 2.

En la etapa s2, el planificador de rutas 8 recibe una especificación de un punto de partida del vehículo 2.

El punto de partida del vehículo 2 se indica en la presente memoria, como $P_{partida}$.

15 En esta forma de realización, el punto de partida $P_{partida}$ para el vehículo 2 se puede especificar de cualquier manera apropiada. Por ejemplo, un usuario/operador humano del vehículo 2 puede identificar el punto de partida $P_{partida}$ para el vehículo 2 e introducir una especificación para el punto de partida $P_{partida}$ identificado en el planificador de rutas 8. La terminología "identificar" incluye cualquier forma apropiada de identificar, seleccionar, elegir, establecer, adquirir, etc.

20 En la etapa s4, el planificador de rutas 8 recibe una especificación para un destino deseado para el vehículo 2.

El destino para el vehículo 2 se indica en la presente memoria como P_{final} .

En esta forma de realización, el destino P_{final} para el vehículo 2 se puede especificar de cualquier manera apropiada. Por ejemplo, un usuario/operador humano del vehículo 2 puede identificar el destino P_{final} para el vehículo 2 e introducir una especificación para el destino P_{final} identificado en el planificador de rutas 8.

25 En la etapa s6, utilizando el punto de partida $P_{partida}$ y el de destino P_{final} recibidos para el vehículo 2, el planificador de rutas 8 determina una especificación para la ruta 4 a seguir para el vehículo 2.

En esta forma de realización, la ruta 4 es un trayecto desde el primer punto de la ruta P_1 hasta el punto final de la ruta P_n .

30 El proceso de planificación de ruta realizado por el planificador de rutas 8 en la etapa s6 se describe con más detalle más tarde a continuación, después de una descripción de las etapas s8 y s10.

En la etapa s8, el planificador de rutas 8 envía información que especifica la ruta determinada 4 al controlador de vehículos 10.

En la etapa s10, utilizando la especificación de la ruta recibida, el controlador de vehículos 10 controla el vehículo 2 de manera que el vehículo 2 siga la ruta 4.

35 En esta forma de realización, el controlador de vehículos 10 controla el vehículo 2, utilizando la especificación de la ruta recibida, generando una o más señales de control para el vehículo 2. El controlador de vehículos 10 envía a continuación la señal de control generada al vehículo 2 a través del enlace de comunicaciones 12. El vehículo 2 recibe las señales de control del controlador de vehículos 10 e implementa las acciones especificadas por esas señales de control.

40 Por lo tanto, el vehículo 2 se controla de manera que el vehículo se mueva a lo largo de la ruta 4, desde el primer punto de la ruta P_1 hasta el punto final de la ruta P_n .

Por lo tanto, se proporciona un método para controlar el vehículo 2.

Volviendo ahora al proceso de planificación de ruta realizado por el planificador de rutas 8 en la etapa s6, la siguiente información es útil para comprender la determinación de la especificación de ruta.

45 Una ruta P para el vehículo 2 se puede especificar mediante una secuencia ordenada de n puntos. En otras palabras, una ruta P para el vehículo se puede expresar como:

$$P = [P_1, P_2, P_3, \dots, P_n]$$

donde: P es la ruta para el vehículo; y

P_i es un punto a lo largo de la ruta P . P_1 es el primer punto de la ruta P . P_n es el punto final de la ruta P .

En la etapa s6, el planificador de rutas 8 realiza un proceso de optimización para determinar una secuencia óptima de los puntos P_1 a P_n , proporcionando de este modo una especificación para la ruta 4 que ha de ser seguida por el vehículo 2.

- 5 En esta forma de realización, el proceso de optimización está limitado por una serie de limitaciones, por ejemplo, una o más de las siguientes limitaciones.

En esta forma de realización, una primera limitación es que la distancia entre el destino P_{final} deseado para el vehículo 2 y el último punto de la secuencia P_n se minimice, es decir,

$$\underset{P}{\text{minimizar}} F = \| P_n - P_{\text{final}} \|$$

- 10 En esta forma de realización, una segunda limitación es que la separación, es decir, la distancia, entre dos puntos de la ruta consecutivos sea igual a un valor de distancia predefinido. El valor de distancia predefinido se indica en la presente memoria como D_{max} . A continuación, en la presente memoria esta limitación se denomina "limitación de separación".

La limitación de separación se puede expresar como:

$$\forall t \in [2, \dots, n] \quad \| P_t - P_{t-1} \| = D_{\text{max}} \quad \text{Ecuación 1}$$

- 15 Esta expresión para la limitación de separación dada en la Ecuación 1 es no lineal y contiene una igualdad.
- En esta forma de realización, la limitación de separación (Ecuación 1) se resuelve aproximando la norma 2 con desigualdades lineales. En particular, en esta forma de realización, al aproximar la norma de un vector diferencia entre dos puntos de la ruta, ese vector diferencia se proyecta sobre cada vector base en un conjunto de M vectores base.

- 20 Los M vectores base usados en esta forma de realización se ilustran esquemáticamente en la Figura 3.
- En esta forma de realización, los M vectores base 14 son vectores radiales desde un centro 16 de un círculo a una circunferencia 18 de ese círculo. El centro 16 se puede situar en un origen (0, 0).

Además, en esta forma de realización, para implementar la limitación de separación, la igualdad en la Ecuación 1 es, en efecto, reemplazada por dos desigualdades.

