

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 514 441**

51 Int. Cl.:

G01C 21/00 (2006.01)

G06G 7/78 (2006.01)

G08G 5/04 (2006.01)

G01C 21/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.10.2003 E 03078219 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.08.2014 EP 1524500**

54 Título: **Procedimiento de planificación de una trayectoria**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.10.2014

73 Titular/es:

**SAAB AB (100.0%)
581 88 Linköping, SE**

72 Inventor/es:

LUNDBERG, KRISTIAN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 514 441 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de planificación de una trayectoria

Campo técnico

5 La presente invención versa sobre un procedimiento de planificación de una trayectoria para una exposición mínima a amenazas en una región geográfica dada.

Antecedentes de la invención

10 La planificación táctica de misiones para vehículos aéreos, por ejemplo los VANT o robots, en la que las misiones se llevan a cabo en blancos terrestres, es una tarea muy compleja. Cualquier desviación de la navegación a lo largo de una línea recta entre dos ubicaciones puede causar una desviación táctica, así como una desviación en el rendimiento de la navegación. Cuando se fija el itinerario de una trayectoria para una operación encubierta, es deseable fijar el itinerario de los recorridos de modo que se logre el máximo enmascaramiento topográfico. En particular, es deseable evitar las zonas muy visibles, como las cimas de cordilleras y amplios espacios abiertos. Sin embargo, una planificación ventajosa de rutas desde el punto de vista del terreno puede provocar una desventaja táctica debida, por ejemplo, a la exposición a amenazas o una desventaja debida al rendimiento de los sistemas de navegación.

15 Los datos digitales de elevación del terreno (DTED) son una representación digital de la topografía de una región geográfica. Los DTED pueden ser producidos a partir de fotografías tomadas por satélites u otros medios y pueden incluir datos digitales que representen altitudes y el tipo de terreno. Preferentemente, los datos se representan en una cuadrícula con igual separación entre los nodos.

20 Según la técnica anterior, se conoce la fijación del itinerario de recorridos de vuelos encubiertos usando DTED, de modo que el recorrido del vuelo esté siempre en la zona local más baja. Este procedimiento de fijación del itinerario se basa en la suposición de que el mejor enmascaramiento topográfico estará siempre en la elevación local más baja. Sin embargo, esta suposición no siempre es verdad y, por ello, el procedimiento de la técnica anterior con frecuencia tiene como resultado una fijación de itinerarios de recorridos de vuelos que no llega a ser óptima. Una desventaja significativa de este procedimiento de la técnica anterior es también que no interrelaciona el rendimiento táctico con el rendimiento del sistema de navegación.

30 La navegación del terreno, en la que se predice la posición real de un vehículo a partir de información del terreno disponible en el entorno presente y precedente, está convirtiéndose de forma creciente en una función integrada en los sistemas de navegación de vehículos. Esto aumenta la posibilidad de planificación de una trayectoria en un entorno alterado en el que no hay GPS disponible y para replanificar trayectorias durante una misión. Sin embargo, la replanificación de una trayectoria durante una misión no solo implica la replanificación desde un punto de vista de la navegación, sino también desde un punto de vista táctico. Los procedimientos conocidos de planificación de trayectorias no abordan satisfactoriamente este asunto.

35 El documento US 5 504 686 da a conocer un procedimiento de fijación del itinerario de un vuelo encubierto. El procedimiento divulgado implica la fijación del itinerario de un recorrido de vuelo encubierto a partir de datos digitales de elevación de terreno de una región geográfica. Se forma una superficie de costes a partir de una combinación ponderada de capacidad de ocultación y de vuelo en la zona dada. Se fija el itinerario del recorrido del vuelo en las zonas de la superficie de costes que son, a la vez, susceptibles de ocultación y de vuelo. Sin embargo, este procedimiento no tiene en cuenta el rendimiento del sistema de navegación en el cálculo de la ruta.

40 Por ello, la técnica anterior incluye diversas soluciones de planificación de trayectorias en función de datos del terreno. Sin embargo, no implican la funcionalidad completa del sistema de navegación en el problema de la optimización. Pueden incluir mapas para navegación del terreno, pero solo para mostrar una imagen estática de dónde se considera que la capacidad de vuelo en el terreno es baja, y no para integrar dinámicamente el rendimiento de la navegación ni el rendimiento táctico en la optimización de la trayectoria. Por lo tanto, las trayectorias logradas mediante los sistemas de planificación de la técnica anterior distan de estar optimizadas.

Sumario de la invención

Por lo tanto, el objeto de la presente invención es proporcionar una solución que palie las desventajas de la técnica anterior descritas más arriba.

50 Según un aspecto de la invención, estos objetos se logran por medio del procedimiento de planificación de una trayectoria en una región geográfica dada, en el que la trayectoria se planifica desde un primer nodo hasta un segundo nodo en una representación digital de la región geográfica. Se determina la exposición a amenazas para un vehículo que se desplace en una trayectoria desde el primer nodo hasta el segundo nodo. Se evalúa el rendimiento de los sistemas de navegación del vehículo que se desplaza por la trayectoria. Se estima una tasa de supervivencia basada en la exposición a amenazas determinada y en el rendimiento evaluado de los sistemas de navegación del

vehículo. Se planifica una nueva trayectoria desde el primer nodo hasta el segundo nodo hasta que se establece una trayectoria con la mejor tasa de supervivencia.

