

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 193**

51 Int. Cl.:

G01C 21/20 (2006.01)

G01C 21/00 (2006.01)

G05D 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.07.2014 PCT/GB2014/052066**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.01.2015 WO15008033**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2014 E 14736954 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017 EP 3022619**

54 Título: **Planificación de ruta**

30 Prioridad:

15.07.2013 GB 201312586

15.07.2013 EP 13275163

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

10.01.2018

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)

6 Carlton Gardens

London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

SIMPSON, RICHARD, EDWARD y

RICHARDS, ARTHUR GEORGE

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 649 193 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 ruta

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a determinar rutas coordinadas para una pluralidad de vehículos.

5 ANTECEDENTES

Los vehículos autónomos son usados a menudo para llevar a cabo tareas peligrosas, repetitivas o que consumen mucho tiempo.

Pueden usarse múltiples vehículos autónomos interactuantes para conseguir un objetivo común.

10 Durante ciertas tareas puede ser deseable o necesario que dos o más de los vehículos autónomos realicen un enlace, es decir se muevan de tal modo que un vehículo autónomo esté situado dentro de una región que tiene una posición fija con relación a un vehículo autónomo diferente. Un enlace entre dos o más vehículos puede tener lugar, por ejemplo, con el fin de una transferencia de combustible o cargamento entre los vehículos autónomos, de transporte de un vehículo autónomo por otro, o de la realización de reparaciones.

15 Muchos algoritmos convencionales para determinar caminos o rutas para vehículos tienden a no ser capaces de determinar rutas que proporcionen enlaces entre múltiples vehículos. El documento US8150621 está dirigido a un sistema operativo para proporcionar control de un vehículo no tripulado.

SUMARIO DE LA INVENCION

20 El presente inventor ha hallado que pueden procurarse enlaces entre múltiples vehículos usando un proceso de planificación de caminos que tenga en cuenta incertidumbre en la localización futura de los múltiples vehículos. El presente inventor ha hallado que pueden procurarse enlaces entre múltiples vehículos usando planificadores de estado de confianza (*belief state*) para planificar rutas de modo que se tenga en cuenta la incertidumbre de localización de múltiples vehículos.

25 El presente inventor ha hallado que planificando rutas para enlaces entre múltiples vehículos de modo que se tenga en cuenta la incertidumbre de localización de múltiples vehículos, la probabilidad de un fallo de las rutas determinadas tiende a reducirse.

30 En un primer aspecto, la presente invención proporciona un método de determinación de rutas para al menos dos vehículos, comprendiendo el método: medir, mediante un equipo de medida, una posición de un primer vehículo; medir, mediante el equipo de medida, una posición de un segundo vehículo; proporcionar, para uso por uno o varios procesadores, una especificación de una región, teniendo la región una posición fija con relación al primer vehículo; usar las medidas y la especificación de la región, realizando, por parte del o de los procesadores, un proceso de determinación de rutas para determinar una primera ruta para el primer vehículo y una segunda ruta para el segundo vehículo; en que el proceso de determinación de rutas comprende: construir un grafo dentro de un espacio de estado conjunto de los vehículos, comprendiendo el grafo una pluralidad de vértices y una o varias aristas conectando esos vértices; identificar, dentro del grafo construido, un camino desde un primer vértice del grafo a un segundo vértice del grafo, correspondiendo el primer vértice a las posiciones medidas de los vehículos, y correspondiendo el segundo vértice a que el segundo vehículo esté localizado al menos parcialmente dentro de la región; y, usando el camino identificado, determinar rutas para los vehículos, proporcionando con ello las rutas primera y segunda.

40 El método puede comprender además controlar, por parte de un controlador de vehículo acoplado operativamente al o los procesadores, los vehículos de modo que el primer vehículo siga la primera ruta y el segundo vehículo siga la segunda ruta, procurando con ello que el segundo vehículo esté localizado al menos parcialmente dentro de la región.

El grafo puede ser un árbol.

45 El paso de construir el grafo puede comprender inicializar el grafo mediante la determinación, usando las posiciones medidas de los vehículos, del primer vértice del grafo, y realizar una o varias veces los pasos (i) a (iii), proporcionando con ello el grafo, en que: el paso (i) comprende muestrear el espacio de estado conjunto de los vehículos para proporcionar otro vértice; el paso (ii) comprende proporcionar una arista que conecta el otro vértice a un vértice diferente del grafo; y el paso (iii) comprende incluir el otro vértice y las aristas en el grafo.

50 En algunos aspectos, para cada realización de los pasos (i) a (iii), una arista es incluida en el gráfico sólo si, en caso de que los vehículos primero y segundo siguieran las rutas de vehículo definidas por esa arista, cada vehículo no colisionara con otro vehículo u otro objeto distinto a un vehículo.

5 El paso de identificar el camino desde el primer vértice al segundo vértice puede comprender: asignar, a uno o varios vértices dentro del grafo, uno o varios valores de confianza; propagar, a lo largo de cada camino en el grafo, los valores de confianza de modo que se asignen a cada vértice en el grafo uno o varios valores de confianza, correspondiendo cada valor de confianza asociado a un vértice en el grafo a un camino único en el grafo que pasa a través de ese vértice; y seleccionar, sobre la base de uno o varios de los valores de confianza, un camino desde el primer vértice al segundo vértice.

Un valor de confianza asignado al primer vértice puede ser indicativo de una incertidumbre asociada a las medidas de las posiciones de los vehículos.

10 Para cada vértice en el grafo distinto al primer vértice, un valor de confianza asignado a ese vértice puede ser indicativo de una incertidumbre posicional de los vehículos si los vehículos siguieran una ruta especificada por un camino en el grafo desde el primer vértice a ese vértice.

El paso de propagar los valores de confianza puede comprender ajustar uno o varios valores de confianza para tener en cuenta otras medidas de una posición de uno o ambos vehículos tomadas por el equipo de medida.

15 Para cada vértice en el grafo distinto al primer vértice, un valor de confianza asignado a ese vértice puede ser indicativo de un valor de coste asociado a que los vehículos sigan una ruta especificada por un camino en el grafo desde el primer vértice a ese vértice.

20 El paso de identificar el camino desde el primer vértice al segundo vértice puede comprender identificar, a partir de un conjunto de valores de confianza asignados al segundo vértice, el valor de confianza correspondiente al valor de menor coste, e identificar el camino desde el primer vértice al segundo vértice correspondiente al valor de confianza identificado.

El paso de, usando el camino identificado, determinar rutas para los vehículos puede comprender aplicar un algoritmo de acortamiento de camino para el camino identificado de modo que sea proporcionado un camino acortado, y determinar rutas para los vehículos especificadas por el camino acortado, proporcionando con ello las rutas primera y segunda.

25 El algoritmo de acortamiento de camino puede comprender: seleccionar un vértice a lo largo del camino identificado de modo que sea proporcionado un primer vértice de camino; seleccionar otro vértice a lo largo del camino identificado de modo que sea proporcionado un segundo vértice de camino, estando conectado el segundo vértice de camino al primer vértice de camino por al menos dos aristas; determinar un primer valor de coste, siendo indicativo el primer valor de coste de un coste asociado a un camino dentro del camino identificado desde el primer vértice de camino al segundo vértice de camino; proporcionar una arista adicional, teniendo la arista adicional como su vértice inicial el primer vértice de camino y como su vértice final el segundo vértice de camino; determinar un segundo valor de coste, siendo indicativo el segundo valor de coste de un coste asociado a un camino desde el primer vértice de camino al segundo vértice de camino a lo largo de la arista adicional; y dependiendo de los valores de coste primero y segundo, o bien: descartar la arista adicional y mantener el camino identificado; o bien modificar el camino identificado eliminando, del camino identificado, las aristas y los vértices en el camino identificado por el cual están conectados el primer vértice de camino y el segundo vértice de camino, e incluyendo, en el camino identificado, la arista adicional.

30

35

Uno o varios de los vehículos pueden ser un vehículo no tripulado.

40 El equipo de medida puede comprender uno o varios sistemas de medida seleccionados del grupo de sistemas de medida que constan de: un sistema de radar, y un sistema de posicionamiento global.

El proceso de determinación de rutas puede comprender un algoritmo de árbol de confianza aleatorio de exploración rápida (en inglés "Rapidly-exploring Random Belief Tree") para determinar la primera ruta para el primer vehículo y la segunda ruta para el segundo vehículo.

45 En otro aspecto, la presente invención proporciona un método de determinación de rutas para al menos dos vehículos, comprendiendo el método: medir, mediante un equipo de medida, una posición de un primer vehículo; medir, mediante el equipo de medida, una posición de un segundo vehículo; proporcionar, para uso por uno o varios procesadores, una especificación de una región, teniendo la región una posición fija con relación al primer vehículo; usar las medidas y la especificación de la región, aplicando, por parte del o de los procesadores, un algoritmo de árbol de confianza aleatorio de exploración rápida para determinar una primera ruta para el primer vehículo y una segunda ruta para el segundo vehículo; en que las rutas primera y segunda son tales que, si el primer vehículo siguiera la primera ruta, y el segundo vehículo siguiera la segunda ruta, el segundo vehículo estaría localizado al menos parcialmente dentro de la región.

50

55 En otro aspecto, la presente invención proporciona equipamiento para determinar rutas para al menos dos vehículos, comprendiendo el equipamiento: un equipo de medida configurado para medir una posición de un primer vehículo y una posición de un segundo vehículo; y uno o varios procesadores acoplados al equipo de medida y configurados para, usando las medidas y usando una especificación de una región que tiene una posición fija con

relación al primer vehículo, realizar un proceso de determinación de rutas para determinar una primera ruta para el primer vehículo y una segunda ruta para el segundo vehículo; en que el proceso de determinación de rutas comprende: construir un grafo dentro de un espacio de estado conjunto de los vehículos, comprendiendo el grafo una pluralidad de vértices y una o varias aristas conectando estos vértices; identificar, dentro del grafo construido, un camino desde un primer vértice del grafo a un segundo vértice del grafo, correspondiendo el primer vértice a las posiciones medidas de los vehículos, y correspondiendo el segundo vértice a que el segundo vehículo esté localizado al menos parcialmente dentro de la región; y determinar rutas para los vehículos especificadas por el camino identificado, proporcionando con ello las rutas primera y segunda.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un programa o una pluralidad de programas organizados de tal modo que cuando son ejecutados por un sistema de ordenador o por uno o más procesadores, él/ellos hacen que el sistema de ordenador o el o los procesadores operen según el método de cualquiera de los aspectos anteriores.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un medio de almacenamiento legible a máquina que almacena un programa o al menos uno de la pluralidad de programas según el aspecto precedente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 15 La figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) de un escenario;
la figura 2 es una ilustración esquemática (no a escala) de una estación de tierra;
la figura 3 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertos pasos de una realización de un método para controlar vehículos;
la figura 4 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertos pasos de un proceso de determinación de rutas;
- 20 la figura 5 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertos pasos de un algoritmo de árbol de confianza aleatorio de exploración rápida;
la figura 6 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un espacio de un estado conjunto de los vehículos;
la figura 7 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra rutas de vehículo dentro del escenario;
- 25 la figura 8 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un árbol construido;
la figura 9 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertos pasos de un algoritmo de acortamiento de ruta; y
la figura 10 es una ilustración esquemática que muestra una parte de un camino con el árbol.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

30 La figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) de un escenario 1 en el cual hay que implementar una realización de un método para controlar un grupo de vehículos.

El escenario 1 comprende una estación de tierra 2, un primer vehículo 4, y un segundo vehículo 6.

En el escenario 1, la estación de tierra 2 está localizada en la zona de tierra 8 adyacente a un cuerpo de agua 10 (por ejemplo un mar). La estación de tierra es descrita en más detalle más adelante con referencia a la figura 2.

35 En el escenario 1, el primer vehículo 4 es un vehículo acuático. En particular, el primer vehículo 4 es un barco autónomo no tripulado que es controlable por la estación de tierra 2, como se describe en más detalle más adelante con referencia a las figuras 3 a 10. El primer vehículo 4 está localizado en la superficie del cuerpo de agua 10 en una posición que está alejada de la zona de tierra 8.

