

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 501 167**

51 Int. Cl.:

**G01C 21/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2003 E 03737524 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.07.2014 EP 1476719**

54 Título: **Procedimiento y sistema para calcular una ruta de vuelo**

30 Prioridad:

**08.02.2002 SE 0200395**

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

**01.10.2014**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SJANIC, ZORAN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 501 167 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 y sistema para calcular una ruta de vuelo

### Área técnica

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un sistema para calcular una ruta de vuelo para una aeronave entre una primera posición y una segunda posición.

### Estado de la técnica

10 En el caso de, por ejemplo, misiones de reconocimiento o de combate, se prepara un plan de la misión normalmente antes del comienzo de la misión. En ese momento, los pilotos planifican sus rutas y las introducen en los ordenadores de su aeronave. La ruta introducida a continuación es mostrada en una unidad de pantalla dispuesta en la aeronave, con lo cual el piloto puede volar a lo largo de la ruta introducida. Si se produce un suceso inesperado durante el vuelo y obliga al piloto a desviarse de la ruta introducida, entonces el piloto normalmente debe intentar volver a la ruta introducida tan pronto como sea posible.

15 No siempre es factible volver a la ruta introducida después de una maniobra evasiva. Por ejemplo, el retorno podría requerir un desvío tan grande que el aprovisionamiento de combustible no fuese suficiente. También puede ser difícil volver a la ruta a causa de impedimentos que se encuentran en el trayecto, por ejemplo en forma de un radar hostil, terreno muy desigual, etc. Como resultado, existe la necesidad poder volver a planificar una misión mientras que la misión se está llevando a cabo.

20 El documento US 20010023390 A1 desvela que un número de funciones de navegación se llevan a cabo sobre el terreno del espacio de navegación. Se demuestra una realización preferida de la zona peligrosa dinámica definida por la altitud de vuelo. En una realización preferida, un conjunto de nodos de altura de terreno sobre una altitud mínima de vuelo es localizado y agregado. Algoritmos tales como el control de colisiones, límites de zonas montañosas y técnicas de aumento de región son desarrolladas como operaciones básicas de este modelo de terreno. Sin embargo, otra realización preferida con un enfoque gráfico de visibilidad para la selección de la ruta dinámica ha sido adaptado para reducir los requisitos de cálculo en tiempo real. Se han hecho estudios actuales en el que se han desarrollado soluciones de replanificación con lo que una nueva ruta es generada automáticamente durante el vuelo. Sin embargo, estas soluciones estudiadas están dificultadas por el inconveniente de que las nuevas rutas se pueden calcular en sólo dos dimensiones, es decir, se supone que la ruta se debe volar a una altitud constante. Esto implica que estas soluciones no pueden incluir la posibilidad de que se pueda volar por encima de terreno o de amenazas. Como resultado, las rutas replanificadas son característicamente largas y, a su vez, consumidoras de combustible.

### 30 Sumario de la invención

Uno de los propósitos de la invención es proporcionar un medio mejorado con respecto a la técnica conocida, para calcular una ruta de vuelo entre una primera posición y una segunda posición en la que se toma en cuenta una exposición a amenazas, y que también permite el cálculo de la ruta del vuelo, tanto vertical como horizontalmente.

Esto se ha logrado en una realización por medio de un procedimiento con las características de la reivindicación 1.

35 El procedimiento está concebido para su uso en aviones, por ejemplo, aviones de combate, aviones de reconocimiento y aviones no tripulados. El procedimiento es discreto en el tiempo, de manera que la función de coste para cada trayectoria de vuelo ensayada es calculada como una suma de los "costos" de un número de posiciones de cálculo a lo largo de la trayectoria de vuelo. En una realización de la invención sólo la primera posición de cálculo es registrada, después de lo cual se da como nueva posición actual y el procedimiento se repite como se ha descrito más arriba.

40 De acuerdo con una realización de la invención, las trayectorias de vuelo en el conjunto de trayectorias de vuelo se eligen sobre la base de una secuencia de señales de control asociadas a cada trayectoria de vuelo. Por razones técnicas asociadas con el proceso de cálculo, es ventajoso que las señales desde la segunda a la final en cada secuencia de señales de control se pongan a cero.

45 La función de coste comprende uno o más de los siguientes parámetros a) un primer parámetro que indica si la trayectoria de vuelo ensayada cruza una zona de amenazas predefinida, b) un segundo parámetro que indica si la trayectoria de vuelo ensayada pasa muy cerca de terreno, c) un tercer parámetro que indica si la trayectoria de vuelo ensayada excede de un valor de altitud predefinido, d) un cuarto parámetro que indica si la trayectoria de vuelo ensayada es costosa desde el punto de vista de consumo de combustible, y e) un quinto parámetro que indica la distancia a la segunda posición de la ruta.