Por ello, la invención ofrece la ventaja con respecto a soluciones anteriores de tomar en consideración el rendimiento real de los sistemas de navegación de los vehículos cuando se evalúa la tasa de supervivencia.

5 Según una realización específica de la invención, el procedimiento de planificación de una trayectoria se lleva a cabo nodo por nodo. Se establece como nodo de inicio el primer nodo que tiene una tasa dada de supervivencia. Se selecciona un conjunto de nodos adyacentes en la representación digital. Se estiman la exposición a amenazas y el rendimiento de navegación de un vehículo que se desplace desde el nodo de inicio hasta cada nodo del conjunto de nodos adyacentes. Se estima una tasa de supervivencia para cada nodo del conjunto de nodos adyacentes basada en la tasa dada de supervivencia en el nodo de inicio y en la contribución de la exposición a amenazas y en el rendimiento de la navegación cuando se desplaza del nodo de inicio al nodo adyacente. Se lleva a cabo entonces la misma evaluación de la tasa de supervivencia para un nuevo conjunto de nodos de inicio, correspondiente el conjunto de nodos de inicio al conjunto anterior de nodos adyacentes. Se repite esta evaluación hasta que se ha establecido la tasa de supervivencia para todos los nodos en una multitud de trayectorias desde un primer hasta un segundo nodo. Cuando se ha establecido la mejor tasa de supervivencia para una trayectoria desde el primer nodo hasta el segundo, se escoge esta trayectoria como trayectoria preferente.

Según una realización preferente de la invención, el procedimiento de planificación de una trayectoria incluye formar un mapa de optimización del terreno indicativo de la exposición a amenazas en la región geográfica dada, y formar un mapa de navegación indicativo del rendimiento de navegación del vehículo mientras se desplaza en la región. Cada mapa se basa en una representación digital de la región geográfica con una estructura de cuadrículas con valores establecidos asignados a cada nodo en la estructura de cuadrículas. Los valores establecidos de cada nodo en el mapa de optimización del terreno y en el mapa de navegación se usan para estimar la mejor tasa de supervivencia.

Según otra realización preferente de la invención, el procedimiento de planificación de la trayectoria incluye planificar un recorrido minimizando la exposición a amenazas desde un primer nodo hasta un segundo nodo en el mapa de optimización del terreno. Se evalúa el rendimiento de la navegación a lo largo del recorrido desde el primer nodo hasta el segundo nodo en el mapa de navegación. Se ajusta la exposición a amenazas en el mapa de optimización del terreno con respecto al impacto del rendimiento de la navegación a lo largo del recorrido. Se estima una tasa de supervivencia para el recorrido, tras lo cual se selecciona un nuevo recorrido. Se repiten las etapas hasta que se selecciona un recorrido con la mejor tasa de supervivencia. Se planifica una trayectoria como una multitud de recorridos interconectados desde el primer nodo hasta el segundo nodo, seleccionándose la trayectoria como el conjunto de recorridos interconectados que proporciona la mejor tasa de supervivencia.

La invención también incluye un programa de ordenador directamente cargable en la memoria interna de un ordenador, que comprende un soporte lógico que, cuando está cargado en la memoria interna, hace que el ordenador lleve a cabo el procedimiento descrito en lo que antecede.

Breve descripción de los dibujos

Ahora va a explicarse la presente invención más estrechamente por medio de realizaciones preferentes, que son divulgadas como ejemplos, y con referencia a los dibujos adjuntos.

La Fig. 1 ilustra el impacto de un error de navegación en la exposición de un vehículo.

La Fig. 2 muestra, por medio de un diagrama de flujo, un procedimiento de planificación de una trayectoria según la invención.

La Fig. 3 ilustra esquemáticamente una realización preferente de la invención.

La Fig. 4 da a conocer esquemáticamente la determinación de la medición del terreno para un sistema de navegación.

La Fig. 5 da a conocer posibles transiciones de nodo desde un nodo i a capas de nodos locales.

Descripción de la realización preferente

40 Ahora se describirá una realización preferente con referencia a los dibujos adjuntos. En la realización preferente, la invención será descrita en relación con la planificación de una trayectoria para un vehículo aéreo. Sin embargo, la invención no está limitada a la planificación de trayectorias para vehículos aéreos. Es obvio para una persona experta en la técnica que el procedimiento según la invención también puede ser usado para planificar una trayectoria o una ruta para un vehículo submarino.

La Figura 1 da a conocer el impacto de un error de navegación en relación con la exposición a amenazas. Un vehículo 1 tiene una trayectoria planificada en una región geográfica dada ilustrada en un mapa 2. El error de

navegación para el vehículo puede ser ilustrado por una zona circular de error centrada en cada punto a lo largo de una trayectoria, según se ilustra en la Figura 1. Cualquier posición dentro de la zona de error podría ser una posible posición “verdadera” que afecte al terreno siguiendo prestaciones de vuelo, especialmente si la trayectoria de seguimiento del terreno se determina a partir de la base de datos digital de elevación del terreno. Es necesaria una adaptación conservadora del seguimiento del terreno, dado que debe examinarse cada dato de elevación de la zona. La mayor altitud dentro de la zona de error debe ser la altitud escogida en cada posición i a lo largo de la trayectoria planificada. Puede verse el efecto de esto en la Figura 1, en la que el error de navegación incluye la zona empinada que debe establecerse como la altitud en la posición i . Es obvio que esto también afecta a la exposición de un vehículo en esta posición a amenazas.