40 En el escenario 1, el segundo vehículo 6 es un vehículo acuático. En particular, el segundo vehículo 6 es un bote autónomo no tripulado. En este escenario 1, el segundo vehículo 6 es un vehículo más pequeño que el primer vehículo 4. El segundo vehículo 6 es el que es controlable por la estación de tierra 2 como se describe en más detalle más adelante con referencia a las figuras 3 a 10. El segundo vehículo 6 está localizado en la superficie del cuerpo de agua 10 en una posición que está alejada de la zona de tierra 8 y alejada del primer vehículo 4.

45 En este escenario 1, inicialmente el segundo vehículo 6 ha sido transportado a bordo del primer vehículo 4. El segundo vehículo ha sido entonces lanzado desde el primer vehículo 4. Tras ser lanzado desde el primer vehículo 4, el segundo vehículo 6 ha sido controlado (por ejemplo por la estación de tierra 2) para llevar a cabo un estudio hidrográfico en las cercanías del primer vehículo 4. En otras realizaciones, los vehículos 4, 6 pueden haber sido controlados para realizar un tipo de tarea diferente, tal como una tarea de búsqueda y rescate, o una tarea de vigilancia.

- Tras completar el estudio hidrográfico, el segundo vehículo 6 debe ser devuelto a bordo del primer vehículo 4. Esto se consigue mediante el recurso de que los vehículos primero y/o segundo 4, 6 se mueven de tal modo que el segundo vehículo 6 está situado completamente dentro de una región, o zona, sobre el cuerpo de agua 10. Esta región o zona es denominada a continuación como "zona objetivo" y está indicada en la figura 1 por una caja punteada y el número de referencia 12. Una vez que el segundo vehículo 6 está localizado completamente dentro de la zona objetivo 12, un cabrestante u otro equipo de levantamiento que está localizado a bordo del primer vehículo 4 puede operar para levantar el segundo vehículo 6 llevándolo sobre el primer vehículo 4.
- La zona objetivo 12 es una zona sobre la superficie del cuerpo de agua 10 que tiene una posición fija con relación al primer vehículo 6. La zona objetivo 12 es una región sobre la superficie del cuerpo de agua 10 que está próxima al primer vehículo 4. La zona objetivo 12 es una región hacia dentro de la cual debe moverse el segundo vehículo 6 de modo que el segundo vehículo 6 pueda ser levantado con cabrestante llevándolo sobre el primer vehículo 4.
- Una realización de un método para controlar los vehículos 4, 6 de modo que el segundo vehículo esté situado completamente dentro de la zona objetivo 12 es descrita en más detalle más adelante con referencia a la figura 3.
- La figura 2 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra la estación de tierra 2.
- En esta realización, la estación de tierra 2 comprende un sistema de radar 20, un módulo de determinación de rutas 22, un módulo de control de vehículo 24 y un transceptor 26.
- En esta realización, el sistema de radar 20 comprende una antena de radar 28 para transmitir y recibir señales de radar. El sistema de radar 20 está configurado para transmitir, usando la antena de radar 28, una señal de radar hacia el cuerpo de agua 10 de modo que la señal de radar incida sobre los vehículos 4, 6. Igualmente, el sistema de radar 20 está configurado para recibir, usando la antena de radar 28, una señal de radar que ha sido reflejada desde el cuerpo de agua 10 y los vehículos 4, 6.
- El sistema de radar 20 está conectado al módulo de determinación de rutas 22 de modo que una señal puede ser enviada entre el sistema de radar 20 y el módulo de determinación de rutas 22.
- En esta realización, el módulo de determinación de rutas 22 está configurado para procesar una señal recibida por el módulo de determinación de rutas 22 desde el sistema de radar 20. En esta realización, este procesamiento de señal realizado por el módulo de determinación de rutas 22 es realizado para determinar una ruta para cada uno de los vehículos 4, 6. El procesamiento de señal realizado por el módulo de determinación de rutas 22 es descrito en más detalle más adelante con referencia a las figuras 3 a 10.
- Adicionalmente a estar conectado al sistema de radar 20, el módulo de determinación de rutas 22 está conectado al módulo de control de vehículo 24 de modo que una señal (por ejemplo una señal que especifica una salida del módulo de determinación de rutas 22, por ejemplo una especificación de una ruta para un vehículo 4, 6) puede ser enviada entre el módulo de determinación de rutas 22 y el módulo de control de vehículo 24.
- En esta realización, el módulo de control de vehículo 24 está configurado para procesar una señal recibida por el módulo de control de vehículo 24 desde el módulo de determinación de rutas 22. En esta realización, este procesamiento de señal realizado por el módulo de control de vehículo 24 es realizado para determinar una señal de control para cada uno de los vehículos 4, 6.
- Adicionalmente a estar conectado al módulo de determinación de rutas 22, el módulo de control de vehículo 24 está conectado al transceptor 26 de modo que una señal (por ejemplo una salida del módulo de control de vehículo 24, por ejemplo una señal de control de vehículo) puede ser enviada entre el módulo de control de vehículo 24 y el transceptor 26.
- En esta realización, el transceptor 26 está configurado para transmitir, a los vehículos 4, 6, señales de control de vehículo que han sido recibidas por el transceptor 26 desde el módulo de control de vehículo 24. En esta realización, el transceptor 26 transmite señales de control de vehículo a los vehículos 4, 6 a través de un enlace de comunicación inalámbrica entre el transceptor 26 y cada uno de los vehículos 4, 6.
- En esta realización, cada uno de los vehículos 4, 6 comprende equipamiento para recibir una señal de control de vehículo desde el transceptor 26. Además, cada uno de los vehículos 4, 6 comprende equipamiento para implementar acciones especificadas por una señal de control de vehículo recibida.
- La figura 3 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertos pasos de una realización de un método para controlar los vehículos 4, 6 de modo que el segundo vehículo 6 esté situado completamente dentro de la zona objetivo 12.
- En el paso s2, el sistema de radar 20 de la estación de tierra 2 transmite una señal de radar hacia el cuerpo de agua 10. La señal de radar transmitida incide sobre el primer vehículo 4 y el segundo vehículo 6.
- En el paso s4, el cuerpo de agua 10, el primer vehículo 4 y el segundo vehículo 6 reflejan la señal de radar incidente de vuelta hacia el sistema de radar 20.

En el paso s6, el sistema de radar 20 recibe la señal de radar reflejada.

En el paso s8, el sistema de radar 20 envía una señal correspondiente a la señal de radar recibida hacia el módulo de procesamiento 22.

5 En el paso s10, el módulo de procesamiento 22 procesa la señal recibida desde el sistema de radar 20 para determinar una ruta para cada uno de los vehículos 4, 6.

La ruta determinada para el primer vehículo 4 es denominada a continuación "primera ruta".

La ruta determinada para el segundo vehículo 6 es denominada a continuación "segunda ruta".

10 En esta realización, las rutas primera y segunda son tales que, si el primer vehículo 4 siguiera la primera ruta y el segundo vehículo 6 siguiera la segunda ruta, el segundo vehículo 6 estaría completamente localizado dentro de la zona objetivo 12 (que tiene una posición fija con relación al primer vehículo 4).

El proceso de determinación de rutas que es realizado por el módulo de procesamiento 22 en el paso s10 es descrito en más detalle más adelante con referencia a la figura 4.

En el paso s12, el módulo de procesamiento 22 envía una señal que especifica las rutas primera y segunda determinadas al módulo de control de vehículo 24.

15 En el paso s14, el módulo de control de vehículo 24 procesa la señal recibida desde el módulo de procesamiento 22 para determinar una señal de control de vehículo respectiva para cada uno de los vehículos 4, 6.

La señal de control de vehículo determinada para el primer vehículo 4 es denominada a continuación "primera señal de control de vehículo".

20 La señal de control de vehículo determinada para el segundo vehículo 6 es denominada a continuación "segunda señal de control de vehículo".

En esta realización, la primera señal de control de vehículo es para controlar el primer vehículo 4 de modo que el primer vehículo 4 siga la primera ruta. Por ejemplo, la primera señal de control de vehículo especifica instrucciones que, si son implementadas por el primer vehículo 4, hacen que el primer vehículo 4 siga la primera ruta.

25 Similarmente, la segunda señal de control de vehículo es para controlar el segundo vehículo 6 de modo que el segundo vehículo 6 siga la segunda ruta. Por ejemplo, la segunda señal de control de vehículo especifica instrucciones que, si son implementadas por el segundo vehículo 6, hacen que el segundo vehículo 6 siga la segunda ruta.

En el paso s16, el módulo de control de vehículo 24 envía las señales de control primera y segunda al transceptor 26.

30 En el paso s18, el transceptor 26 transmite las señales de control de vehículo a los vehículos 4, 6 relevantes.

En esta realización, el transceptor 26 transmite la primera señal de control al primer vehículo 4, por ejemplo, a través de un primer enlace de comunicaciones inalámbricas. Similarmente, el transceptor 26 transmite la segunda señal de control al segundo vehículo 6, por ejemplo, a través de un segundo enlace de comunicaciones inalámbricas.

En el paso s22, los vehículos 4, 6 reciben las señales de control de vehículo enviadas a ellos por el transceptor 26.

35 En el paso s24, cada uno de los vehículos 4, 6 operan de acuerdo con la señal de control de vehículo recibida por ese vehículo.

En otras palabras, en esta realización, el primer vehículo 4 opera de acuerdo con la primera señal de control y se le hace seguir la primera ruta. Similarmente, el segundo vehículo 6 opera de acuerdo con la segunda señal de control y se le hace seguir la segunda ruta.

40 Después de que el primer vehículo 4 ha seguido la primera ruta y el segundo vehículo 6 ha seguido la segunda ruta, el segundo vehículo 6 está localizado completamente dentro de la zona objetivo 12. De este modo, el segundo vehículo 6 puede ser levantado llevándolo sobre el primer vehículo 4 usando un equipo de cabrestante localizado sobre el primer vehículo 4.

45 De este modo, se proporciona una realización de un método para controlar los vehículos 4, 6 de modo que el segundo vehículo 6 esté localizado completamente dentro de la zona objetivo 12.

Volviendo ahora al paso s10 del proceso de la figura 3, la figura 4 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertos pasos del proceso de determinación de rutas realizado por el módulo de procesamiento 22 para determinar las rutas primera y segunda para los vehículos primero y segundo 4, 6, respectivamente.

En esta realización, el proceso de determinación de rutas es realizado para encontrar, para cada uno de los vehículos 4, 6, una ruta de mínimo coste que, cuando esas rutas son seguidas por los vehículos 4, 6, hacen que el segundo vehículo 6 quede localizado completamente dentro de la zona objetivo 12. Un “coste” de una ruta puede expresarse en términos de cualquier parámetro apropiado, por ejemplo, una longitud de esa ruta (es decir la distancia que tiene que ser recorrida por un vehículo que recorre esa ruta), un tiempo utilizado por un vehículo para recorrer esa ruta, una cantidad de combustible usada por un vehículo para recorrer esa ruta, o cualquier combinación o función de esos parámetros.

En esta realización, el módulo de procesamiento 22 comprende un filtro de Kalman lineal. Como se describe en más detalle más adelante, el módulo de procesamiento implementa 22 el filtro de Kalman para estimar un estado conjunto de los vehículos 4, 6. Esta estimación del estado conjunto de los vehículos 4, 6 usa una serie de medidas de los vehículos 4, 6 tomadas por el sistema de radar 20 sobre un periodo de tiempo en los pasos s2 a s6. Estas medidas de radar tienden a incluir ruido y otras inexactitudes.

En otras realizaciones, el módulo de procesamiento 22 comprende un filtro no lineal, tal como un filtro de Kalman extendido (EKF, del inglés “Extended Kalman Filter”) o un filtro de Kalman “unscented” (UKF, del inglés “Unscented Kalman Filter”), en vez de o de forma añadida al filtro de Kalman lineal.

En el paso s26, usando la señal correspondiente a la señal de radar recibida, recibida por el módulo de procesamiento 22, el módulo de procesamiento 22 produce una estimación de un vector de estado conjunto inicial. El vector de estado conjunto inicial es un estado inicial de los vehículos 4, 6. En esta realización, el vector de estado conjunto se define como:

$$\mathbf{x}_{k=0} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}^{V1} \\ \mathbf{x}^{V2} \\ t \end{bmatrix}$$

donde: \mathbf{x}^{Vi} es un estado del vehículo i-ésimo;

t es una dimensión temporal universal dentro la que existen todos los estados de vehículo; y

k es un paso de tiempo discreto del filtro de Kalman del módulo de procesamiento 22. En esta realización, k= 0 denota el paso de tiempo inicial del filtro de Kalman.