- 25 Una primera de las dos desigualdades limita el valor máximo de la separación entre dos puntos de la ruta consecutivos. Esta primera desigualdad se denomina en lo sucesivo en la presente memoria "limitación máxima de separación". La limitación máxima de separación se puede expresar como:

$$\forall m \in [1, \dots, M], \forall t \in [2, \dots, n-1] \\ (P_{xt} - P_{xt-1}) \cos\left(\frac{2\pi m}{M}\right) + (P_{yt} - P_{yt-1}) \sin\left(\frac{2\pi m}{M}\right) \leq D_{\text{max}}$$

Ecuación 2

donde: P_{xi} es una coordenada x (en el suelo) del punto de la ruta P_i ; y

- 30 P_{yi} es una coordenada y (en el suelo) del punto de la ruta P_i .
- En efecto, la ecuación 2 proyecta un vector diferencia entre dos puntos de la ruta en cada uno de los M vectores base 14. En esta forma de realización, si el resultado de cada proyección es menor que D_{max} , se cumple la limitación de separación máxima (Ecuación 2).

- 35 Una segunda de las dos desigualdades limita el valor mínimo de la separación entre dos puntos de la ruta consecutivos. Esta primera desigualdad se denomina en lo sucesivo en la presente memoria "limitación mínima de separación". La limitación mínima de separación se puede expresar como:

$$\forall m \in [1, \dots, M], \forall t \in [2, \dots, n-1]$$

$$(P_{xt} - P_{xt-1}) \cos\left(\frac{2\pi m}{M}\right) + (P_{yt} - P_{yt-1}) \cos\left(\frac{2\pi m}{M}\right) \geq c D_{\max} (1 - 3b_{t,m})$$

$$\sum_{m=1}^M b_{t,m} \leq M - 1$$

Ecuación 3

donde: c es una constante que está cerca, pero menor de, 1. (En esta forma de realización, c es un valor entre 0,9 y 0,95. Los valores más grandes de c pueden conducir a problemas de convergencia en el solucionador numérico. Los valores más pequeños de c suelen producir errores en la aproximación de limitación de curvatura. Sin embargo, en otras formas de realización, se pueden utilizar valores diferentes para c); y \mathbf{b} es una variable de decisión binaria. (En esta forma de realización, \mathbf{b} es una matriz con n filas y M columnas. En esta forma de realización, la variable de decisión binaria \mathbf{b} establece que, durante el proceso de optimización, se seleccione una de las limitaciones M a cumplir, mientras que se ignoran las otras limitaciones $M-1$.)

5 La limitación de separación dada por las Ecuaciones 2 y 3 limita ventajosamente la separación entre los puntos del plan consecutivos.

En esta forma de realización, una tercera limitación es una limitación sobre la posición del punto medio de cualesquiera tres puntos del plan consecutivos. Esta limitación se denomina en lo sucesivo en la presente memoria "limitación de curvatura de la ruta". La limitación de curvatura de la ruta suele establecer ventajosamente que un vehículo con un radio de giro mínimo pueda seguir la ruta determinada.

15 En esta forma de realización, según se ilustra en la Figura 4, la curvatura de una ruta se limita requiriendo que, para una secuencia consecutiva de puntos P_{j-1} , P_j , P_{j+1} , el punto medio P_j se sitúe dentro del rombo definido por los puntos P_{j-1} , A , P_{j+1} y B . En esta forma de realización, el ángulo entre la línea desde P_{j-1} a A y la línea de P_{j-1} a B es α . Del mismo modo, el ángulo entre la línea desde P_{j+1} a A y la línea de P_{j+1} a B es α . En esta forma de realización, el ángulo entre la línea desde A a P_{j-1} y la línea desde A a P_{j+1} es β . Del mismo modo, el ángulo entre la línea desde B a P_{j-1} y la línea desde B a P_{j+1} es β .

En esta forma de realización, como la separación entre puntos de la ruta consecutivos es igual a D_{\max} , P_i es equidistante entre P_{i-1} y P_{i+1} .

25 Por lo tanto, en esta forma de realización, el ángulo en P_j (es decir, el ángulo entre la línea desde P_{i-1} a P_i y la línea desde P_i a P_{i+1}) es mayor o igual que β . El valor de β depende del valor de α y la separación de puntos D_{\max} . En esta forma de realización, el valor de α es un valor predeterminado que depende del radio de giro, o círculo de giro, del vehículo 2. La terminología "radio de giro" se utiliza en la presente memoria para referirse al radio del giro circular más pequeño que un vehículo es capaz de realizar. En esta forma de realización, los vehículos que tienen un radio de giro relativamente pequeño corresponden a valores relativamente grandes de α , mientras que los vehículos que tienen un radio de giro relativamente grande corresponden a valores relativamente pequeños de α .

30 La limitación de curvatura de la ruta se puede expresar como sigue:

$$\forall j \in [2, \dots, n-1]$$

$$\left\| \frac{\overline{P_{j-1}P_{j+1}}}{2} - \overline{P_{j-1}P_j} \right\| \leq D_{\max} \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad \text{Ecuación 4}$$

donde: $\overline{P_k P_l}$ es una línea entre P_k y P_l ; y

α es un valor predeterminado que depende del radio de giro del vehículo 2.

35 En esta forma de realización, la limitación de curvatura de la ruta (Ecuación 4) se implementa mediante el planificador de rutas 8 aproximando la Ecuación 4 utilizando la misma técnica que se utilizó para aproximar la Ecuación 3 que se describe con más detalle anteriormente, es decir

$$\forall j \in [2, \dots, n-1]$$

$$a = \frac{\overline{P_{j-1}P_{j+1}}}{2} - \overline{P_{j-1}P_j}$$

$$b = D_{\max} \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

entonces

$$\forall m \in [1, \dots, M]$$

$$a \cos\left(\frac{2\pi m}{M}\right) + a \sin\left(\frac{2\pi m}{M}\right) \leq b$$

- 5 En esta forma de realización, una cuarta limitación es que la secuencia de puntos se inicie en el punto de partida P_{partida} del vehículo 2, es decir, $P_1 = P_{\text{partida}}$.

En esta forma de realización, una quinta limitación es una limitación en el segundo punto P_2 en la secuencia de puntos de la ruta. En esta forma de realización, el segundo punto de la ruta P_2 está limitado por:

$$P_2 = P_1 + D_{\max} \mathbf{e}_{v_i}$$

- 10 donde: v_i es el vector velocidad inicial del vehículo; y

\mathbf{e}_{v_i} es un vector unitario con la misma dirección que v_i .