La planificación de una trayectoria para una exposición mínima a amenazas se basa en un mapa digital de elevación del terreno que describe la topografía en una región geográfica. En este documento se interpreta que terreno significa terreno sobre la tierra o bajo el agua. La invención se propone resolver un problema de hallazgo de un recorrido tanto para vehículos aéreos como para vehículos submarinos que naveguen por medio del terreno subacuático. El mapa de elevación del terreno se basa en información procedente de una base de datos de elevación que proporciona una representación diferenciada del terreno. El mapa es preferible en forma de una estructura de cuadrículas con mediciones de altitud asignadas a cada nodo de la estructura. En una realización preferente, la cuadrícula está dividida uniformemente en cuadrados de 50 metros.

La Figura 2 muestra, por medio de un diagrama de flujo, un procedimiento de planificación de una trayectoria según la invención. Una primera etapa 210 implica la introducción de datos. Los datos pueden incluir mapas en forma de un mapa de optimización del terreno, un mapa de navegación y un mapa de desviación. Los datos también incluyen información relativa a la exposición a amenazas y parámetros del sistema que influyen en el comportamiento de los sistemas de navegación. Los datos presentados en los mapas también pueden ser proporcionados, por supuesto, en una base de datos sin conexión con un mapa. En una etapa 220 de iniciación, se selecciona una primera trayectoria desde un primer nodo hasta un segundo nodo. En una etapa posterior 230 se determina la exposición a amenazas de un vehículo que se desplaza a lo largo de la trayectoria planificada. El rendimiento de la navegación del vehículo se evalúa en la etapa 240. La etapa incluye, además, el cálculo de una tasa de supervivencia para el vehículo basada en la exposición a amenazas y en el rendimiento de la navegación a lo largo de la trayectoria planeada. Se selecciona una nueva trayectoria desde el primer nodo hasta el segundo. Se repiten las etapas 230-240 hasta que se establece la mejor tasa de supervivencia para una trayectoria planificada. A continuación, se elige esta trayectoria en la etapa 250.

En una realización preferente de la invención, el procedimiento de planificación de una trayectoria se basa en generar varios mapas relacionados con la información del terreno, información táctica e información de navegación. La Figura 3 da a conocer información basada en el terreno, mapas por ejemplo, que puede ser introducida en el procedimiento de planificación y replanificación de una trayectoria. En una realización preferente de la invención, la información se representa en tres mapas: el mapa 31 de optimización del terreno, el mapa 33 de navegación y el mapa 32 de desviación. Se planifica una trayectoria preferente mediante una optimización dinámica en el mapa 31 de optimización del terreno, en el mapa 32 de desviación y en el mapa 33 de navegación, cada uno de los cuales es generado individualmente.

Mapa de optimización del terreno

El mapa 31 de optimización del terreno es indicativo de qué zonas de una representación gráfica digital dada de la elevación del terreno están más expuestas. El mapa 31 de optimización del terreno incluye datos digitales de elevación del terreno. El mapa se basa en una estructura de cuadrículas en la que cada nodo representa un valor establecido. El valor de cada nodo representa la elevación de la correspondiente ubicación geográfica en combinación con la probabilidad de quedar al descubierto y el escenario de amenazas en la misma ubicación. También pueden incluirse otros tipos de información en este mapa para visualizar un escenario de amenazas relacionado con parámetros del entorno del vehículo para el que se genera un recorrido de vuelo. El escenario de amenazas puede incluir diferentes tipos de amenazas relativos a la defensa antiaérea o a zonas en las que no se puede entrar debido a otros tipos de razones; por ejemplo, zonas no militares. El escenario de amenazas y el mayor riesgo de volar sobre estas zonas se incluyen en el mapa de optimización del terreno aumentando el valor en el respectivo nodo de la cuadrícula.

El mapa 31 de optimización del terreno también puede incluir información procedente de un mapa de visibilidad relativo a la visibilidad de un vehículo dentro del terreno circundante. El mapa de visibilidad se basa en la región geográfica real, preferentemente representada en un mapa de cuadrículas que tiene la misma resolución que el mapa de optimización del terreno. También pueden ser posibles, por supuesto, otras resoluciones.

El mapa 31 de optimización del terreno puede incluir información procedente de la generación de un mapa de visibilidad indicativo de zonas de visibilidad y ocultación dentro de la región geográfica. Esta información también puede representarse en un mapa de visibilidad, que es tratado por separado en combinación con el mapa de optimización del terreno. El mapa de visibilidad puede formarse a partir de los datos digitales de elevación del terreno. Para generar este mapa se realiza un cálculo para cada punto j del mapa digital de elevación del terreno.