50 Cuando sea necesario, el procedimiento puede ser complementado con una etapa de refinado en la que puntos registrados situados tan lejos uno del otro como sea posible, pero entre los cuales prevalece la visibilidad sin obstá-

culos, están marcados como puntos de interrupción, y en la que se selecciona la ruta como líneas rectas entre estos puntos de interrupción marcados.

5 La invención comprende también un sistema para realizar el procedimiento anterior. El sistema comprende una base de datos de terreno dispuesta de manera que almacene datos de terreno, incluyendo datos de latitud y de longitud con datos de altitud asociados o similares; una base de datos de amenazas dispuesta de manera que almacene datos relativos a las amenazas que incluyan al menos datos relativos a la extensión geográfica de las amenazas, y una primera unidad de cálculo que está conectada operativamente con la base de datos de terreno y con la base de datos de amenazas y dispuesta de manera que calcule de la ruta entre las posiciones primera y segunda.

10 En los casos en los que el sistema también está dispuesto para realizar la etapa de refinado, la primera unidad de cálculo, la base de datos de terreno y la base de datos de amenazas están conectadas operativamente a una segunda unidad de cálculo, que está dispuesta de manera que reciba la ruta de vuelo calculada por la primera unidad de cálculo y la refina, después de lo cual los puntos registrados que se encuentran tan lejos el uno del otro como sea posible, pero entre los que prevalece la visibilidad sin obstáculos, están marcados como puntos de interrupción, y de tal manera que la ruta es seleccionada como líneas rectas entre estos puntos de interrupción marcados.

15 El procedimiento y el sistema de acuerdo con la invención permiten la predicción de una ruta en tres dimensiones que toma una aeronave a un punto final con un riesgo mínimo de entrar en las zonas de amenazas, y a lo largo de la cual la aeronave puede volar tan bajo como sea posible sin riesgo de colisión con el terreno. El procedimiento es también altamente eficiente en cálculo, y se puede planificar una ruta generalmente en el curso de varios segundos.

### Breve descripción de las figuras

20 La figura 1 muestra un diagrama de bloques que ilustra un ejemplo de un sistema de planificación de misión, destinado a aeronaves.

La figura 2 muestra un diagrama de flujo que ilustra la función de la primera unidad de cálculo en el sistema en la figura 1.

25 La figura 3 muestra un diagrama de flujo que ilustra la función de la segunda unidad de cálculo en el sistema en la figura 1.

La figura 4 muestra un ejemplo de la ruta prevista por la primera unidad de cálculo y la ruta refinada calculada por la segunda unidad de cálculo.

### Realizaciones preferidas

30 El número de referencia 6 en la figura 1 designa un sistema para calcular una ruta de una aeronave entre una posición inicial y una posición final. El sistema 6 comprende una base de datos de terreno 1, una base de datos de amenazas 2, una primera unidad de cálculo 3 para el cálculo de una ruta preliminar, una segunda unidad de cálculo 4 para la modificación de la ruta preliminar, y una pantalla 5. El sistema 6 puede estar incorporado en su totalidad en la aeronave. Alternativamente, todo el sistema puede estar alojado en una estación de base en tierra (no mostrada), en cuyo caso los datos relativos a la posición actual (posición de inicio) de la aeronave y su objetivo final son comunicados a la estación de base en tierra a través de un enlace, después de lo cual la estación de base en tierra calcula una ruta y devuelve las coordenadas de esa ruta a la aeronave. En todavía otro ejemplo, algunas partes del sistema 6 están dispuestas en la estación de base en tierra, mientras que el resto están dispuesto en la aeronave. La aeronave puede ser, por ejemplo, un avión de reconocimiento militar, un avión de combate militar o un avión no tripulado. En la descripción que sigue, se utilizará un ejemplo ilimitado en el que la aeronave es un avión.

40 La base de datos de terreno 1 almacena datos de terreno para grandes extensiones de tierra. En un ejemplo, la base de datos de terreno 1 contiene datos de altitud almacenados a intervalos de 50 metros junto con los datos de latitud y de longitud asociados u otros similares. Los valores de altitud entre estos puntos de muestreo se pueden derivar por interpolación bilineal. Las amenazas se almacenan en la base de datos de amenazas 2. Cada amenaza tiene una posición geográfica. Un rango está vinculado también a cada amenaza. En un ejemplo en el que la amenaza es una estación de radar, un área de cobertura específica está relacionada con el radar. El tamaño y la orientación de la zona de cobertura son determinados por la potencia del radar y la forma en que se dirige. En otro ejemplo, la amenaza es un misil disparado desde una rampa de lanzamiento. El misil también tiene una posición geográfica y un rango.