En esta realización, un estado de un vehículo \mathbf{x}^{Vi} está definido como:

$$\mathbf{x}^{Vi} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ \theta_i \end{bmatrix}$$

donde: x_i es una coordenada x del vehículo i-ésimo medida a partir de un origen que puede, por ejemplo, estar localizado en la estación de tierra 2;

y_i es una coordenada y del vehículo i-ésimo medida a partir de un origen que puede, por ejemplo, estar localizado en la estación de tierra 2; y

θ_i es un rumbo del vehículo i-ésimo medido a partir de un rumbo de referencia, por ejemplo, norte.

En algunas realizaciones, un estado de un vehículo \mathbf{x}^{Vi} puede incluir uno o varios otros parámetros de vehículo (tales como una posición z, una velocidad x, una velocidad y, una velocidad z, una altitud, un balanceo, un cabeceo, una guiñada, una velocidad rotacional, un sesgo de sensor) en vez de o de forma añadida a uno o varios de los parámetros de vehículo anteriormente mencionados.

En algunas realizaciones, el parámetro de tiempo t puede usarse para procurar que el vehículo 4, 6 evite obstáculos dinámicos.

En algunas realizaciones, el parámetro de tiempo t puede usarse (por ejemplo en sistemas de localización variables en el tiempo) para procurar que se tomen medidas de posición de vehículos sólo en instantes en los que el sistema de localización tiende a ser suficientemente preciso.

También, en realizaciones en las que un coste de una ruta de vehículo está relacionado con el tiempo, el parámetro de tiempo t puede usarse para determinar un coste de una ruta de vehículo.

En el paso s28, el módulo de procesamiento 22 calcula una covarianza del estado \mathbf{x}_k . En esta realización, la covarianza del estado \mathbf{x}_k está definida como:

$$\mathbf{P}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_k^{V1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{P}_k^{V2} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{P}_k^t \end{bmatrix}$$

donde: \mathbf{P}_k^{Vi} es una matriz de covarianza del vehículo i -ésimo;

10

\mathbf{P}_k^t es una matriz de covarianza del parámetro de tiempo t ; y

$\mathbf{0}$ es una matriz de ceros.

En esta realización, una matriz de covarianza del vehículo i -ésimo \mathbf{P}_k^{Vi} es definida como:

$$\mathbf{P}_k^{Vi} = \begin{bmatrix} \sigma_{xi}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{yi}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\theta i}^2 \end{bmatrix}$$

donde: σ_{xi} es una varianza de la coordenada x del vehículo i -ésimo;

20 σ_{yi} es una varianza de la coordenada y del vehículo i -ésimo;

$\sigma_{\theta i}$ es una varianza del rumbo del vehículo i -ésimo.

En el paso s30, el módulo de procesamiento aplica un algoritmo de árbol de confianza aleatorio de exploración rápida (RRBT, del inglés "Rapidly-exploring Random Belief Tree") que es extendido para calcular múltiples rutas de vehículo coordinadas que proporcionan múltiples enlaces entre vehículos. El algoritmo RRBT usado en esta
 25 realización está descrito brevemente más adelante con referencia a la figura 5. Información adicional sobre el algoritmo RRBT y un uso de él puede encontrarse, por ejemplo, en "Rapidly-exploring Random Belief Trees for Motion Planning Under Uncertainty", Bry, Adam y Nicholas Roy, Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2011), 9-13 de mayo, 2011, que se incorpora aquí por referencia.

En esta realización, el algoritmo RRBT es aplicado para determinar una ruta inicial para cada uno de los vehículos 4,
 30 6 que, si fuera seguida por esos vehículos, procuraría que el segundo vehículo 6 se moviera hacia dentro de la zona objetivo 12.

En algunas realizaciones, puede usarse una alternativa al algoritmo RRBT para determinar las rutas de vehículo iniciales.

En el paso s32, el módulo de procesamiento 22 aplica un "algoritmo de acortamiento de ruta" a una o varias de las
 35 rutas de vehículo determinadas en el paso s30.

En esta realización, el algoritmo de acortamiento de ruta es aplicado para "suavizar" una o varias de las rutas de vehículo iniciales con el fin de determinar las rutas de vehículo primera y segunda. Este "suavizado" de una ruta de vehículo inicial tiende a reducir la longitud de esa ruta inicial.

El algoritmo de acortamiento de ruta es descrito en más detalle más adelante con referencia a la figura 9.

40 En esta realización, una salida del algoritmo de acortamiento de ruta está constituida por las rutas primera y segunda que tienen que ser enviadas desde el módulo de procesamiento 22 al módulo de control de vehículo 24.

De este modo, se proporciona el proceso de determinación de rutas.

Volviendo ahora al paso s30 del proceso de la figura 4, la figura 5 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertos pasos del algoritmo RRBT aplicado por el módulo de procesamiento 22 para determinar rutas iniciales para los vehículos 4, 6. En esta realización, este proceso es realizado para determinar las rutas iniciales para los

5 vehículos 4, 6 que, si fueran seguidas por esos vehículos 4, 6, procurarían que el segundo vehículo 6 se moviera hacia dentro de la zona objetivo 12.

En esta realización, el proceso de la figura 5 comprende construir un grafo (tal como se entiende en el campo de la teoría de grafos). En esta realización, el grafo es un grafo dirigido conectado que comprende una pluralidad de vértices conectados entre sí por aristas. En otras realizaciones es construido un tipo apropiado diferente de

10 estructura, por ejemplo, un grafo dirigido no cíclico.

En esta realización, el grafo es construido en un espacio \mathbf{X} de todos los posibles vectores de estado conjunto \mathbf{x} .

En el paso s34, el grafo a construir es inicializado con un vértice único y una confianza única. Este vértice único y la correspondiente confianza es un nodo raíz del grafo a construir.

En esta realización, el vértice único que define el nodo raíz del grafo es la estimación (o medida) del estado conjunto

15 de los vehículos 4, 6 producida en el paso s20, es decir \mathbf{x}_0 .

En esta realización, la confianza que define el nodo raíz del grafo especifica la incertidumbre de la estimación de \mathbf{x}_0 , es decir \mathbf{P}_0 . También, en esta realización, la confianza que define el nodo raíz del grafo especifica un coste de camino inicial. También, en esta realización, la confianza que define el nodo raíz del grafo especifica una distribución de trayectorias que son dependientes de la controlabilidad de los vehículos.

En esta realización, el vértice inicial \mathbf{x}_0 es un punto dentro del espacio \mathbf{X} . El vértice inicial \mathbf{x}_0 especifica una posición (es decir, una coordenada x y una coordenada y), y un rumbo para cada uno de los vehículos 4, 6.

20 En esta realización, el vértice inicial \mathbf{x}_0 es un punto dentro del espacio \mathbf{X} . El vértice inicial \mathbf{x}_0 especifica una posición (es decir, una coordenada x y una coordenada y), y un rumbo para cada uno de los vehículos 4, 6.

En el paso s36, un índice a es igualado a 1, es decir $a = 1$.

En el paso s38, el espacio \mathbf{X} es muestreado aleatoriamente con el fin de proporcionar un vértice a -ésimo \mathbf{x}_a .

En esta realización, el vértice a -ésimo \mathbf{x}_a es un punto dentro del espacio \mathbf{X} . El vértice a -ésimo \mathbf{x}_a especifica una posición (es decir una coordenada x y una coordenada y), y un rumbo para cada uno de los vehículos 4, 6.

25 En esta realización, el vértice a -ésimo \mathbf{x}_a es un punto dentro del espacio \mathbf{X} . El vértice a -ésimo \mathbf{x}_a especifica una posición (es decir una coordenada x y una coordenada y), y un rumbo para cada uno de los vehículos 4, 6.

En esta realización, el vértice a -ésimo \mathbf{x}_a es un punto en el espacio \mathbf{X} diferente a cada vértice previamente muestreado y al vértice inicial \mathbf{x}_0 .

En el paso s40, el vértice a -ésimo \mathbf{x}_a es conectado al vértice distinto más cercano en el espacio \mathbf{X} (o a una pluralidad de vértices distintos más cercanos en el espacio \mathbf{X}). Esta conexión es una posible arista del grafo en construcción y es denominada a continuación "arista a -ésima".

30 En el paso s40, el vértice a -ésimo \mathbf{x}_a es conectado al vértice distinto más cercano en el espacio \mathbf{X} (o a una pluralidad de vértices distintos más cercanos en el espacio \mathbf{X}). Esta conexión es una posible arista del grafo en construcción y es denominada a continuación "arista a -ésima".

Por ejemplo, en la primera iteración del proceso de la figura 5, el primer vértice \mathbf{x}_1 está conectado al vértice inicial \mathbf{x}_0 . La conexión entre el primer vértice \mathbf{x}_1 que está conectado al vértice inicial \mathbf{x}_0 es denominada a continuación "primera arista".

En esta realización, cada uno de los diferentes vértices dentro del espacio \mathbf{X} especifica una posición y rumbo diferentes para cada uno de los vehículos 4, 6. De este modo, una conexión o arista entre dos vértices diferentes especifica una ruta para cada uno de los vehículos 4, 6 desde una localización a otra localización diferente.

35 En esta realización, cada uno de los diferentes vértices dentro del espacio \mathbf{X} especifica una posición y rumbo diferentes para cada uno de los vehículos 4, 6. De este modo, una conexión o arista entre dos vértices diferentes especifica una ruta para cada uno de los vehículos 4, 6 desde una localización a otra localización diferente.

La figura 6 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una representación del espacio \mathbf{X} , el vértice inicial \mathbf{x}_0 , el primer vértice \mathbf{x}_1 , y la primera arista 30 (entre el vértice inicial \mathbf{x}_0 y el primer vértice \mathbf{x}_1).

La figura 7 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra el escenario 1, y rutas de vehículo 32 para los vehículos 4, 6 que son especificadas por la primera arista 30.

40 La figura 7 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra el escenario 1, y rutas de vehículo 32 para los vehículos 4, 6 que son especificadas por la primera arista 30.

En el paso s41, el módulo de procesamiento 22 determina, si los vehículos 4, 6 siguieran las rutas especificadas por la arista a -ésima, si uno o ambos vehículos 4, 6 fueran o no a colisionar con un objeto (por ejemplo la zona de tierra 8 u otro objeto o terreno que los vehículos 4, 6 no pueden atravesar) u otro vehículo.

Por ejemplo, en la primera iteración del proceso de la figura 5, el módulo de procesamiento 22 determina que los vehículos 4, 6 son capaces de seguir las rutas de vehículo 32 definidas por la primera conexión 30 como aquellas rutas 32 que son rutas a través del cuerpo de agua 10 que evitan objetos que los vehículos 4, 6 son incapaces de pasar por encima, cruzar o atravesar.

45 Por ejemplo, en la primera iteración del proceso de la figura 5, el módulo de procesamiento 22 determina que los vehículos 4, 6 son capaces de seguir las rutas de vehículo 32 definidas por la primera conexión 30 como aquellas rutas 32 que son rutas a través del cuerpo de agua 10 que evitan objetos que los vehículos 4, 6 son incapaces de pasar por encima, cruzar o atravesar.

En esta realización, el proceso realizado en el paso s38 comprende implementar la siguiente ecuación de propagación de estado para estimar un movimiento de vehículo a lo largo de las rutas de vehículo:

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{B}(\mathbf{u}_{k-1} + \mathbf{w}_k)$$

donde: $\mathbf{F} = \mathbf{I}$ define un modelo de movimiento para los vehículos 4, 6;

$\mathbf{B} = \mathbf{I}$ define un modelo de control para los vehículos 4, 6;

5 \mathbf{u} es un vector velocidad;

\mathbf{w} es una perturbación de proceso aleatoria para el vector velocidad \mathbf{u} . En esta realización, $\mathbf{w}_k \sim N(0, \text{diag}(\sigma_x^2))$;

En este realización, el movimiento y el control son independientes para cada elemento del espacio de estado.

10 En otras realizaciones, puede usarse un modelo de movimiento diferente para estimar un movimiento de vehículo a lo largo de las rutas de vehículo.

Puede usarse cualquier método apropiado para determinar si, en el caso de que los vehículos 4, 6 siguieran las rutas especificadas por la arista a-ésima, uno o ambos vehículos 4, 6 fueran o no a colisionar con un objeto u otro vehículo. Un método a modo de ejemplo para determinar si los dos vehículos van a colisionar o no es como sigue. Puede usarse un método análogo para determinar si un vehículo colisiona o no con un objeto distinto a un vehículo.