Para un punto dado j dentro de la cuadrícula, se analiza un círculo de radio R . El valor escalar asignado a cada punto j describe la suma de la elevación del terreno en el círculo de análisis empezando desde el punto j . Si el terreno circundante es más elevado que el punto de análisis j , el valor total es grande y el punto de análisis no está muy al descubierto. Así, el valor escalar es bajo. Por el contrario, si el valor escalar es alto, el punto de análisis j está muy al descubierto y, por ello, no es recomendable en un recorrido planificado de vuelo. Pueden analizarse más amenazas de esta manera, y cada amenaza tiene su representación de la visibilidad asociada. El resultado de la generación del mapa de visibilidad, en una realización preferente, se incluye en el mapa de optimización del terreno.

Mapa de navegación

El mapa 33 de navegación puede ser representado como un mapa de cuadrículas con una medición del terreno en cada punto de la cuadrícula que describe la fiabilidad del sistema de navegación, cuando el vehículo está situado dentro de la respectiva zona de terreno. Así, el mapa de navegación proporciona información relativa a cómo responden al terreno real los sistemas de navegación y los sensores del vehículo. El mapa 33 de navegación proporciona información sobre si no están disponibles el GPS u otro tipo de equipos de radionavegación dentro de una zona dada. En la realización preferente, la resolución del mapa de navegación corresponde a la del mapa de optimización del terreno, pero también son posibles otras resoluciones.

Si se usa un sistema de navegación del terreno que compara datos procedentes del terreno real con datos procedentes de una base de datos digital de elevaciones para generar una posición estimada, el mapa de navegación incluye información relativa a la corrección de la posición estimada. Si el terreno está nivelado, sin accidentes distintivos, la traza medida del terreno será difícil de correlacionar con datos únicos de elevación del terreno. Si el terreno es más variado, aumenta la posibilidad de que el sistema de navegación del terreno facilite una posición estimada fiable. La fiabilidad de las posiciones estimadas depende mucho de las variaciones en el terreno, de la frecuencia y de la intensidad de las variaciones del terreno.

La Figura 4 da a conocer un procedimiento de determinación de la medición del terreno según la invención. Puede considerarse que la medición del terreno es una descripción estática del terreno que corresponde a la "realidad". La cartografía proporciona unas trazas perpendiculares primera y segunda 41, 42 que definen una superficie 43. El valor numérico de la determinación está dentro de la coordenada central en la Figura 4, la intersección entre las trazas. Dado que la medición del terreno se calcula a partir de una superficie, esta medición es una buena estimación para todas las direcciones que pasan por el nodo real. Otros medios para decidir la medición del terreno pueden ser estimar la información del terreno en varias direcciones y permitir que cada dirección esté representada por un valor escalar para la dirección real. Se obtiene un valor escalar más preciso por medio de un cálculo del valor medio de los valores escalares.

En la etapa 410 se calculan espectros como función de la frecuencia para cada traza del terreno en las direcciones x e y según:

$$p_{x,y}(f) = \int_0^{\infty} |h_{x,y}(t)|^2 dt \quad [1]$$

Los dos espectros $p_x(f)$, $p_y(f)$ son integrados en un intervalo de frecuencias que se considera relevante para el rendimiento del sistema de navegación, por ejemplo un sistema de navegación del terreno. En la etapa 420 se pondera el integrando con la frecuencia para aumentar la importancia de las frecuencias más elevadas. El resultado puede verse como una medición ponderada de la varianza en dos dimensiones. Se ha establecido la frecuencia f_w Hz de integración y ponderación con respecto al rendimiento de un sistema de navegación del terreno, por ejemplo TERNAV:

$$P_{x,yTERNAV} = \int_0^{f_w} \left(1 - \frac{f}{f_w}\right) \cdot p_{x,y}(f) df \quad [2]$$

Para generar una medición escalar del terreno, se establece el valor de la raíz de la suma de cuadrados en una etapa final 430:

$$P_{TERNAV}(x, y) = \sqrt{P_{xTERNAV}^2 + P_{yTERNAV}^2} \quad [3]$$

El mapa 33 de navegación soporta el hallazgo de recorridos desde un punto de vista de la navegación. El mapa 33 de navegación también puede usarse como condición secundaria durante la optimización para estimar cuán grande es el error de navegación en el que se puede incurrir en la optimización del perfil del terreno.

Mapa de desviación

El mapa 32 de desviación es un mapa con información relativa al error de navegación. El mapa 32 de desviación da a conocer la mayor exposición en el nodo j debida al error de navegación. Se minimiza la exposición en cada nodo de la cuadrícula volando tan cerca del terreno como sea posible. Por lo tanto, es importante estimar la altura más baja durante el vuelo. El nivel mínimo para la capacidad de vuelo se establece por medio de la topografía y el riesgo de chocar, por ejemplo, con árboles. En este sentido, el error de navegación es muy importante para fijar el nivel mínimo permitido. Si el error de navegación en cierto punto tiene el radio x , debe buscarse en la base de datos en este círculo para evitar una colisión con el terreno. La mayor altura dentro de este círculo es, así, la menor elevación actual del terreno para el seguimiento del terreno. Se repite este procedimiento para todos los puntos y para diferentes errores de navegación, por ejemplo 50, 100, 200, 400 y 800 m. Se lleva a cabo una interpolación entre estas representaciones de errores de navegación; el mapa multidimensional de desviación da a conocer la mayor elevación del terreno y la mayor exposición que pueden ser tratadas en la optimización.