50 La primera unidad de cálculo de ruta 3 está conectada a la base de datos de terreno 1 y la base de datos de amenazas 2. El estado de inicio y el estado final son introducidos en la unidad de cálculo 3. El estado de inicio define característicamente la posición actual de la aeronave, es decir, su posición de inicio, y está representado por, por ejemplo, la latitud, la longitud y la altitud. En esta realización ejemplar, la unidad de cálculo 3 puede estar conectada a un

receptor GPS que suministre los datos de latitud, longitud y altitud relevantes. El estado final se define como el objetivo final del avión, y representa, por ejemplo, una posición y orientación finales. La posición final es especificada mediante, por ejemplo, la latitud, longitud y altitud. Es ventajoso incluir una orientación en el estado final, porque el avión por lo general tiene que aterrizar en su objetivo final, con lo cual el avión debe aproximarse a la pista de aterrizaje desde un ángulo que permita que se realice un aterrizaje. El estado final es introducido a través de, por ejemplo, un dispositivo de entrada dispuesto en la cabina del piloto. Alternativamente, los datos del estado final pueden ser alimentados al avión a través de un enlace para la transmisión a la unidad de cálculo 3. La unidad de cálculo 3 calcula la ruta preliminar en base al estado inicial y al estado final introducidos, y a los datos de la base de datos de terreno y de la base de datos de amenazas. La ruta preliminar se alimenta a la segunda unidad de cálculo 4, que también está en comunicación con la base de datos de terreno 1 y con la base de datos de amenazas 2. La segunda unidad de cálculo 4 calcula la ruta modificada sobre la base de la trayectoria de vuelo preliminar introducida y los datos en la base de datos de terreno y en la base de datos de amenazas. La trayectoria de vuelo modificada se alimenta a la pantalla 5 para su presentación. La presentación de la trayectoria de vuelo se puede lograr, por ejemplo, mostrando los datos de coordenadas o por medio de una ilustración gráfica de la ruta en el terreno. La ruta modificada consiste característicamente en un número de puntos de interrupción, especificados en tres dimensiones, con trayectorias de vuelo rectas entre ellos.

En la figura 2 la unidad de cálculo 3 lee, 7, en primer lugar el estado de inicio y a continuación, 8, el estado final. En un ejemplo que no se muestra, los estados de inicio y final se leen en orden inverso. La unidad de cálculo 3 a continuación utiliza el denominado MPC (Control Predictivo de Modelos) en una forma modificada tal como se describe a continuación para determinar la ruta preliminar. Implementar el algoritmo de MPC requiere una descripción de estado para el sistema que se va a controlar. La descripción de estado para un modelo no lineal tiene la forma general:

$$x(k+1) = f(x(k), u(k))$$

$$u(k) \in U$$

En una realización simple, se utiliza un modelo de masa - punto de tres dimensiones con velocidad constante. La dirección del vector de velocidad del punto puede ser controlado por una señal de control que comprende un componente de señal de control  $u_\theta$  para la conversión en el plano vertical y un componente de señal de control  $u_\phi$  para la conversión en el plano horizontal. De acuerdo con este modelo de masa - punto simple, se utiliza el siguiente vector de estado  $x(k+1)$ :

$$x(k+1) = \begin{pmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \\ x_3(k+1) \\ x_4(k+1) \\ x_5(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \theta(k+1) = \theta(k) + \theta_0 u_\theta(k) \\ \phi(k+1) = \phi(k) + \phi_0 u_\phi(k) \\ x(k+1) = x(k) + s_0 \cos(\phi(k) + \phi_0 u_\phi(k)) \cos(\theta(k) + \theta_0 u_\theta(k)) \\ y(k+1) = y(k) + s_0 \sin(\phi(k) + \phi_0 u_\phi(k)) \cos(\theta(k) + \theta_0 u_\theta(k)) \\ z(k+1) = z(k) + s_0 \sin(\theta(k) + \theta_0 u_\theta(k)) \end{pmatrix}$$