Esta quinta limitación suele establecer ventajosamente que se requiera que el vehículo 2 se desplace, en cierta medida, en la dirección en la que está orientado antes de girar.

- 15 En las formas de realización anteriores, el proceso de optimización realizado por el planificador de rutas en la etapa s6 del proceso de la Figura 2 comprende implementar las cinco limitaciones descritas anteriormente. Sin embargo, en otras formas de realización, se pueden omitir una o más de estas cinco limitaciones, o se pueden reemplazar por una limitación diferente que dé como resultado el mismo efecto o ventaja. Además, en otras formas de realización, una o más de las limitaciones descritas anteriormente se pueden implementar de una manera diferente a la descrita anteriormente. Además, en otras formas de realización, se pueden implementar una o más limitaciones adicionales en lugar de o además de una o más de las limitaciones descritas anteriormente.

- 20 Por ejemplo, en algunas formas de realización, se utiliza una limitación que permite que se implemente una capacidad de marcha atrás en el vehículo. Muchos vehículos terrestres pueden revertir su movimiento, por ejemplo, cambiando de avanzar con una marcha de avance a funcionar con una marcha de retroceso y entonces retroceder. Una capacidad de marcha atrás de este tipo suele permitir que un vehículo cambie de rumbo en un espacio relativamente pequeño en comparación con si el vehículo solo fuese capaz de avanzar. Por ejemplo, un vehículo que tiene una capacidad de marcha atrás puede realizar un giro de tres puntos.

- 25 Una limitación de ejemplo que suele permitir que se implemente una capacidad de marcha atrás en el vehículo se puede expresar como:

$$\forall j \in [2, \dots, n-1]$$

$$\left\| \frac{\overline{P_{j-1}P_{j+1}}}{2} - \overline{P_{j-1}P_j} \right\| \leq D_{\max} \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + p_j C \quad \text{Ecuación 5}$$

- 30 donde: $\overline{P_k P_l}$ es una línea entre P_k y P_l ;

α es un valor predeterminado que depende del radio de giro del vehículo 2.

$p = [p_1, p_2, \dots, p_n]$ es un vector de decisión binaria con n entradas.

- 35 Si la i-ésima entrada de p (es decir, p_i) es positiva, en el i-ésimo punto de la ruta, el vehículo cambia de estar en una marcha de avance a estar en una marcha de retroceso o viceversa. Si p_i es cero, en el i-ésimo punto de la ruta, el vehículo no cambia de estar en una marcha de avance a estar en una marcha de retroceso o viceversa (es decir, si el vehículo está funcionando actualmente con una marcha de avance, el vehículo permanece funcionando con una marcha de avance, y de manera similar, si el vehículo está funcionando actualmente con una marcha de retroceso, el vehículo permanece funcionando con una marcha de retroceso); y

- 40 C es un número que es mayor que cualquier valor posible de la parte izquierda de la Ecuación 5. Por lo tanto, para $p_i = 1$, se garantiza que se cumpla la Ecuación 5.

En la ecuación 5, el vector p , en efecto, especifica en qué puntos de la ruta el vehículo cambia de moverse en una dirección de avance a moverse en una dirección de retroceso. Además, el vector p cambia la limitación de curvatura de la ruta en cada caso en que el vehículo cambia de moverse en una dirección de avance a moverse en una dirección de retroceso.

- 5 En esta forma de realización, el proceso de optimización realizado por el planificador de rutas 8 comprende determinar el vector p . En otras palabras, P es una variable de la optimización. El valor del vector P se determina cuando se resuelve el problema de optimización.

Una limitación de ejemplo adicional que suele permitir que se implemente una capacidad de marcha atrás en el vehículo se puede expresar como:

$$\forall j \in [2, \dots, n-1]$$

$$\| \overline{P_{j-1}P_{j+1}} - \overline{P_{j-1}P_j} \| \leq D_{\max} \sin(\gamma) + (1 - p_j)C \quad \text{Ecuación 6}$$

10

donde: γ es una constante angular. Esta constante angular especifica una cantidad de cambio de rumbo que puede ocurrir en un punto donde el vehículo cambia de moverse en una dirección de avance a moverse en una dirección de retroceso (o viceversa). Un valor de γ depende de las capacidades de movimiento del vehículo. Un valor de γ puede, por ejemplo, estar determinado por el vehículo en base a las características del vehículo o a partir de la experimentación. Por ejemplo, un valor de γ puede estar entre 10° y 20° .

15

La limitación expresada por la Ecuación 6 asegura ventajosamente que, por una ruta en la que un vehículo cambia de moverse en una dirección de avance a moverse en una dirección de retroceso (o viceversa) en el punto de la ruta P_i , el ángulo entre $\overline{P_{i-1}P_i}$ y $\overline{P_iP_{i+1}}$ es un ángulo agudo. Esto suele establecer que la ruta determinada es apropiada para un vehículo.

- 20 En algunas formas de realización, se implementa una limitación de que el vehículo se detenga completamente (es decir, tenga velocidad cero) antes de que el vehículo cambie de moverse en una dirección de avance a moverse en una dirección de retroceso (o viceversa). Una limitación de este tipo puede asegurar ventajosamente que una inversión de rumbo solo se implementa si el vehículo disminuye la velocidad a una velocidad predeterminada o se detiene de antemano. En otras formas de realización, se implementa una limitación que la velocidad del vehículo esté por debajo de un valor límite predefinido antes de que el vehículo cambie de moverse en una dirección de avance a moverse en una dirección de retroceso (o viceversa).
- 25

En algunas formas de realización, el proceso de optimización se puede realizar para determinar un perfil de velocidad para el vehículo a medida que viaja a lo largo de la ruta. En dichas formas de realización, las limitaciones de velocidad del vehículo se pueden incorporar en el problema de optimización de manera que se determine un perfil de velocidad apropiado para el vehículo.