15 En esta realización, cada vehículo 4, 6 está representado por un polígono \mathbf{Y}^{Vi} respectivo. El polígono i-ésimo \mathbf{Y}^{Vi} representa el vehículo i-ésimo como un obstáculo dinámico.

La estimación de un estado del vehículo i-ésimo (es decir la estimación de \mathbf{x}^{Vi}) se define como el baricentro del polígono i-ésimo \mathbf{Y}^{Vi} .

20 En esta realización, cada polígono se define como un conjunto de vértices bidimensionales centrados en torno al baricentro de ese polígono, es decir

$$\mathbf{Y}^{Vi} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots \\ x_N & y_N \end{bmatrix}$$

25 De este modo, un estado incierto de objeto de vehículo puede definirse como una tupla, es decir $\tau^{Vi} = (\hat{\mathbf{x}}^{Vi}, \mathbf{P}^{Vi}\mathbf{Y}^{Vi})$, donde $\hat{\mathbf{x}}^{Vi}$ es la estimación de \mathbf{x}^{Vi} .

En esta realización, se supone que la incertidumbre en posición de cualquier parte de un polígono es la misma que la incertidumbre del baricentro de ese polígono, es decir se asume que la incertidumbre de un punto en el polígono \mathbf{Y}^{Vi} es \mathbf{P}^{Vi} .

30 En esta realización se muestrea un borde exterior de cada polígono. Cada punto muestreado en un borde exterior de un polígono tiene una incertidumbre en posición igual a la incertidumbre del baricentro de ese polígono.

En esta realización, una distancia entre dos puntos muestreados adyacentes a lo largo de un borde del polígono se define como:

$$s_{dist} = n\sqrt{\max(\lambda_1, \lambda_2)} / 35$$

donde: λ_1 es el valor propio más grande de la matriz de covarianza posicional del primer vehículo 4;

λ_2 es el valor propio más grande de la matriz de covarianza posicional del segundo vehículo 6; y

n es un número de variaciones estándar respecto a una media x.

40 En esta realización, puede detectarse una colisión entre dos polígonos determinando la distancia de Mahalanobis entre dos elipses de covarianza, cada una de las cuales está centrada en torno a un punto de muestreo a lo largo de un borde de un polígono diferente.

En esta realización, la distancia de Mahalanobis entre dos puntos de muestreo es:

$$d_{l,m}^{i,j} = (\mathbf{x}_l^{Vi} - \mathbf{x}_m^{Vj})^T (\mathbf{P}^{Vi} + \mathbf{P}^{Vj})^{-1} (\mathbf{x}_l^{Vi} - \mathbf{x}_m^{Vj})$$

donde: $i=1, \dots, N' \in \mathbf{x}$

$j=1, \dots, N' \in \mathbf{x}$

$l=1, \dots, K \in \bar{\mathbf{Y}}$

5 $m=1, \dots, K \in \bar{\mathbf{Y}}$

N' es el número de vehículos;

K es el número de puntos de muestreo en torno a un borde de un polígono;

$\bar{\mathbf{Y}}$ es un vector de puntos de muestreo en torno a un borde de un polígono; y

10 $d_{l,m}^{V_i, V_j}$ es una distancia estadística entre el punto de muestreo l -ésimo en el polígono que representa el vehículo i -ésimo y el punto de muestreo m -ésimo en el polígono que representa el vehículo j -ésimo.

La distancia de Mahalanobis tiene una distribución chi-cuadrado para variables aleatorias distribuidas normalmente. De este modo, en una realización se detecta una colisión entre los polígonos i -ésimo y j -ésimo (es decir una colisión

entre los vehículos i -ésimo y j -ésimo) si, para cada par (l, m) , $d_{l,m}^{V_i, V_j} < \chi_{p_x}^2$, donde p_x es un intervalo de probabilidad. Similarmente, en esta realización, no se detecta ninguna colisión entre los polígonos i -ésimo y j -ésimo

15 (es decir ninguna colisión entre los vehículos i -ésimo y j -ésimo) si, para cada par (l, m) , $d_{l,m}^{V_i, V_j} \geq \chi_{p_x}^2$.

En algunas realizaciones, objetos que tienen que ser evitados por los vehículos pueden ser modelados como polígonos de un modo similar al descrito anteriormente para los vehículos 4, 6. De este modo, pueden detectarse colisiones entre un objeto y un vehículo.

20 En algunas realizaciones, si, por ejemplo, hay incertidumbre significativa en una orientación de vehículo θ_i , pueden tomarse muestras de polígono para orientaciones dentro de un rango, por ejemplo

$$[\theta_i \pm \sigma_p \sqrt{P_{\theta}^{V_i}}]$$

donde: σ_p es un número de desviaciones estándar respecto a la media \mathbf{x} ; y

$P_{\theta}^{V_i}$ es la covarianza de la incertidumbre de rumbo del vehículo i -ésimo.

25 En esta realización, el cuerpo de agua 10 no contiene ningún objeto con el que pueda colisionar el vehículo 4, 6. Sin embargo, en otras realizaciones, objetos así pueden estar presentes en el cuerpo de agua 10. Ejemplos de objetos así incluyen, pero no están limitados a, rocas, islas, plataformas petrolíferas, y otros botes.

Si en el paso s41, el módulo de procesamiento 22 determina que, si los vehículos 4, 6 siguieran la ruta especificada por la arista a -ésima, uno o ambos vehículos 4, 6 colisionarían con un objeto, el método pasa al paso s42.

30 Sin embargo, si en el paso s38 el módulo de procesamiento 22 determina que, si los vehículos 4, 6 siguieran la ruta especificada por la arista a -ésima, uno o ambos vehículos 4, 6 no colisionarían con un objeto, el método pasa al paso s43.

En el paso s42, el vértice a -ésimo \mathbf{x}_a y la arista a -ésima son descartados por el módulo de procesamiento 22. En esta realización, el vértice a -ésimo \mathbf{x}_a y la arista a -ésima no son incluidos en el grafo en construcción.

35 Tras el paso s42, el método pasa de vuelta al paso s38, en el que el espacio \mathbf{X} es remuestreado con el fin de proporcionar un nuevo vértice a -ésimo \mathbf{x}_a .

Volviendo ahora al caso en el que el módulo de procesamiento 22 determina que, si los vehículos 4, 6 siguieran la ruta especificada por la arista a -ésima, uno o ambos vehículos 4, 6 no colisionarían con un objeto, en el paso s43 el vértice a -ésimo \mathbf{x}_a y la arista a -ésima son incluidos en el grafo en construcción.

En el paso s44, después de que el vértice a-ésimo \mathbf{x}_a y la arista a-ésima han sido añadidos al grafo en construcción, la confianza asociada al nodo raíz (es decir la confianza asociada al vértice inicial \mathbf{x}_0) es propagada a lo largo de cada camino diferente dentro del grafo actual, produciendo con ello un árbol de confianzas.

5 En particular, en esta realización, la incertidumbre asociada a \mathbf{x}_0 (es decir \mathbf{P}_0) es propagada a través del grafo actual, desde el vértice inicial \mathbf{x}_0 a cualquier otro vértice dentro del grafo actual, a lo largo de cada camino diferente dentro del grafo actual. Similarmente, el coste inicial asociado a \mathbf{x}_0 es propagado a través del grafo actual, desde el vértice \mathbf{x}_0 inicial a cada otro vértice en el grafo actual, a lo largo de cada camino diferente dentro del grafo actual.

De este modo, tras la propagación de confianza, en esta realización, cada vértice lleva asociada con él una o varias confianzas.

10 En particular, en esta realización, tras la propagación de confianza, cada vértice en el grafo actual lleva asociada a él, para cada camino definido por el grafo actual que pasa a través de ese vértice, una confianza. Una confianza correspondiente a un vértice y a un camino dentro del grafo especifica una incertidumbre de ese vértice (es decir una incertidumbre asociada a las posiciones y rumbos de vehículo si ese camino fuera seguido por los vehículos) y un coste de ese camino.

15 En esta realización, las confianzas del grafo y las aristas que conectan estas confianzas definen un “árbol de confianzas”. Cada una de las confianzas asociadas a los vértices del grafo actual es un “nodo de confianza” del árbol de confianzas.

La siguiente información es útil para entender cómo una confianza (que en esta realización comprende una incertidumbre posicional, una distribución de control y un coste de camino) es propagada a través del grafo.

20 Información adicional sobre la propagación de confianzas puede encontrarse, por ejemplo, en el documento anteriormente mencionado “*Rapidly-exploring Random Belief Trees for Motion Planning Under Uncertainty*”, que se incorpora aquí por referencia.

Puede usarse una “función de propagación” que toma como argumentos una arista y un nodo de confianza en el vértice de inicio para esa arista, y proporciona un nodo de confianza en el vértice final para esa arista.

25 Puede reducirse una incertidumbre de las posiciones y/o rumbos de los vehículos 4, 6, por ejemplo, tomando medidas de los vehículos 4, 6 mediante el sistema de radar 20. De este modo, puede reducirse una incertidumbre correspondiente a un vértice del árbol actual usando medidas de radar de los vehículos 4, 6.

Tales medidas pueden ser tenidas en cuenta cuando se propagan confianzas a través del árbol actual. En esta realización, un modelo basado en alcance lineal es usado para determinar una varianza del sistema de radar 20.

30 En esta realización, el sistema de radar 20 está localizado en el mismo espacio \mathbf{X} que los vehículos 4, 6. Un estado del sistema de radar 20 \mathbf{X}^{radar} puede, por ejemplo, especificar una posición global del sistema de radar 20, pero no especificar un rumbo.

En esta realización, medidas tomadas por el sistema de radar 20 del estado conjunto de los vehículos 4, 6 se definen como:

35

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_t$$

donde: \mathbf{H} es un modelo de medida lineal; y

\mathbf{v}_i es un ruido de medida.

40 En esta realización, \mathbf{H} extrae, desde el espacio de estados, las coordenadas x e y de cada uno de los vehículos 4, 6. En otras palabras, \mathbf{H} elimina la orientación y el tiempo del espacio de estados. En esta realización, el espacio de estados se define como:

45

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} \mathbf{H}^{T1} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{H}^{T1} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{H}^{TN} & \mathbf{0} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{H}^{Ti} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, i = 1, \dots, N$$

En esta realización, el ruido de medida \mathbf{v}_t está distribuido como sigue:

$$\mathbf{v}_t \sim N(0, \text{diag}(\boldsymbol{\sigma}_z^2))$$

donde: $\boldsymbol{\sigma}_z$ es una varianza de ruido del modelo de medida.

5 En esta realización:

$$\boldsymbol{\sigma}_z = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\sigma}_z^{I1} \\ \boldsymbol{\sigma}_z^{I2} \\ \vdots \\ \boldsymbol{\sigma}_z^{IN} \end{pmatrix}$$

10

donde $\boldsymbol{\sigma}_z^{Ii}$ es una varianza de medida del vehículo i-ésimo.

En esta realización:

$$\boldsymbol{\sigma}_z^{Ii} = \begin{pmatrix} r_s \parallel \mathbf{x}^{radar} - \mathbf{x}^{Ii} \parallel \\ r_s \parallel \mathbf{x}^{radar} - \mathbf{x}^{Ii} \parallel \end{pmatrix}$$

donde: r_s es un factor de escala que puede ser ajustado en función de ciertas condiciones, por ejemplo condiciones ambientales del escenario 1 o parámetros operativos del sistema de radar 20.

En esta realización, la precisión del sistema de radar 20 disminuye isotrópicamente al aumentar linealmente la distancia respecto al radar 20.

20 En esta realización, un obstáculo puede bloquear que una señal de radar procedente del sistema de radar 20 incida sobre uno de los vehículos 4, 6. Por ejemplo, el primer vehículo puede bloquear al menos parcialmente que una señal de radar procedente del sistema de radar 20 incida sobre el segundo vehículo 6. En otras palabras, el primer vehículo puede, efectivamente, apantallar el segundo vehículo 6 respecto a una señal de radar transmitida por el sistema de radar 20.

25 En esta realización, ventajosamente, se tiene en cuenta este bloqueo de señal de radar. Esto puede conseguirse como sigue.