Bucle de optimización

En el procedimiento según la invención, se optimiza una trayectoria desde un punto de inicio o una zona de inicio hasta un punto final o una zona final. Ambas situaciones son cubiertas por la presente descripción, que da a conocer la planificación de una trayectoria desde un nodo inicial hasta un nodo final, en la que el nodo puede representar una ubicación o una zona geográfica.

El procedimiento de la invención se inicia extrayendo un fragmento adecuado de un mapa e introduciendo la correspondiente parte del mapa 31 de optimización del terreno en una matriz de costes.

En una etapa 35 de optimización, algoritmos de optimización de la invención calculan el camino óptimo entre dos puntos o zonas en función del rendimiento táctico o de navegación. El algoritmo de la invención determina la reubicación menos cara desde el nodo inicial s hasta el nodo final t bajo varias condiciones primarias y secundarias. Las condiciones primarias incluyen:

- Minimizar el perfil de elevación y la visibilidad acumulados
- Minimizar las exposiciones a amenazas

Las condiciones secundarias incluyen:

- Establecer un punto inicial o una zona inicial y un punto final o una zona final
- Mantener el error de navegación por debajo de un nivel especificado
- Proporcionar un conjunto dado de puntos de interrupción
- No sobrepasar el factor de carga

El algoritmo minimiza el coste total $c(d_{ij}, t, n_{lat}, Av(n_{lat}), a_{lat})$, en el que

- la exposición a amenazas d_{ij} es el criterio principal que ha de minimizarse en la optimización
- el tiempo específico t puede ser usado para definir ventanas temporales en ciertas partes del mapa
- el error de navegación lateral n_{lat} define la relación entre el error de navegación y la exposición a amenazas
- el coste de desviación $Av(n_{lat})$ se genera a partir del error de navegación n_{lat} en los mapas de desviación
- la aceleración lateral a_{lat} define limitaciones de aceleración que no pueden ser sobrepasadas

La fórmula de recursión es:

$$c(j, t, n_{lat}, a_{lat}) = \min_i \left[d_{ij} + c(i, t_i, n_{lat}^i, a_{lat}^i) \mid t = t_i + t_{ij}, n_{lat}^j = n_{lat}^i + n_{ij}, a_{lat} = a_{lat}^i + a_{lat-ij} \right] \quad [4]$$

en la que d_{ij} representa la matriz de costes que representa el coste de desplazarse desde el nodo i hasta el nodo j en el mapa de optimización del terreno.

Para corresponder a la realidad descrita por un objeto dinámico que se desplaza sobre el terreno, debe establecerse un grupo local de arcos. El grupo se dispone según la Figura 5.

Para d_{ij} , la cuadrícula se divide en submatrices que representan arcos para la respectiva capa de nodos. En la Figura 5 se representan 16 arcos.

Para los arcos representados en la Figura 5, la matriz d_{ij} es, entonces,

el error de navegación para el TRN por medio del mapa 33 de navegación. Para cada punto j de la cuadrícula, con una longitud y una latitud dadas, hay un valor escalar Z_{TRN} que describe la respuesta del sistema TRN según la información del terreno. Este valor determina si el sistema TRN puede aportar una posición estimada y también la estimación del error real. La función $f_{TRN,Nav}$ también depende del tiempo t al descubierto para un valor específico Z_{TRN} de información de mapa, y también de si alguna demora temporal es relevante para el comportamiento del TRN. El error del sistema integrado de navegación es igual a error_TRN si no están disponibles GPS ni otros sensores de radionavegación.

Para asociar el rendimiento de navegación y el rendimiento táctico, se llevan a cabo las etapas siguientes en el módulo 34 de navegación para cada transición del nodo i al nodo j :

- 10 – el coste $c_{ideal}(j, t, n_{lat}, a_{lat})$ para una transición sin errores de navegación se determina según

$$c_{ideal}(j, t, n_{lat}, a_{lat}) = d_{ij} + c(i, t_i, n_{lat}^i, a_{lat}^i)$$
- el estado de navegación n_{lat}^j (el error de navegación en la ubicación j con el conjunto activo de sensores en la ubicación j) se actualiza usando la nueva posición para el nodo j y el antiguo estado de navegación n_{lat}^j calculando los errores de los sensores de navegación mediante información de la transición del vehículo y el mapa de navegación en el punto j . Una fusión general de sensores del sistema integrado de navegación determina el error de navegación en la ubicación j n_{lat}^j .
- 15 – el error de navegación y la posición geográfica son usados como entrada al mapa de desviación para representar el mayor grado de exposición como un coste $c_{exp}(posición, n_{lat}^j)$. En este caso, se representa en la dimensión de metros.
- 20 – el coste actualizado y correcto del nodo j es, entonces:

$$c(j, t, n_{lat}, a_{lat}) = c_{ideal}(j, t, n_{lat}, a_{lat}) + c_{exp}(posición, n_{lat}^j)$$

El mayor grado de exposición se suma al mapa 31 de optimización del terreno para determinar si el recorrido analizado hasta el punto local j es óptimo. La optimización del recorrido en la red prosigue con este bucle cerrado para todos los nodos.