30

En algunas formas de realización, un valor de velocidad nominal para el vehículo se puede asociar con cada punto de la ruta, y un cambio en la velocidad entre puntos de la ruta consecutivos se puede limitar mediante un límite de aceleración del vehículo. Dos velocidades consecutivas (por ejemplo, una velocidad del vehículo entre un par de puntos de la ruta y una velocidad del vehículo entre el siguiente par de puntos de la ruta) pueden, por ejemplo, expresarse como:

35

$$v_i^2 = v_{i-1}^2 + 2aD_{\max}$$

donde: $v_i(t)$ es una velocidad instantánea del vehículo en el i -ésimo punto de la ruta;

a es la aceleración del vehículo; y

D_{\max} es la separación entre dos puntos de la ruta consecutivos.

- 40 En alguna forma de realización, una o más de las siguientes limitaciones de velocidad se utilizan en la realización del proceso de optimización.

Una primera limitación de velocidad es una limitación en el vector $U = [u_1, u_2, \dots, u_n]$, donde $u_i(t) = v_i^2(t)$ para los puntos de la ruta $i = 1, \dots, n$. La primera limitación de velocidad se puede expresar como sigue:

$$\forall i \in [2, \dots, n]$$

$$u_i \leq u_{i-1} + 2a_{\max} D_{\max}$$

$$-u_i \leq u_{i-1} + 2a_{\max} D_{\max}$$

45

donde: a_{\max} es la aceleración máxima del vehículo.

Una segunda limitación de velocidad es una limitación de que el perfil de velocidad del vehículo sea cero o positivo. La segunda limitación de velocidad se puede expresar como:

$$\forall i \in [1, \dots, n]$$

$$u_i \geq 0$$

- 5 Una tercera limitación de velocidad es una limitación de que la velocidad del vehículo esté limitada por una constante de velocidad máxima. La tercera limitación de velocidad se puede expresar como:

$$\forall i \in [1, \dots, n]$$

$$u_i \leq 0.05^2 + (1 - p_i)v_{\max}^2 \quad \text{Ecuación 7}$$

donde: v_{\max} es la velocidad máxima del vehículo.

- 10 Esta tercera limitación de velocidad asegura ventajosamente que la velocidad del vehículo sea menor que v_{\max} para cada punto de la ruta i , donde $p_i = 0$. Además, la tercera limitación de velocidad asegura ventajosamente que la velocidad del vehículo sea menor a un número muy pequeño para cada punto de la ruta i donde p_i es positivo. En alguna forma de realización, se utiliza un valor adecuado diferente en la ecuación 7 en lugar de 0,05 tal como 0.

Una cuarta limitación de velocidad es una limitación de que la primera entrada de velocidad en U (es decir, u_1) esté limitada por la velocidad inicial del vehículo. La cuarta limitación de velocidad se puede expresar como:

15 $u_1 = v_1^2$

Una quinta limitación de velocidad es una limitación de que las últimas entradas de velocidad en U (es decir, u_n) estén limitadas por un requisito de seguridad de que el vehículo se detenga en el final de la ruta. La quinta limitación de velocidad se puede expresar como:

$$u_n = 0$$

- 20 En otras formas de realización, la quinta limitación de velocidad es una limitación de que las últimas entradas de velocidad en U (es decir, u_n) estén limitadas por un requisito de seguridad de que vehículo tenga una velocidad por debajo de un valor límite predeterminado al final de la ruta.

En algunas formas de realización, una función de valor F se puede modificar con un término de velocidad pequeño. Esto suele establecer ventajosamente que la velocidad del vehículo se mantenga alta. Este proceso se puede expresar como:

25
$$\text{minimizar } F = \|P_n - P_e\| + 0.001 \sum U \quad \text{Ecuación 8}$$

En alguna forma de realización, se utiliza un valor adecuado diferente en la ecuación 8 en lugar de 0,001.

- 30 En algunas formas de realización, se utiliza una limitación de que el vehículo no pueda desplazarse a través de un giro de curvatura máximo a su velocidad máxima. Dichas limitaciones se pueden utilizar ventajosamente para determinar rutas para vehículos que tienen un radio de giro que varía con la velocidad de ese vehículo (por ejemplo, las aeronaves).

En algunas formas de realización, para un vehículo que se mueve en una ruta circular de radio R , la aceleración lateral a_{lat} de ese vehículo está relacionada con la velocidad v de ese vehículo como sigue:

$$a_{lat} = \frac{v^2}{R}$$

- 35 De manera equivalente, para un vehículo que se mueve en una ruta de curvatura κ , la aceleración lateral a_{lat} de ese vehículo está relacionada con la velocidad v de ese vehículo como sigue:

$$a_{lat} = v^2 \kappa$$

En algunas formas de realización, se utiliza una sexta limitación de velocidad. La sexta limitación de velocidad se puede expresar como:

$$v^2 \leq \frac{a_{lat\ max}}{K}$$

donde un $a_{lat\ max}$ es la aceleración lateral máxima del vehículo.

- 5 En algunas formas de realización, para un triángulo formado por tres puntos de la ruta consecutivos P_{i-1} , P_i y P_{i+1} , la altitud del triángulo h_i se puede definir como la distancia desde la línea de $\overline{P_{i-1}P_{i+1}}$ al punto P_i , es decir,

$$h_i = \left\| \frac{\overline{P_{i-1}P_{i+1}}}{2} - \overline{P_{i-1}P_i} \right\|$$

Además, la curvatura de una ruta en el i -ésimo punto de la ruta κ_i se puede relacionar con la máxima separación de puntos del plan, D_{max} y h_i por:

10
$$\kappa_i = \frac{h_i}{D_{max}^2}$$

Por lo tanto, en algunas formas de realización, se utiliza una séptima limitación de velocidad. La séptima limitación de velocidad se puede expresar como:

$$\forall i \in [2, \dots, n]$$

$$u_i \leq \frac{a_{lat\ max} D_{max}}{h_i} \quad \text{Ecuación 9}$$

- 15 La séptima limitación de velocidad según se expresa en la ecuación 9 no es lineal. Para implementar la séptima limitación de velocidad, se puede utilizar una variable de decisión binaria.