Primero, para cada vehículo 4, 6 es especificada una línea desde el sistema de radar 20 a ese vehículo 4, 6.

30 Segundo, cada línea especificada es analizada para ver si esa línea corta o no un obstáculo, por ejemplo un objeto u otro vehículo. Esto puede realizarse, por ejemplo, usando un algoritmo de intersección línea-línea para comprobar si la línea especificada corta un polígono \mathbf{Y} que representa un obstáculo.

En esta realización, una línea entre el sistema de radar y un vehículo 4, 6 que es cortada por un obstáculo indica que las señales de radar desde del sistema de radar hacia ese vehículo 4, 6 son bloqueadas por ese obstáculo.

35 Tercero, para cada vehículo 4, 6 para el que las señales de radar procedentes del sistema de radar están bloqueadas, la covarianza de medida para ese vehículo $\boldsymbol{\sigma}_z^{Ii}$ es igualada a un número arbitrariamente grande, por ejemplo

$$\boldsymbol{\sigma}_z^{Ii} = \begin{pmatrix} 10^9 \\ 10^9 \end{pmatrix}$$

De este modo, una incertidumbre posicional puede propagarse a través del árbol.

40 La siguiente información es útil para entender cómo un coste es propagado a través del árbol.

- Un coste o función de coste puede ser representativo de un tiempo de recorrido para los vehículos 4, 6, una distancia recorrida por los vehículos 4, 6, una cantidad de combustible usada por los vehículos, cualquier otro tipo apropiado de coste o función de coste o combinación de ellos. Una función de coste puede propagarse desde un primer vértice del árbol actual a un segundo vértice del árbol actual, a lo largo de una arista en el árbol actual, tomando la función de coste del primer vértice, modificando esa función de coste para incluir los tiempos, la distancia, la cantidad de combustible, etc. que pueden ser usados por el vehículo que recorre rutas especificadas por la arista entre el primer vértice y el segundo vértice, e igualando una función de coste del segundo vértice a la función de coste modificada.
- En el paso s46, se determina si se satisfacen o no uno o varios "criterios de finalización". En esta realización, un criterio de finalización puede ser cualquier criterio apropiado, por ejemplo, el criterio de que el índice a es igual a un valor umbral B predeterminado. También, por ejemplo, un criterio de finalización puede consistir en que un tiempo de computación ha excedido un tiempo umbral T . También, por ejemplo, un criterio de finalización puede consistir en que el número de estados muestreados que corresponden a que el segundo vehículo 6 está completamente dentro de la zona objetivo 12 exceden un valor umbral M predeterminado.
- Si, en el paso s46, se determina que no se satisfacen el o los criterios de finalización, el método pasa al paso s48.
- Sin embargo, si en el paso s46 se determina que se satisface el criterio o cada uno de los criterios de finalización, el método pasa al paso s50.
- En el paso s48, el índice a es incrementado en 1, es decir $a = a + 1$.
- Tras el paso s48, en esta realización, el método pasa de vuelta al paso s38, en el que el espacio X es muestreado aleatoriamente con el fin de proporcionar una nueva muestra.
- Volviendo ahora al caso en el que se satisface el criterio o cada uno de los criterios de finalización, en el paso s50 se proporciona el árbol que ha sido construido, denominado a continuación como "grafo final".
- La figura 8 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra el grafo final 34 que ha sido construido en el paso s50. El grafo final 34 comprende una pluralidad de vértices muestreados (indicados por círculos negros uniformes en la figura 8) conectados entre sí por aristas (indicadas por líneas que conectan los vértices).
- En esta realización, cada vértice en el grafo final 34 corresponde a un estado x en el espacio X (es decir una posición y rumbo para cada uno de los vehículos 4, 6).
- En esta realización, cada arista en el grafo final 34 corresponde a una ruta para los vehículos 4, 6 a través del cuerpo de agua 10 (entre posiciones correspondientes a aquéllas representadas por los vértices que esa arista conecta).
- De este modo, un camino a través del grafo final 34, desde un vértice inicial a un vértice final, a lo largo de una serie de aristas del grafo final 34, define una ruta para los vehículos 4, 6 a través del cuerpo de agua 10 (entre posiciones correspondientes a aquéllas representadas por el vértice inicial y el vértice final).
- También en esta realización, cada vértice en el grafo final 34 lleva asociado con él una o varias confianzas (o incertidumbres). En esta realización, cada confianza asociada a un vértice corresponde a un camino respectivo dentro del grafo final 34 que pasa a través de ese vértice.
- Para cada vértice y cada camino dentro del grafo final 34 que pasa a través de ese vértice, la confianza asociada especifica una incertidumbre para ese vértice y ese camino (es decir una incertidumbre de las posiciones y rumbos de vehículo si una ruta especificada por ese camino fuera seguida por esos vehículos). También, para cada vértice y cada camino dentro del grafo final 34 que pasa a través de ese vértice, la confianza asociada especifica un coste para ese vértice y ese camino (es decir, un coste en el que incurrirían los vehículos si recorrieran una ruta especificada por ese camino).
- En el paso s52, son identificados el o los vértices en el grafo final 34 que corresponden a un estado en el que el segundo vehículo 6 está completamente localizado dentro de la zona objetivo 12.
- En esta realización, el segundo vehículo 6 está completamente localizado dentro de la zona objetivo 12 si el polígono que representa el segundo vehículo Y^{V2} está situado completamente dentro de la zona objetivo 12 y no hay colisión entre el polígono que representa el segundo vehículo Y^{V2} y un límite de la zona objetivo 12. La determinación de si hay o no una colisión entre el polígono que representa el segundo vehículo Y^{V2} y el límite de la zona objetivo 12 puede, por ejemplo, realizarse usando un método análogo al descrito anteriormente para determinar si un vehículo 4, 6 colisiona o no con un objeto.
- En el paso s54, a partir del conjunto de vértices identificados en el paso s52, es identificado el vértice que está asociado a una confianza que especifica un valor de coste mínimo. La confianza asociada al coste mínimo es también identificada.

El vértice identificado en el paso s54 es denominado a continuación “vértice final”.

La confianza identificada en el paso s54 corresponde al vértice final y también a un camino específico dentro del árbol 34 desde el vértice inicial x_0 al vértice final.

5 En el paso s56, es identificado el camino específico dentro del grafo final 34 desde el vértice inicial x_0 al vértice final que corresponde a la confianza identificada en el paso s54.

En el paso s58, son determinadas las rutas para los vehículos 4, 6 a través del cuerpo de agua que es especificado por el camino dentro del grafo final 34 que ha sido identificado en el paso s56.

Las rutas determinadas para los vehículos 4, 6 son las rutas iniciales para los vehículos 4, 6 que, si fueran seguidas por esos vehículos 4, 6, procurarían que el segundo vehículo 6 se moviera hacia dentro de la zona objetivo 12.

10 De este modo, se proporciona el proceso RRBT.

Volviendo ahora al paso s32 del proceso de la figura 4, la figura 9 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertos pasos del algoritmo de acortamiento de ruta aplicado por el módulo de procesamiento 22 para reducir la longitud de rutas de vehículo iniciales. En esta realización, el proceso de la figura 9 es realizado por el módulo de procesamiento 22.

15 En el paso s60, es identificado el camino dentro del grafo final 34 que corresponde a las rutas iniciales para los vehículos 4, 6 (es decir, el camino identificado en el paso s56 del proceso de la figura 5).

En el paso s62, es seleccionado un vértice previamente no seleccionado a lo largo del camino identificado. En una primera iteración del proceso de la figura 9, todos los vértices a lo largo del camino identificado son vértices previamente no seleccionados.

20 El vértice que es seleccionado es denotado por X_p . En esta realización, el vértice X_p seleccionado es conectado mediante una arista al siguiente vértice a lo largo del camino identificado, es decir X_p es conectado mediante una arista al vértice X_{p+1} .

En el paso s64, es seleccionado el vértice X_{p+2} .

25 En el paso s66, los vértices seleccionados son conectados mediante una arista. En otras palabras, el vértice X_p y el vértice X_{p+2} son conectados mediante una arista. La arista que conecta el vértice X_p y el vértice X_{p+2} es denominada a continuación “nueva arista”.

La figura 10 es una ilustración esquemática que muestra una parte del camino identificado en el paso s60 (que está indicado en la figura 10 por el número de referencia 36), el vértice X_p , el vértice X_{p+2} y la nueva arista 38.

30 En esta realización, el camino 36 es un camino desde el vértice inicial X_p hasta el vértice final X_{final} . El vértice final X_{final} corresponde a un estado en el que el segundo vehículo 6 está localizado completamente dentro de la zona objetivo 12. Como se muestra en la figura 10, la nueva arista 38 proporciona un camino desde el vértice inicial X_0 al vértice final X_{final} que evita el vértice X_{p+1} , es decir un camino que pasa a través de los siguientes vértices en orden: $X_0, \dots, X_p, X_{p+2}, \dots, X_{final}$.

35 En el paso s68, se determina si, en el caso de que los vehículos 4, 6 siguieran las rutas especificadas por la nueva arista 38, uno o ambos vehículos 4, 6 fueran a colisionar o no con un objeto (por ejemplo, la zona de tierra 8 u otro objeto o terreno a través de los cuales no se pueden mover los vehículos 4, 6) u otro vehículo. En esta realización, este proceso de determinación de colisiones es realizado del mismo modo que se ha descrito anteriormente en el paso s41 del proceso de la figura 5.

40 Si en el paso s68 se determina que, en el caso de que los vehículos 4, 6 siguieran la ruta especificada por la nueva arista 38, uno o ambos vehículos 4, 6 fueran a colisionar con un objeto, el método pasa al paso s74. El paso s74 será descrito en más detalle más adelante tras una descripción de los pasos s70 y s72.

Sin embargo, si en el paso s68 se determina que, en el caso de que los vehículos 4, 6 siguieran la ruta especificada por la nueva arista 38, uno o ambos vehículos 4, 6 no fueran a colisionar con un objeto, el método pasa al paso s70.

45 En el paso s70, la confianza asociada al nodo raíz (es decir la confianza asociada al vértice inicial x_0) se propaga a través del camino desde el vértice inicial X_0 al vértice final X_{final} que evita el vértice X_{p+1} (es decir, el camino desde el vértice inicial X_0 al vértice final X_{final} proporcionado por la nueva arista 38). En esta realización, este proceso de propagación de confianza es realizado del mismo modo que se ha descrito anteriormente en el paso s44 del proceso de la figura 5.

50 En el paso s72, se determina si el camino desde el vértice inicial X_0 al vértice final X_{final} que evita el vértice X_{p+1} (es decir el camino desde el vértice inicial X_0 al vértice final X_{final} proporcionado por la nueva arista 38) es un camino de

menor coste que el camino desde el vértice inicial X_0 al vértice final X_{final} que incluye el vértice X_{p+1} . Esto puede realizarse por ejemplo comparando los costes asociados a los dos caminos diferentes.

Si en el paso s72 se determina que el camino desde el vértice inicial X_0 al vértice final X_{final} que evita el vértice X_{p+1} no es un camino de menor coste que el camino desde el vértice inicial X_0 al vértice final X_{final} que incluye el vértice X_{p+1} , el método pasa al paso s74.

Sin embargo, si en el paso s72 se determina que el camino desde el vértice inicial X_0 al vértice final X_{final} que evita el vértice X_{p+1} es un camino de menor coste que el camino desde el vértice inicial X_0 al vértice final X_{final} que incluye el vértice X_{p+1} , el método pasa al paso s76.

En el paso s74, la nueva arista 38 es descartada. Tras el paso s74, el método pasa al paso s78 que será descrito en más detalle más adelante tras una descripción del paso s76.

En el paso s76, la nueva arista 38 es incluida en el camino 36. También, en esta realización, el vértice X_{p+1} es eliminado del camino 36. También, en esta realización, las aristas en el camino 36 que están conectadas al vértice X_{p+1} son eliminadas del camino 36. En otras palabras, la arista que conecta X_p a X_{p+1} y la arista que conecta X_{p+1} a X_{p+2} son eliminadas del camino 36. De este modo, el camino 36 es actualizado.

En el paso s78, se determina si todos los vértices en el camino actual han sido seleccionados previamente o no.

Si, en el paso s78, se determina que no han sido seleccionados todavía todos los vértices en el camino actual, el método pasa de vuelta al paso s62 en el que es seleccionado un nuevo vértice previamente no seleccionado a lo largo del camino actual.