25 La Figura 3 da a conocer esquemáticamente la realización preferente de la invención. Los mapas son generados inicialmente. El mapa 32 de desviación y el mapa 33 de navegación pueden ser generados de antemano para una zona muy grande. Se añaden información adicional tal como amenazas y sistemas deficientes de navegación al mapa 33 de navegación y el mapa de optimización del terreno cuando esta información está disponible.

Durante una etapa de iniciación del procedimiento de la invención, se desempaquetan secciones adecuadas de terreno de los mapas y se introduce el mapa 31 de optimización del terreno en la matriz de costes C_{ij}^{comp} . La fase de iniciación también incluye la introducción de parámetros específicos al rendimiento de la dinámica del vehículo y de ciertos equipos en el sistema de navegación, tales como el giróscopo, el acelerómetro, el GPS y el TRN.

35 El procedimiento recursivo se basa en hallar los arcos menos caros hacia los nodos que están interconectados en la cuadrícula. El coste de cada transición entre nodos es fijado en parte a partir del mapa de optimización del terreno, pero puede añadirse un coste adicional una vez que se ha recorrido el bucle de navegación. El bucle de navegación procesa datos que incluyen: la posición, la velocidad, los dos nodos $i-1$, $i-2$ visitados anteriormente, el estado de navegación en el nodo i en forma de sensores activos y errores de navegación. La mayor exposición derivada del error estimado de navegación en el nodo j se suma al coste anterior del arco de C_{ij}^{comp} para la transición del nodo i al nodo j . Ahora es posible determinar si el coste en el nodo j es óptimo o no; es decir, encontrar un recorrido hasta el nodo j .

40 Esta recursión prosigue hasta que se han recorrido todos los nodos y se alcanza el nodo final. Puede entonces extraerse el recorrido o ruta resultante.

El algoritmo de planificación es modular y resulta posible adaptarlo para planificar recorridos para múltiples vehículos.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de planificación de una trayectoria de una región geográfica dada en el que la trayectoria se planifica desde un primer nodo hasta un segundo nodo en una representación digital de la región geográfica, **caracterizado por**:
 - 5 i) seleccionar una trayectoria desde el primer nodo hasta el segundo nodo;
 - ii) determinar la exposición a amenazas para un vehículo que se desplace en una trayectoria desde el primer nodo hasta el segundo nodo;
 - iii) evaluar el rendimiento de los sistemas de navegación del vehículo para el vehículo que se desplaza a lo largo de la trayectoria;
 - 10 iv) estimar una tasa de supervivencia basada en la exposición a amenazas determinada y en el rendimiento evaluado de los sistemas de navegación del vehículo a lo largo de la trayectoria;
 - v) repetir las etapas i)-iv) hasta que se seleccione una trayectoria con la mejor tasa de supervivencia.

2. Un procedimiento de planificación de una trayectoria según la reivindicación **caracterizado**, además, **por**:
 - 15 i) establecer el primer nodo como nodo de inicio con una tasa dada de supervivencia;
 - ii) seleccionar un nodo adyacente en la representación digital;
 - iii) determinar la exposición a amenazas para un vehículo que se desplace desde el nodo de inicio actual hasta el nodo adyacente en la representación digital;
 - iv) evaluar el rendimiento de la navegación del vehículo que se desplaza desde el nodo de inicio hasta el nodo adyacente;
 - 20 v) estimar una tasa de supervivencia para el nodo adyacente basada en la tasa dada de supervivencia en el nodo de inicio, en la exposición a amenazas y en el rendimiento de la navegación;
 - vi) repetir las etapas ii)-v) hasta que se haya establecido una tasa de supervivencia para un conjunto predeterminado de nodos adyacentes;
 - vii) seleccionar un nodo de inicio del conjunto de nodos adyacentes y repetir las etapas ii)-vi) hasta que cada
 - 25 nodo del conjunto predeterminado de nodos adyacentes haya sido evaluado como nodo de inicio;
 - viii) repetir las etapas ii)-vii) hasta que se haya establecido la mejor tasa de supervivencia para la trayectoria desde el primer nodo hasta el segundo nodo.

3. Un procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2 **caracterizado**, además, **por** formar un mapa (31) de optimización del terreno que describa la exposición a amenazas en la región y un mapa (33) de navegación que describa el rendimiento de navegación del vehículo que se desplaza en la región, en el que cada mapa está basado en la representación digital de la región geográfica con una respectiva estructura de cuadrículas con valores establecidos asignados a cada nodo en la estructura de cuadrículas y basándose la estimación de la tasa de supervivencia en los valores establecidos en el mapa de optimización del terreno y en el mapa de navegación.
 - 35 4. Un procedimiento según la reivindicación 3 en el que los valores establecidos asignados a los nodos en el mapa (31) de optimización del terreno representan la exposición del vehículo a amenazas en el nodo.
 5. Un procedimiento según la reivindicación 3 en el que los valores establecidos asignados a los nodos en el mapa (33) de navegación representan una medición del terreno indicativa del rendimiento de la navegación.
 - 40 6. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3-5 en el que se forma un mapa (32) de desviación que es indicativo de una mayor exposición a amenazas con un mayor error de navegación, mapa de desviación que es una estructura multidimensional de cuadrículas basada en la representación digital de la región geográfica.
 7. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el procedimiento incluye, además, las etapas de:
 - 45 i) planificar un recorrido minimizando la exposición a amenazas desde un primer nodo hasta un segundo nodo en el mapa (31) de optimización del terreno;
 - ii) evaluar el rendimiento de la navegación en un correspondiente recorrido desde un primer nodo hasta un segundo nodo en el mapa (33) de navegación;
 - iii) ajustar la exposición a amenazas en el mapa (31) de optimización del terreno con respecto al impacto del
 - 50 rendimiento de la navegación cuando se desplaza desde el primer nodo al segundo;
 - iv) estimar una tasa de supervivencia para el recorrido;
 - v) repetir la etapa (i) hasta que se haya establecido un recorrido con la mejor tasa de supervivencia; y
 - vi) planificar una trayectoria como una multitud de recorridos interconectados, estableciéndose la tasa de supervivencia para cada conjunto de recorridos interconectados formando una trayectoria desde el primer
 - 55 nodo hasta el segundo nodo, y escogiéndose la trayectoria como el conjunto de recorridos interconectados que proporciona la mejor tasa de supervivencia.