Esta variable de decisión binaria puede ser una matriz de decisión binaria **B**. En algunas formas de realización hay n puntos a lo largo de la ruta. Además, la Ecuación 9 se puede aproximar con limitaciones lineales n_s . En dichas formas de realización, la matriz **B** puede ser una matriz binaria $n \times n_s$. En algunas formas de realización, un elemento b_{ij} en **B** que es igual a 1 puede indicar que la j -ésima limitación se ignora en el i -ésimo punto de la ruta P_i .

- 20 La i -ésima limitación lineal se puede caracterizar mediante su pendiente m_j y la intersección del eje y_j . Por lo tanto, la séptima limitación de velocidad (Ecuación 9) se puede aproximar como:

$$\forall i \in [2, \dots, n], j \in [1, \dots, n_s]$$

$$u_i \leq m_j h_i + y_j + C b_{ij}$$

$$\sum_{k=1}^{n_s} b_{ik} \leq n_s - 1$$

- 25 donde C es un número grande, es decir, cualquier número que sea lo suficientemente grande para asegurar que cuando b_{ij} es positivo, la ecuación $u_i \leq m_j h_i + y_j + C b_{ij}$ se cumple.

- 30 Una ventaja proporcionada por los procesos de planificación de rutas descritos anteriormente es que se pueden planificar las rutas para un vehículo que tiene un radio de giro mínimo y el vehículo se puede controlar con el fin de seguir esa ruta. En otras palabras, las limitaciones descritas anteriormente aplicadas al planificador de rutas suelen establecer ventajosamente que la trayectoria determinada sea capaz de ser seguida por un vehículo (por ejemplo, un vehículo terrestre de ruedas) que tiene un límite de curvatura.

- 35 Una ventaja adicional proporcionada por los métodos descritos anteriormente es que el rendimiento del planificador de rutas y/o el vehículo, en particular cuando el vehículo se desplaza a velocidades relativamente bajas, suele ser mejorado en comparación con un enfoque convencional. El rendimiento se puede, por ejemplo, medir como el error entre los radios de giro en la ruta lineal óptima y el radio de giro del vehículo.

Una ventaja adicional proporcionada por el proceso de planificación de rutas descrito anteriormente es que se pueden tomar en cuenta las limitaciones dinámicas del vehículo no lineales. En particular, se pueden tomar en cuenta las limitaciones dinámicas no lineales para utilizar un proceso de planificación de rutas basado en programación lineal.

5 Las técnicas convencionales de programación lineal entera mixta (MILP) suelen ser utilizables sólo para velocidades individuales. Además, las técnicas MILP convencionales suelen fallar si la solución óptima contiene velocidades del vehículo cercanas a cero. Los métodos descritos anteriormente suelen superar ventajosamente estos problemas.

10 En el método descrito anteriormente, el problema de planificación de rutas se formula ventajosamente como un problema espacial únicamente, es decir, una ruta resultante sólo contiene posiciones del vehículo en oposición a la inclusión de velocidades del vehículo nominales. Por lo tanto, la ruta resultante se puede ejecutar a una velocidad del vehículo arbitraria. Por lo tanto, los modos de fallo del método descrito anteriormente suelen ser independientes de una velocidad del vehículo.

Se proporciona ventajosamente un método para realizar la planificación de rutas para los vehículos no holonómicos utilizando programación lineal entera mixta (MILP). El método separa ventajosamente una ruta espacial para el vehículo y un perfil de velocidad del vehículo.

15 Ventajosamente, utilizando algunas de las limitaciones descritas anteriormente, se pueden producir las rutas que implican una inversión del rumbo del vehículo (por ejemplo, el vehículo cambia de moverse en una dirección de avance a moverse en una dirección de retroceso o viceversa) para el vehículo capaz de realizar dicha inversión de rumbo.

20 El aparato, que incluye el planificador de rutas, para implementar la disposición anterior y realizar cualesquiera de las etapas del método descritas anteriormente, se puede proporcionar mediante la configuración o adaptación de cualquier aparato adecuado, por ejemplo, uno o más ordenadores u otros procesadores o aparatos de procesamiento y/o proporcionando módulos adicionales. El aparato puede comprender un ordenador, una red de ordenadores o uno o más procesadores, para la implementación de las instrucciones y el uso de los datos, incluyendo instrucciones y datos en la forma de un programa de ordenador o varios programas de ordenador almacenados en o sobre un medio de almacenamiento legible por máquina tales como la memoria de ordenador, un disco de ordenador, ROM, PROM, etc.,
25 o cualquier combinación de estos u otros medios de almacenamiento.

30 Se debe señalar que determinadas de las etapas del proceso representadas en el diagrama de flujo de la Figura 2 y descritas anteriormente se pueden omitir o dichas etapas del proceso se pueden realizar en un orden diferente al presentado anteriormente y mostrado en la Figura 2. Además, aunque todas las etapas del proceso, por conveniencia y facilidad de comprensión, han sido representadas como etapas secuenciales en el tiempo independientes, sin embargo, algunas de las etapas del proceso se pueden de hecho realizar simultáneamente o al menos solaparse en cierta medida en el tiempo.

35 En algunas formas de realización, los diferentes conjuntos de limitaciones se pueden implementar con un planificador de rutas de forma simultánea o en serie. Cómo se implementan las limitaciones, es decir, en qué orden y con qué parte de la ruta del vehículo, se selecciona ventajosamente dependiendo de la aplicación. Por ejemplo, en algunas formas de realización dos conjuntos de limitaciones se pueden aplicar en diferentes momentos, por ejemplo, un conjunto de limitaciones se puede utilizar para una primera parte de la ruta y un conjunto diferente de limitaciones se puede utilizar en una segunda parte de la ruta.