Sin embargo, si en el paso s78 se determina que todos los vértices en el camino actual han sido seleccionados previamente, el método pasa al paso s80.

En el paso s80, son determinadas las rutas para los vehículos 4, 6 a través del cuerpo de agua 10 que son especificadas por el camino actualizado actual.

Las rutas determinadas para los vehículos 4, 6 son las rutas primera y segunda que deben ser enviadas por la unidad de procesamiento 22 para uso por el módulo de control de vehículo 24 en el paso s12.

De este modo se proporciona el algoritmo de acortamiento de ruta.

Ventajosamente se proporciona un método mediante el cual pueden ser controlados una pluralidad de vehículos autónomos. El sistema y el método anteriormente descritos tienden a procurar un control coordinado de vehículos. El sistema y el método anteriormente descritos tienden a permitir que los vehículos sean controlados de modo que se haga que los vehículos realicen un "enlace", es decir que los vehículos sean controlados de modo que un vehículo esté localizado dentro de una región que tiene una localización fija con respecto a otro vehículo. Esto tiende a estar en contraste con métodos convencionales para controlar vehículos autónomos que típicamente controlan un único vehículo de modo que ese vehículo es movido a una localización que tiene una posición fija global.

De este modo, el método y el equipamiento anteriormente descritos tienden ventajosamente a permitir un enlace coordinado entre vehículos.

Ventajosamente, el sistema y el método anteriormente descritos pueden ser extendidos para controlar más de dos vehículos.

Ventajosamente, usando el sistema y el método anteriormente descritos para controlar vehículos, tienden a evitarse colisiones entre esos vehículos y colisiones entre un vehículo y un objeto distinto a un vehículo. El método anteriormente descrito incluye modelar una huella de vehículo como un polígono bidimensional, e incorporar una incertidumbre de localización contenida dentro de estados de confianza calculados por el módulo de procesamiento, de modo que son determinadas rutas de vehículo para asegurar que los vehículos no colisionan con otros vehículos u objetos distintos a vehículos.

Ventajosamente, el método y el sistema anteriormente descritos pueden usarse para determinar rutas para vehículos que minimicen un coste (por ejemplo un coste temporal, un coste de distancia, un coste de combustible, o cualquier otra función de coste).

Ventajosamente, el método anteriormente descrito incluye usar medidas de las localizaciones de vehículo (tomadas por el sistema de radar) para reducir la incertidumbre acerca de las localizaciones de vehículo. Las rutas de vehículo determinadas usando el sistema y los métodos anteriormente descritos tienden a pasar ventajosamente a través de regiones en las que pueden hacerse medidas posicionales de los vehículos de modo que se reduce la incertidumbre asociada a las posiciones de los vehículos.

Ventajosamente, el sistema y el método anteriormente descritos tienden a tener en cuenta el bloqueo de medidas posicionales de un vehículo, por ejemplo por otros vehículos u objetos distintos a un vehículo.

- Ventajosamente, implementar el algoritmo de acortamiento de ruta anteriormente descrito tiende a modificar una ruta inicial de modo que se reduce un coste de distancia, un coste temporal, un coste de combustible, u otro coste de esa ruta inicial. En las realizaciones anteriores, las rutas iniciales son determinadas implementando el algoritmo RRBT. En algunas realizaciones, el algoritmo de acortamiento de ruta puede ser iterado múltiples veces de modo que se modifica adicionalmente una ruta inicial para reducir adicionalmente el coste de la ruta.
- Ventajosamente, implementar el algoritmo de acortamiento de ruta anteriormente descrito tiende a ser computacionalmente eficiente. De este modo, el algoritmo de acortamiento de ruta tiende a facilitar una planificación de ruta y un control de vehículos en tiempo real.
- Ventajosamente, el sistema y los métodos anteriormente descritos tienden a tener en cuenta las diferentes dinámicas de cada vehículo. Por ejemplo, un barco grande tiende a ser capaz de cambiar de dirección de forma relativamente lenta, mientras que un pequeño bote tiende a ser capaz de cambiar de dirección de forma relativamente rápida.
- Ventajosamente, el sistema y los métodos anteriormente descritos tienden a ser utilizables con vehículos que siguen un camino predefinido. El equipamiento, incluyendo el módulo de procesamiento, para implementar la disposición anterior y realizar los pasos del método a describir más adelante, puede ser proporcionado configurando o adaptando cualquier equipamiento adecuado, por ejemplo uno o varios ordenadores u otro equipamiento de procesamiento o procesadores, y/o proporcionando módulos adicionales. El equipamiento puede comprender un ordenador, una red de ordenadores, o uno o varios procesadores, para implementar instrucciones y usar datos, incluyendo instrucciones y datos en la forma de un programa de ordenador o una pluralidad de programas de ordenador almacenados en o sobre un medio de almacenamiento legible a máquina tal como una memoria de ordenador, un disco de ordenador, una memoria ROM (del inglés "Read-Only Memory", memoria de solo lectura), una memoria PROM (del inglés "Programmable Read-Only Memory", memoria programable de solo lectura), etc., o cualquier combinación de estos u otros medios de almacenamiento.
- Debe observarse que pueden omitirse algunos de los pasos de proceso representados en los diagramas de flujo de las figuras 3, 4, 5 y 9 y descritos anteriormente, o que tales pasos de proceso pueden realizarse en orden diferente al presentado anteriormente y mostrado en esas figuras. Además, aunque todos los pasos de proceso, por conveniencia y facilidad de comprensión, han sido representados como pasos discretos temporalmente secuenciales, sin embargo algunos de los pasos de proceso de hecho pueden ser realizados simultáneamente o al menos solapándose en alguna medida temporalmente.
- En las realizaciones anteriores, el método para controlar un grupo de vehículos es implementado en el escenario descrito con referencia a la figura 1. Sin embargo, en otras realizaciones el método es implementado en un escenario diferente.
- En las realizaciones anteriores, son calculadas rutas para dos vehículos y son controlados esos dos vehículos. Sin embargo, en otras realizaciones son determinadas rutas para un número diferente de vehículos (por ejemplo más de dos vehículos). Esos vehículos pueden ser controlados entonces de modo que sean seguidas las rutas determinadas para esos vehículos.
- En las realizaciones anteriores, el método para controlar un grupo de vehículos es implementado para mover los vehículos de modo que el segundo vehículo esté completamente localizado dentro de la zona objetivo que tiene una localización fija con respecto al primer vehículo. El hecho de que el segundo vehículo esté completamente localizado dentro de la zona objetivo puede considerarse como un "estado objetivo" del sistema. Sin embargo, en otras realizaciones hay un estado objetivo diferente. Por ejemplo, en otras realizaciones, el estado objetivo es un estado en el que el segundo vehículo está completamente localizado dentro de una primera zona objetivo que tiene una localización fija con respecto al primer vehículo, y también el primer vehículo está completamente localizado dentro de una segunda zona objetivo que tiene una localización fija con respecto al segundo vehículo. En otras realizaciones, puede haber múltiples zonas objetivo definidas con respecto a múltiples vehículos diferentes. En algunas realizaciones, un estado objetivo puede ser un estado en el que cualquier número apropiado de vehículos están localizados parcial o completamente dentro de una zona objetivo al mismo tiempo, o en instantes diferentes.
- En las realizaciones anteriores, los vehículos son vehículos acuáticos (por ejemplo marinos) no tripulados. Sin embargo, en otras realizaciones, uno o varios de los vehículos son un tipo de vehículo diferente, por ejemplo, un vehículo acuático tripulado, un vehículo terrestre tripulado o no tripulado, o una aeronave tripulada o no tripulada. En algunas realizaciones, uno o varios de los vehículos pueden ser un tipo diferente de entidad, por ejemplo, un no vehículo, por ejemplo un brazo o cabrestante robótico.
- En las realizaciones anteriores, las medidas de los rumbos y posiciones de vehículos son tomadas por el sistema de radar. Sin embargo, en otras realizaciones pueden usarse uno o varios tipos diferentes de medidas de los vehículos en vez de o adicionalmente a las medidas de radar. Por ejemplo, en algunas realizaciones puede usarse una medida de GPS (del inglés "Global Positioning System", sistema de posicionamiento global) de una posición de vehículo. Otros ejemplos de sensores apropiados que pueden usarse para tomar medidas de vehículos incluyen, pero no están limitados a, una cámara de luz visible, una cámara infrarroja, un sistema de LIDAR (del inglés "LIght raDAR",

radar de luz), radiobalizas, una unidad de medida inercial, una brújula, un velocímetro marino, y un sensor ultrasónico.

5 En algunas realizaciones, las medidas de los vehículos pueden ser tomadas desde múltiples localizaciones diferentes. Por ejemplo, en algunas realizaciones, una pluralidad de sistemas de radar diferentes pueden tomar medidas de los rumbos y posiciones de vehículos. En algunas realizaciones, una medida puede ser tomada usando un sistema montado en vehículo.

En las realizaciones anteriores, el escenario comprende una única estación de tierra. Sin embargo, en otras realizaciones se usan múltiples estaciones de tierra.

10 En las realizaciones anteriores, la determinación de las rutas de vehículo es realizada en la estación de tierra. Sin embargo, en otras realizaciones la determinación de las rutas de vehículo es realizada en una o varias localizaciones diferentes en vez de o adicionalmente a la estación de tierra. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la determinación de las rutas de vehículo puede ser realizada a bordo de uno o varios de los vehículos. En algunas realizaciones, el proceso para determinar las rutas de vehículo puede estar distribuido a través de un número de sistemas de procesamiento diferentes localizados en localizaciones diferentes.

15 En las realizaciones anteriores, el método para controlar los vehículos comprende implementar el algoritmo de acortamiento de ruta anteriormente descrito. Sin embargo, en otras realizaciones, es omitido el algoritmo de acortamiento de ruta.

REIVINDICACIONES

1. Método de determinación de rutas para al menos dos vehículos (4, 6), comprendiendo el método:
 - medir, mediante un equipo de medida (20), una posición de un primer vehículo (4);
 - medir, mediante el equipo de medida, una posición de un segundo vehículo (6);
- 5 proporcionar, para uso por uno o varios procesadores (22), una especificación de una región (12), teniendo la región una posición fija con relación al primer vehículo;
 - usar las medidas y la especificación de la región, realizando, por parte del o de los procesadores, un proceso de determinación de rutas para determinar una primera ruta para el primer vehículo (4) y una segunda ruta para el segundo vehículo (6); en que
- 10 el proceso de determinación de rutas comprende:
 - construir un grafo (34) dentro de un espacio de estado conjunto de los vehículos, comprendiendo el grafo una pluralidad de vértices y una o varias aristas conectando esos vértices;
 - identificar, dentro del grafo construido, un camino desde un primer vértice del grafo a un segundo vértice del grafo, correspondiendo el primer vértice a las posiciones medidas de los vehículos, y correspondiendo el segundo vértice a que el segundo vehículo esté localizado al menos parcialmente dentro de la región; y,
 - usando el camino identificado, determinar rutas para los vehículos, proporcionando con ello las rutas primera y segunda.
- 20 2. Método según la reivindicación 1, en el que el método comprende además controlar, por parte de un controlador de vehículo (24) acoplado operativamente al o los procesadores (22), los vehículos de modo que el primer vehículo siga la primera ruta y el segundo vehículo siga la segunda ruta, procurando con ello que el segundo vehículo esté localizado al menos parcialmente dentro de la región (12).
3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el grafo (34) es un árbol.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el paso de construir el grafo comprende:
 - 25 inicializar el grafo mediante la determinación, usando las posiciones medidas de los vehículos, del primer vértice del grafo; y
 - realizar una o varias veces los pasos (i) a (iii), proporcionando con ello el grafo; en que
 - el paso (i) comprende muestrear el espacio de estado conjunto (X) de los vehículos para proporcionar otro vértice;
 - 30 el paso (ii) comprende proporcionar una arista que conecta el otro vértice a un vértice diferente del grafo; y
 - el paso (iii) comprende incluir el otro vértice y las aristas en el grafo.
5. Método según la reivindicación 4, en el que, para cada realización de los pasos (i) a (iii), una arista es incluida en el grafo sólo si, en caso de que los vehículos primero y segundo siguieran las rutas de vehículo definidas por esa arista, cada vehículo no colisionara con otro vehículo u objeto.
- 35 6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el paso de identificar el camino desde el primer vértice al segundo vértice comprende:
 - asignar, a uno o varios vértices dentro del grafo, uno o varios valores de confianza;
 - propagar, a lo largo de cada camino en el grafo, los valores de confianza de modo que se asignen a cada vértice en el grafo uno o varios valores de confianza, correspondiendo cada valor de confianza asociado a un vértice en el grafo a un camino único en el grafo que pasa a través de ese vértice;
 - 40 y seleccionar, sobre la base de uno o varios de los valores de confianza, un camino desde el primer vértice al segundo vértice.
7. Método según la reivindicación 6, en el que:
 - 45 un valor de confianza asignado al primer vértice es indicativo de una incertidumbre asociada a las medidas de las posiciones de los vehículos;

para cada vértice en el grafo distinto al primer vértice, un valor de confianza asignado a ese vértice es indicativo de una incertidumbre posicional de los vehículos si los vehículos siguieran una ruta especificada por un camino en el grafo desde el primer vértice a ese vértice; y

5 el paso de propagar los valor de confianza comprende ajustar uno o varios valores de confianza para tener en cuenta otras medidas de una posición de uno o ambos vehículos tomadas por el equipo de medida.