8. Un programa de ordenador directamente cargable en la memoria interna de un ordenador, que comprende un soporte lógico que, cuando está cargado en la memoria interna, hace que el ordenador lleve a cabo el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

5

10

15

20

25

30

35

Fig 1

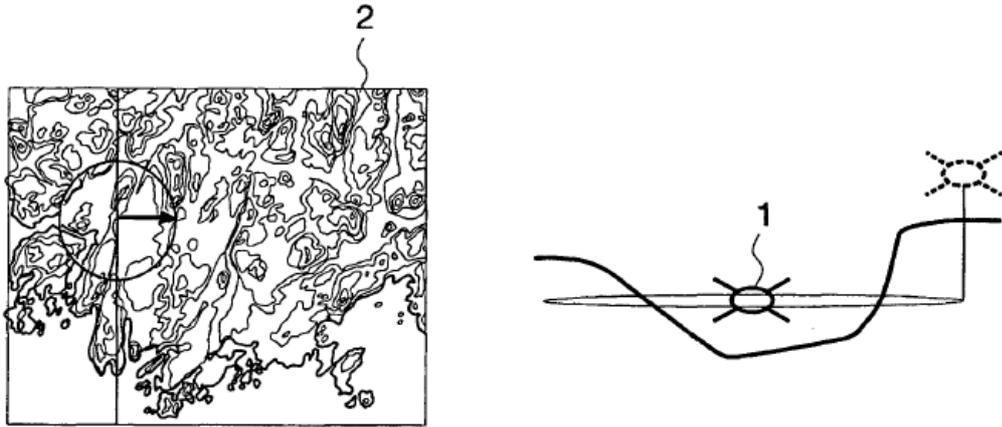


Fig 2

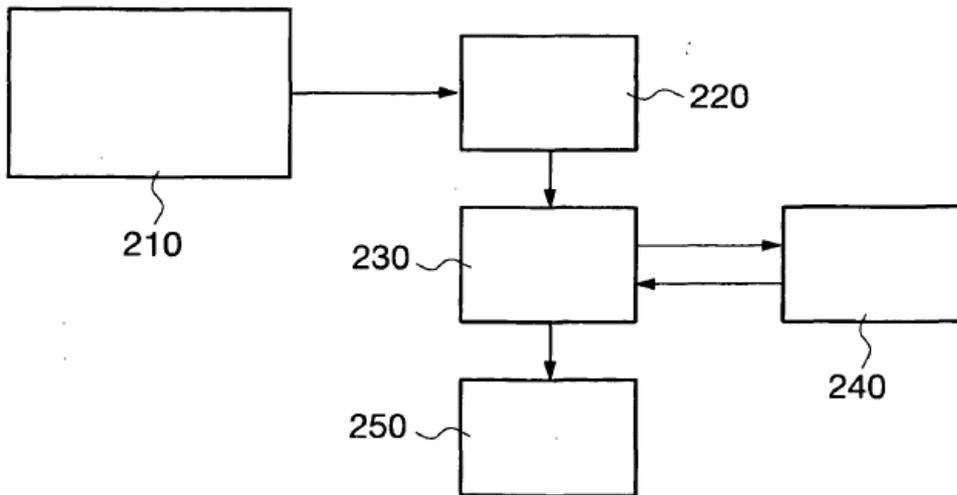


Fig 3

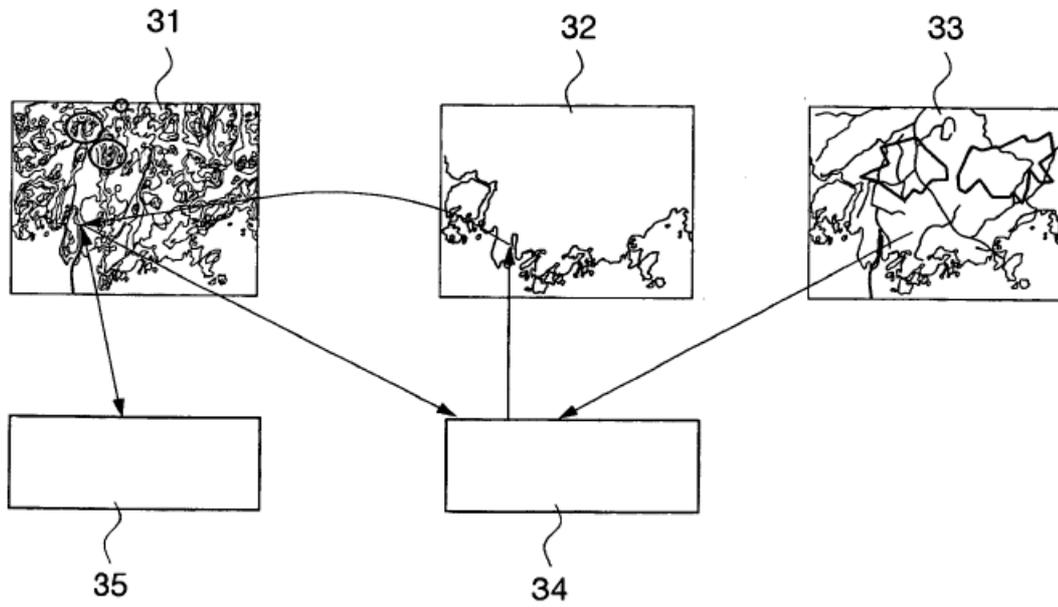
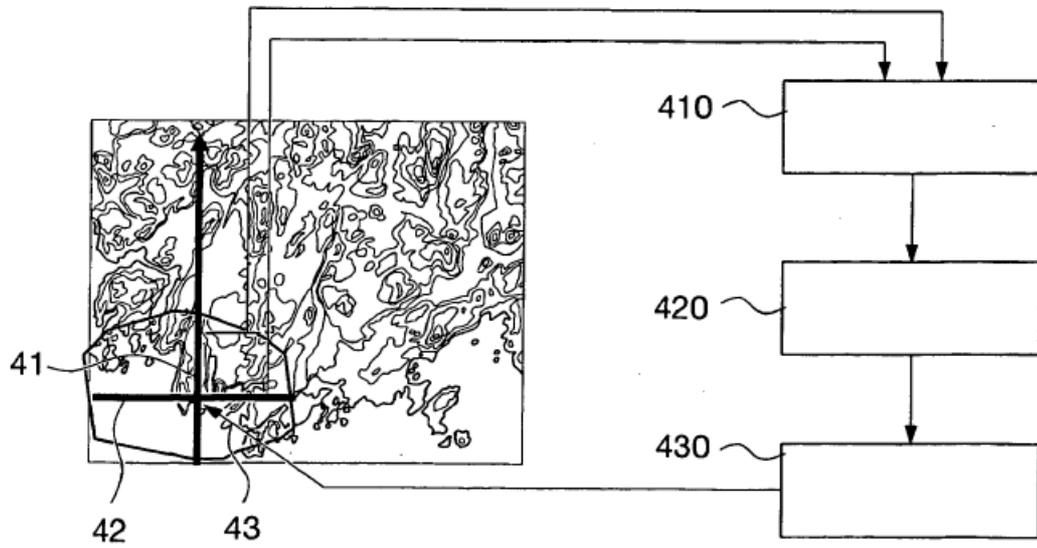


Fig 4



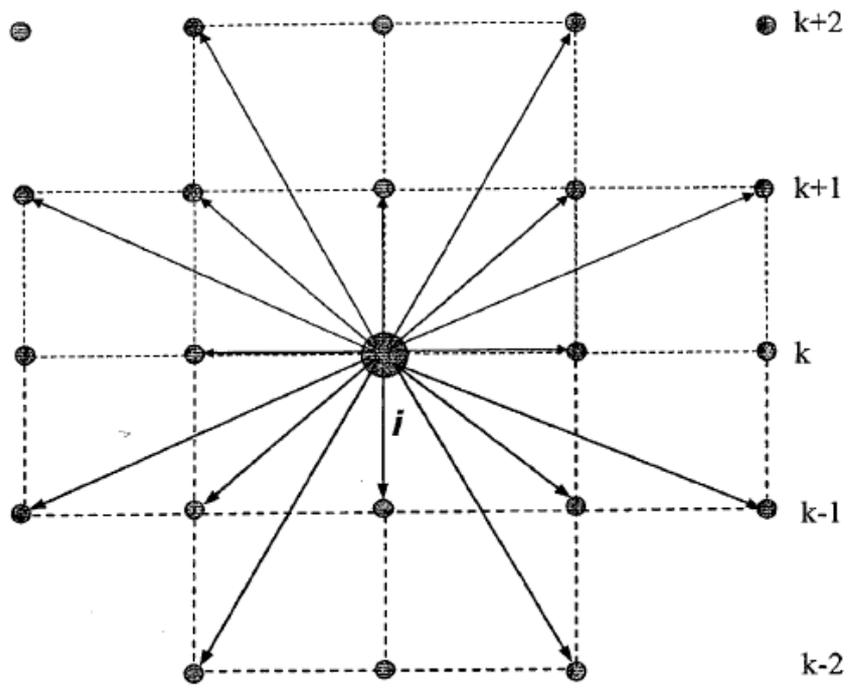


Fig 5