40 En las formas de realización anteriores, el vehículo es un vehículo terrestre, por ejemplo, un vehículo comprende ruedas y/o orugas. Sin embargo, en otras formas de realización, el vehículo puede ser un tipo diferente de vehículo, por ejemplo, una aeronave o vehículo anfibia. Además, el vehículo puede ser un vehículo tripulado o no tripulado.

45 En las formas de realización anteriores, el planificador de rutas de acceso y el controlador de vehículos se sitúan remotamente del vehículo, en una estación de tierra. Sin embargo, en otras formas de realización, uno o ambos del planificador de rutas y el controlador de vehículos se encuentran en una ubicación diferente. Por ejemplo, en algunas formas de realización, uno o ambos del planificador de rutas y el controlador de vehículos se sitúan a bordo del vehículo.

En la forma de realización anterior, el proceso de planificación de rutas y control del vehículo se implementan para determinar una ruta y un control para un solo vehículo. Sin embargo, en otras formas de realización, el proceso de planificación de rutas y el control del vehículo se implementan para determinar una ruta y un control para varios vehículos.

50 En las formas de realización anteriores, las limitaciones que se implementan con el planificador de rutas se expresan con las ecuaciones pertinentes descritas anteriormente. En otras formas de realización, una o más de las limitaciones se pueden implementar utilizando una ecuación apropiada diferente con el fin de proporcionar un efecto de limitación equivalente en el planificador de rutas y/o proporcionar la funcionalidad equivalente a la descrita anteriormente.

55 En las formas de realización anteriores, el proceso de planificación de rutas se implementa para determinar una ruta de 2 dimensiones. Sin embargo, en otras formas de realización, el proceso de planificación de rutas se implementa para determinar un tipo diferente de ruta, por ejemplo, una ruta de 3 dimensiones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar una ruta (4) para un vehículo (2), comprendiendo el método:
proporcionar una posición de partida para el vehículo (2);
proporcionar una posición final deseada para el vehículo (2); y
- 5 utilizar la posición de partida proporcionada y la posición final deseada, realizando, mediante uno o más procesadores (8), un proceso de optimización para determinar una posición para cada punto de la ruta de acceso en una secuencia ordenada de puntos de la ruta ($P_1 - P_n$), proporcionando de este modo la ruta (4) para el vehículo (2) definida por la secuencia ordenada de puntos de la ruta ($P_1 - P_n$), en donde
realizar el proceso de optimización comprende:
 - 10 para cada punto de la ruta que no sea el primer punto de la ruta (P_1) en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) ni el último punto de la ruta (P_n) en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$), limitar un ángulo entre una línea que conecta ese punto de la ruta al punto de la ruta que precede a ese punto de la ruta en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) y una línea que conecta ese punto de la ruta al siguiente punto de la ruta en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) para ser mayor o igual que un ángulo predefinido, caracterizado por
 - 15 minimizar una distancia entre la posición final deseada para el vehículo (2) y un último punto de la ruta (P_n) en la secuencia ordenada de puntos de la ruta ($P_1 - P_n$), y
para cada punto de la ruta que no sea un último punto de la ruta (P_n) en la secuencia de los puntos de la ruta ($P_1 - P_n$), limitar una distancia entre ese punto de la ruta y el siguiente punto de la ruta en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) para ser igual a una distancia predefinida.
- 20 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el método además comprende controlar, mediante un controlador de vehículos (10) acoplado operativamente al uno o más procesadores (8), el vehículo (2) de tal manera que el vehículo (2) siga la ruta determinada (4).
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, realizar la optimización del proceso comprende:
 - 25 para cada punto de la ruta, proyectar un vector entre ese punto de la ruta y el siguiente punto de la ruta en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) en cada uno de varios vectores base (14), proporcionando de ese modo varias proyecciones; y
para cada punto de la ruta, limitar las varias proyecciones para que ese punto de la ruta sea menor o igual que la distancia predefinida.
4. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde realizar el proceso de optimización comprende:
 - 30 para cada punto de la ruta, proyectar un vector entre ese punto de la ruta y el siguiente punto de la ruta en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) en cada uno de los varios vectores base (14), proporcionando de ese modo varias proyecciones; y
para cada punto de la ruta, limitar una de las proyecciones para que ese punto de la ruta sea mayor o igual que alguna parte de la distancia predefinida.
5. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde realizar el proceso de optimización comprende, para cada punto de la ruta que no sea el primer punto de la ruta (P_1) en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) ni el último punto de la ruta (P_n) en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$), limitar una distancia entre ese punto de la ruta y una línea que conecta el punto de la ruta que precede a ese punto de la ruta en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) al punto de la ruta que sigue a ese punto de la ruta en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) para ser menor o igual que una distancia predefinida adicional.
- 40 6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, en donde la distancia predefinida adicional es alguna función de un ángulo, siendo el ángulo dependiente de un radio de giro mínimo del vehículo (2).
7. Un método de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en donde la distancia predefinida adicional es alguna función de la distancia predefinida.
8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde realizar el proceso de optimización comprende limitar una posición del segundo punto de la ruta en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) para ser dependiente de una posición del primer punto de la ruta (P_1) en la secuencia ordenada y un vector que señale, en esencia, a la misma dirección que una velocidad inicial del vehículo (2).
9. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde el vehículo (2) puede funcionar con el fin de cambiar entre funcionar con una marcha de avance y funcionar con una marcha de retroceso; y el proceso de optimización comprende además determinar un perfil de cambio para el vehículo (2), especificando el perfil de cambio,

para cada punto de la ruta, si el vehículo (2) cambia o no entre funcionar con la marcha de avance y funcionar con la marcha de retroceso.