8. Método según la reivindicación 6 ó 7, en el que:

para cada vértice en el grafo distinto al primer vértice, un valor de confianza asignado a ese vértice es indicativo de un valor de coste asociado a que los vehículos sigan una ruta especificada por un camino en el grafo desde el primer vértice a ese vértice; y

10 el paso de identificar el camino desde el primer vértice al segundo vértice comprende:

identificar, a partir de un conjunto de valores de confianza asignados al segundo vértice, el valor de confianza correspondiente al valor de menor coste; e

identificar el camino desde el primer vértice al segundo vértice correspondiente al valor de confianza identificado.

15 9. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el paso de, usando el camino identificado, determinar rutas para los vehículos (4, 6) comprende:

aplicar un algoritmo de acortamiento de camino para el camino identificado de modo que sea proporcionado un camino acortado; y

20 determinar rutas para los vehículos especificadas por el camino acortado, proporcionando con ello las rutas primera y segunda;

en que el algoritmo de acortamiento de camino comprende:

seleccionar un vértice a lo largo del camino identificado de modo que sea proporcionado un primer vértice de camino;

25 seleccionar otro vértice a lo largo del camino identificado de modo que sea proporcionado un segundo vértice de camino, estando conectado el segundo vértice de camino al primer vértice de camino por al menos dos aristas;

determinar un primer valor de coste, siendo indicativo el primer valor de coste de un coste asociado a un camino dentro del camino identificado desde el primer vértice de camino al segundo vértice de camino;

30 proporcionar una arista adicional, teniendo la arista adicional como su vértice inicial el primer vértice de camino y como su vértice final el segundo vértice de camino;

determinar un segundo valor de coste, siendo indicativo el segundo valor de coste de un coste asociado a un camino desde el primer vértice de camino al segundo vértice de camino a lo largo de la arista adicional; y

35 dependiendo de los valores de coste primero y segundo, o bien:

descartar la arista adicional y mantener el camino identificado; o bien

modificar el camino identificado eliminando, del camino identificado, las aristas y los vértices en el camino identificado por el cual están conectados el primer vértice de camino y el segundo vértice de camino, e incluyendo, en el camino identificado, la arista adicional.

40 10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que uno o varios de los vehículos (4, 6) es un vehículo no tripulado.

11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el equipo de medida comprende uno o varios sistemas de medida seleccionados del grupo de: un sistema de radar, y un sistema de posicionamiento global.

45 12. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el proceso de determinación de rutas comprende aplicar un algoritmo de árbol de confianza aleatorio de exploración rápida para determinar la primera ruta para el primer vehículo y la segunda ruta para el segundo vehículo.

13. Equipamiento para determinar rutas para al menos dos vehículos, comprendiendo el equipamiento:

un equipo de medida (20) configurado para medir una posición de un primer vehículo y una posición de un segundo vehículo; y

5 uno o varios procesadores (22) acoplados al equipo de medida y configurados para, usando las medidas y usando una especificación de una región (12) que tiene una posición fija con relación al primer vehículo, realizar un proceso de determinación de rutas para determinar una primera ruta para el primer vehículo y una segunda ruta para el segundo vehículo;

en el que

el proceso de determinación de rutas comprende:

10 construir un grafo (34) dentro de un espacio de estado conjunto (X) de los vehículos, comprendiendo el grafo una pluralidad de vértices y una o varias aristas conectando estos vértices;

identificar, dentro del grafo construido, un camino desde un primer vértice del grafo (34) a un segundo vértice del grafo (34), correspondiendo el primer vértice a las posiciones medidas de los vehículos, y correspondiendo el segundo vértice a que el segundo vehículo esté localizado al menos parcialmente dentro de la región (12); y

15 determinar rutas para los vehículos especificadas por el camino identificado, proporcionando con ello las rutas primera y segunda.

14. Programa o pluralidad de programas organizados de tal modo que cuando son ejecutados por un sistema de ordenador o por uno o varios procesadores, él/ellos hacen que el sistema de ordenador o el o los procesadores operen de acuerdo con el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.

20 15. Medio de almacenamiento legible a máquina que almacena un programa o al menos uno de la pluralidad de programas según la reivindicación 14.