5 10. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde el proceso de optimización comprende además determinar un perfil de velocidad para el vehículo (2), especificando el perfil de velocidad una velocidad para el vehículo (2) en cada punto de la ruta en la secuencia ordenada de puntos de la ruta ($P_1 - P_n$).

11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde realizar el proceso de optimización comprende limitar una velocidad del vehículo (2) en el último punto de la ruta (P_n) en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) para que sea menor o igual que una velocidad límite predefinida.

12. Aparato para determinar una ruta (4) para un vehículo (2), comprendiendo el aparato:

10 uno o más procesadores (8) configurados para, utilizando una posición de partida para el vehículo (2) y una posición final deseada para el vehículo (2), realizar un proceso de optimización para determinar una posición para cada punto de la ruta en una secuencia ordenada de puntos de la ruta ($P_1 - P_n$), definiendo la secuencia ordenada de puntos de la ruta ($P_1 - P_n$) la ruta (4) para el vehículo (2); en donde

realizar el proceso de optimización comprende:

15 para cada punto de la ruta que no sea el primer punto de la ruta (P_1) en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) ni el último punto de la ruta (P_n) en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$), limitar un ángulo entre una línea que conecta ese punto de la ruta al punto de la ruta que precede ese punto de la ruta en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) y una línea que conecta ese punto de la ruta de acceso al siguiente punto de la ruta en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) para que sea mayor o igual que un ángulo predefinido, caracterizado por

20 minimizar la distancia entre la posición final deseada para el vehículo (2) y un último punto de la ruta (P_n) en la secuencia de los puntos de la ruta ($P_1 - P_n$), y

para cada punto de la ruta que no sea un último punto de la ruta (P_n) en la secuencia de los puntos de la ruta ($P_1 - P_n$), limitar una distancia entre ese punto de la ruta y el siguiente punto de la ruta en la secuencia ordenada ($P_1 - P_n$) para ser igual a una distancia predefinida.

25 13. Aparato de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el aparato comprende además un controlador de vehículos (10) acoplado operativamente al uno o más procesadores (8) y configurado para controlar el vehículo (2) de tal manera que el vehículo (2) siga la ruta determinada (4).

30 14. Un programa o varios programas dispuestos de tal manera que cuando son ejecutados por un sistema de ordenador o uno o más procesadores provoca(n) que el sistema de ordenador o el uno o más procesadores funcionen de acuerdo con el método de cualesquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

15. Un medio de almacenamiento legible por máquina que almacena un programa o al menos uno de varios programas de acuerdo con la reivindicación 14.

Fig. 1

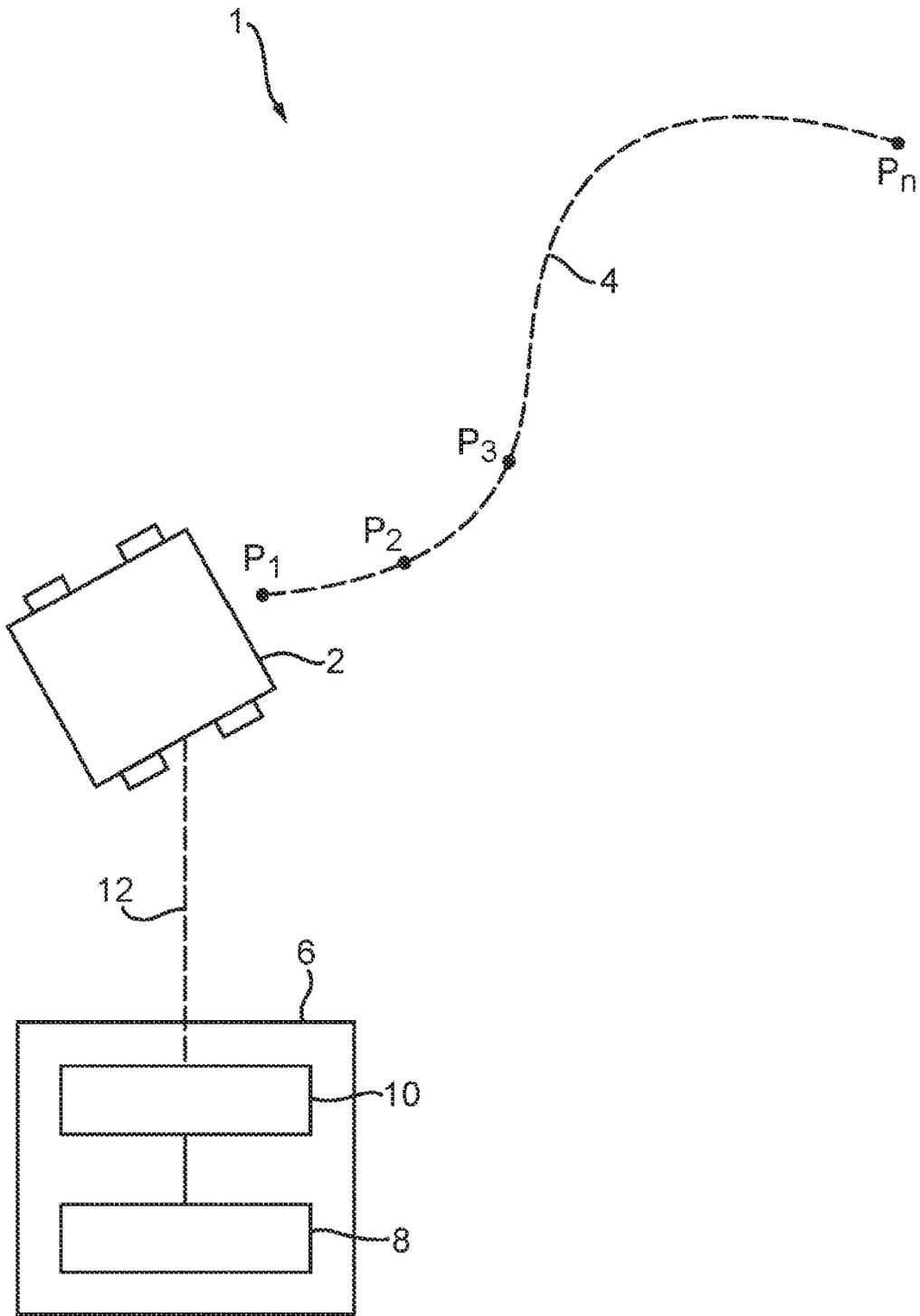


Fig. 2

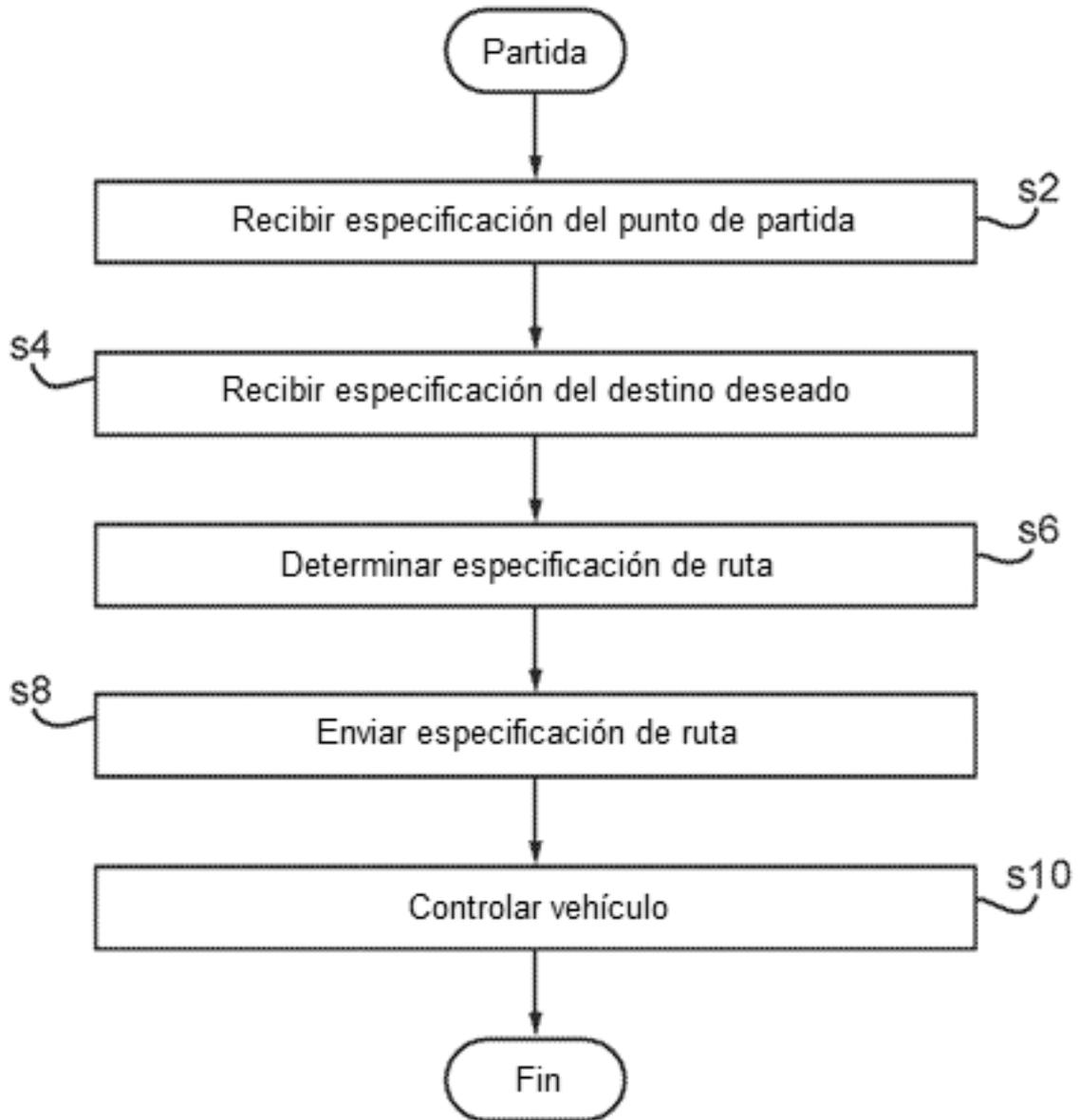


Fig. 3

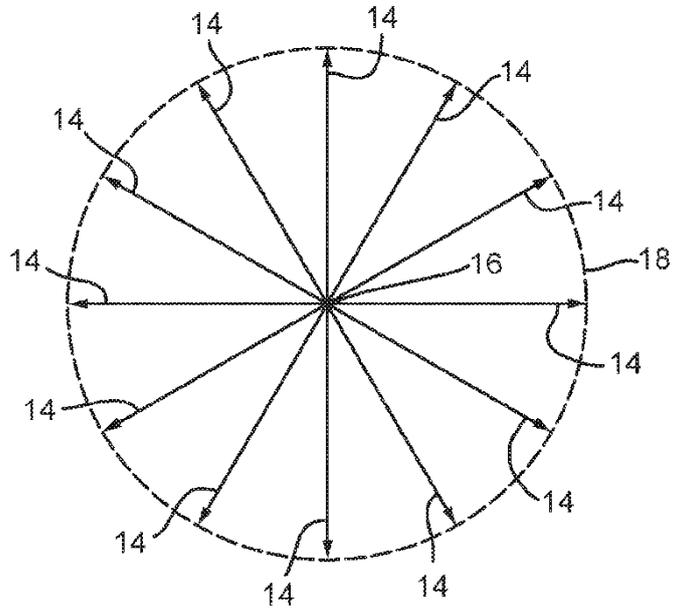


Fig. 4