Fig. 1

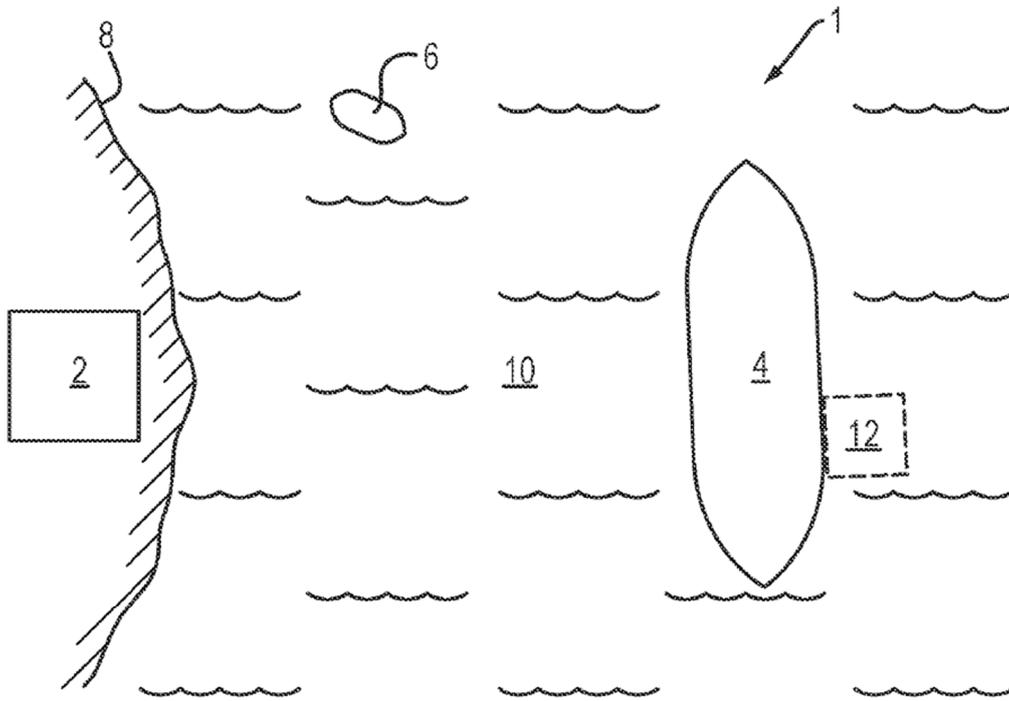


Fig. 2

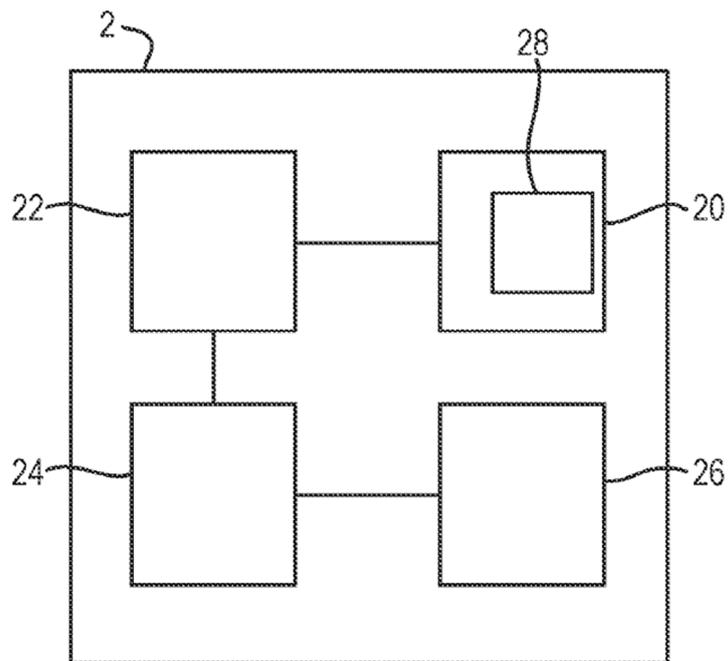


Fig. 3

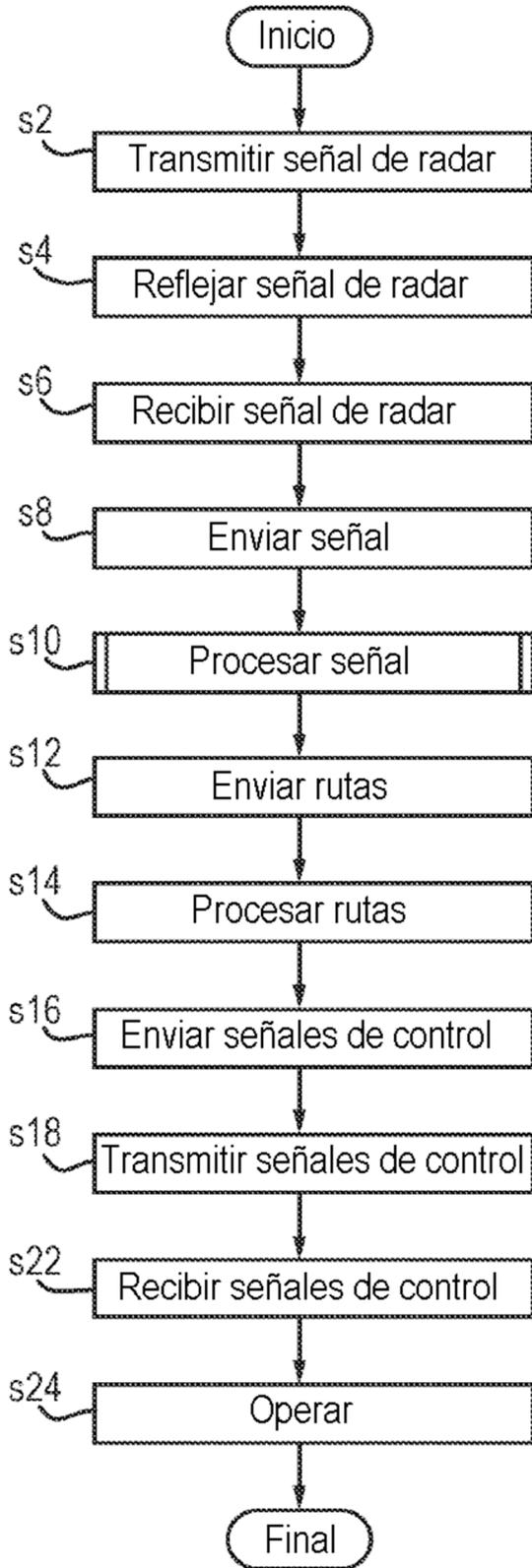


Fig. 4

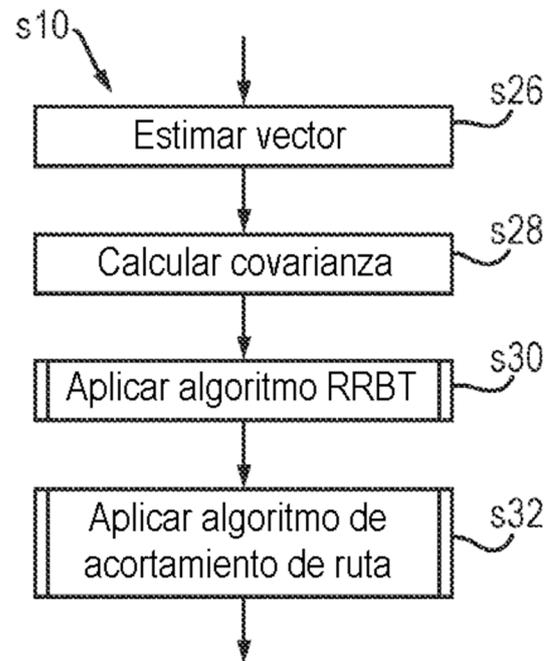


Fig. 5

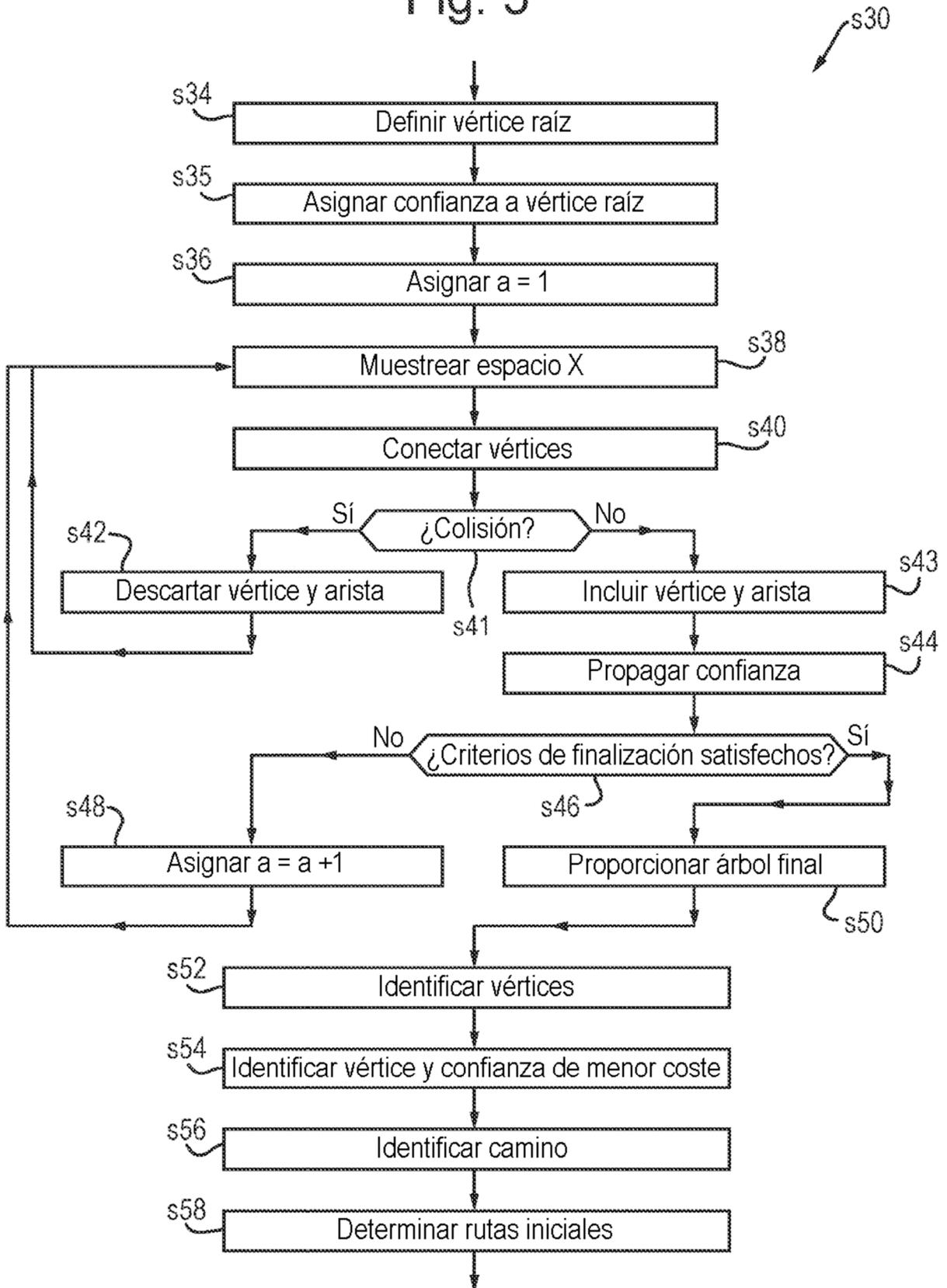


Fig. 6

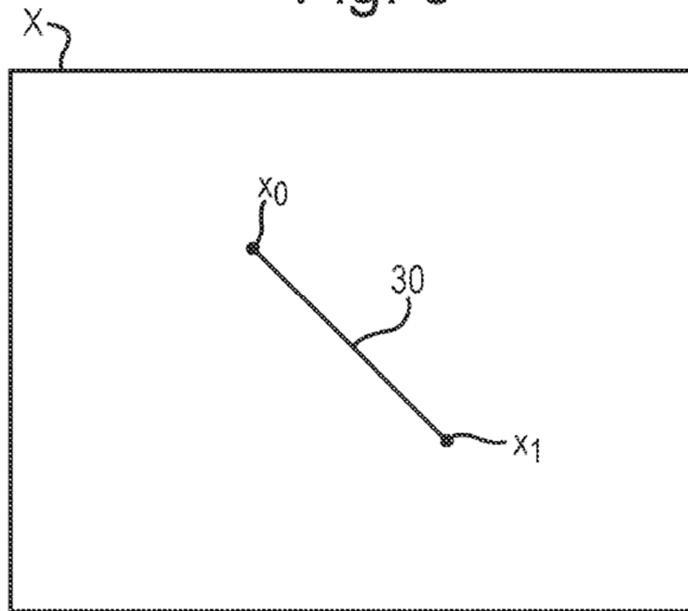


Fig. 7

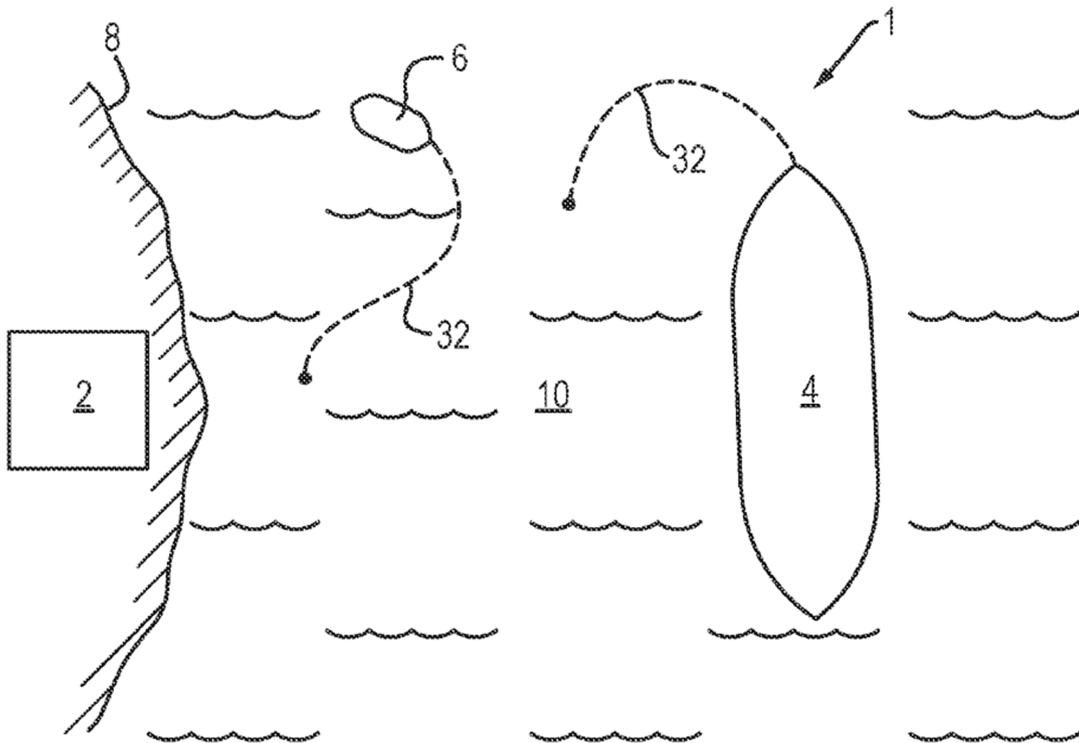


Fig. 8

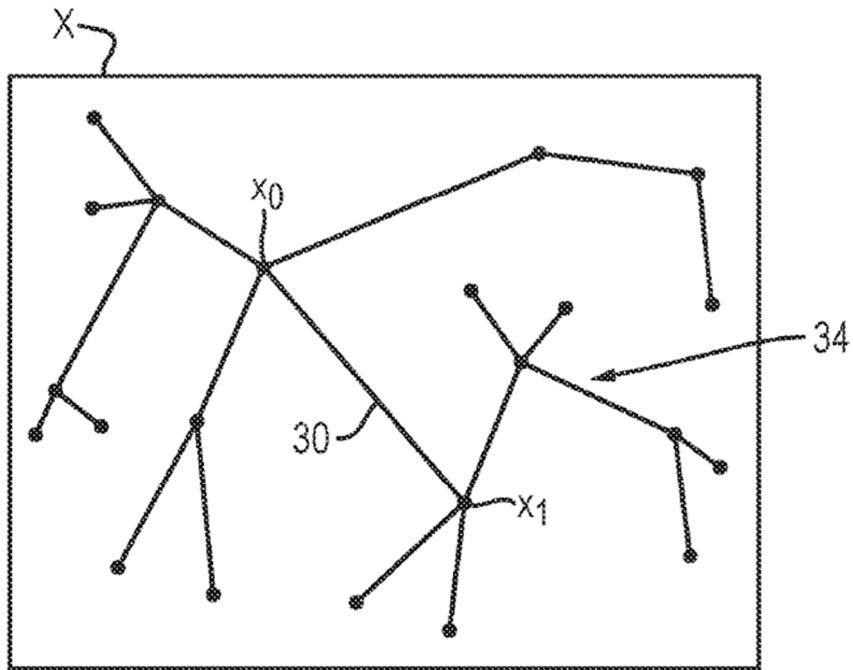


Fig. 10

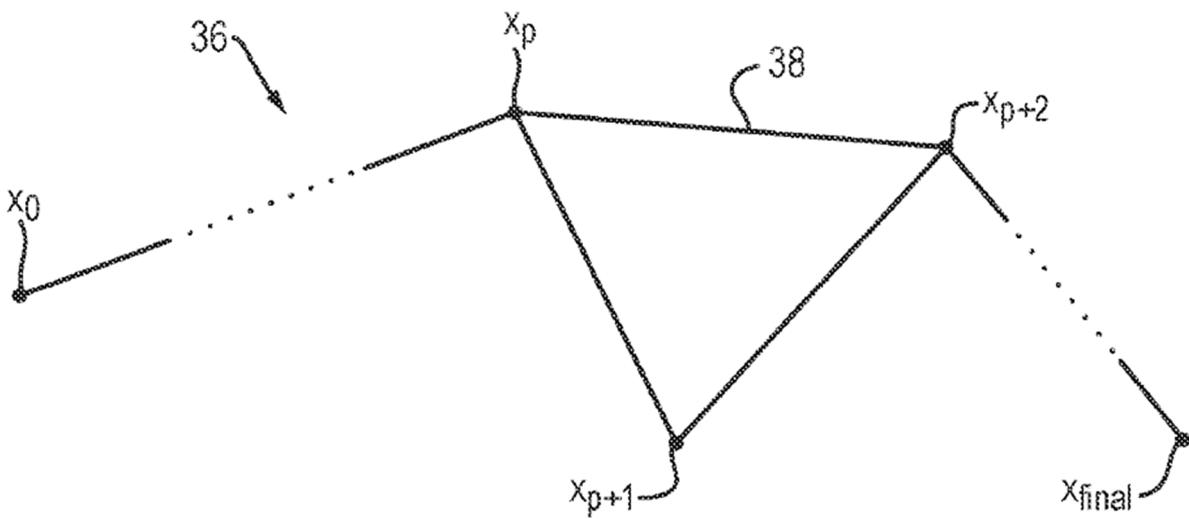


Fig. 9