Se hace notar que los estados  $x_3$ ,  $x_4$  y  $x_5$  en el ejemplo mostrado representan las coordenadas cartesianas  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , que representan por ejemplo, la latitud, la longitud y la altitud. Suponiendo que la velocidad es constante, se deduce que  $s_0$  es una constante que indica la distancia que se supone que la aeronave debe cubrir entre dos puntos de cálculo.  $s_0$  es, por lo tanto, una constante que depende de la velocidad de vuelo y del intervalo de muestreo. En una realización se elige el intervalo de muestreo de manera que  $s_0$  sea 200 - 300 m, por ejemplo, 250 m.  $\theta_0$  y  $\phi_0$  son constantes angulares predefinidas, en las que  $\theta_0$  indica un ángulo en el plano vertical y  $\phi_0$  indica un ángulo en el plano horizontal. Por ejemplo,  $\theta_0 = \pi/24$  rad y  $\phi_0 = \pi/12$  rad. Para simplificar los cálculos subsiguientes, se asume que las señales de control  $u_\theta$ ,  $u_\phi$  sólo pueden asumir un número de valores predefinidos. Todos los estados en la matriz de estado son medibles.

En la determinación de la ruta preliminar, se utiliza una función de coste en la siguiente etapa 9 en la figura 2.

$$J(k) = \sum_{j=k}^{k+N-1} g^T(j|k) Q_1 g(j|k) + Q_2 h(j|k)$$

en la que, en un ejemplo,  $g(j|k)$  y  $h(j|k)$  se eligen de la siguiente manera:

$$g(j|k) = \begin{bmatrix} x(j|k) - x_{fin} \\ y(j|k) - y_{fin} \\ z(j|k) - z_{fin} \end{bmatrix}$$

$$h(j|k) = \begin{bmatrix} terr(x(j|k), y(j|k), z(j|k)) \\ amenaza(x(j|k), y(j|k), z(j|k)) \\ altura(z(j|k)) \\ combustible(\theta(j|k)) \end{bmatrix}$$

5  $x_{fin}, y_{fin}, z_{fin}$  representan las coordenadas para el estado final (en la matriz de estado, los estados finales para  $x_3, x_4, x_5$ ), y por lo tanto aquí realizan la función de una señal de referencia constante. Las funciones  $terr(x, y, z)$  y  $amenaza(x, y, z)$  producen el valor 1 si la posición  $x(j|k), y(j|k), z(j|k)$  determinada a partir de los estados  $x_3, x_4, x_5$  se encuentra situada por debajo de terreno o en una zona de amenazas, mientras que producen el valor 0 si ese no es el caso. En una realización expandida, se realiza una determinación en cuanto a si, en el caso dado, la posición se encuentra en una zona de amenazas si la denominada sombra de radar prevalece, es decir, si existe una línea de visión entre la amenaza y el punto, o si el terreno se interpone. Si la sombra de radar prevalece, entonces  $amenaza(x, y, z)$  dará el valor 0, incluso si la posición se encuentra en una zona de amenazas. La función  $altura(z)$  da el valor 1 si el avión sube por encima de una altitud predeterminada  $z_{max}$ , y el valor 0 si este no es el caso. La altitud predeterminada  $z_{max}$  se establece con el fin de impedir que la aeronave vuele innecesariamente alta, con el riesgo asociado a lo mismo, sobre un área tan grande como sea posible. La función  $combustible(\theta(j|k))$  indica el consumo de combustible de acuerdo con un modelo simple, por ejemplo:

$$combustible(\theta(j|k)) = s_0 e^{c\theta(j|k)}$$

en la que  $c$  es una constante con un valor predefinido. Al menos cuando el avión comienza a acercarse a su objetivo final, su orientación también debe incluirse en la función de coste si el avión debe realizar un aterrizaje.

20 La función de coste  $J(k)$  se evalúa para un horizonte de predicción predefinido  $N$ . Por ejemplo, se elige el horizonte de predicción de manera que la función de coste se minimice en un segmento de vuelo de 5 - 20 km. En un ejemplo en el que  $s_0 = 250$  m y  $N = 50$ , la función de coste es minimizada en un segmento de vuelo de 12,5 km. El segmento de vuelo que se evalúa característicamente es sustancialmente más corto que la distancia entre la posición inicial y la posición final.

25 Cuando se evalúa la función de coste, se ejecuta un ensayo para determinar qué valores proporciona la función para unas señales de control predefinidas  $x, u_\theta, u_\phi$  con lo cual se elige la señal de control  $u_\theta, u_\phi$  que minimiza la función de coste. En un ejemplo  $U = (-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)$ , en este ejemplo la señal de control  $u_\theta, u_\phi$  puede asumir 49 valores diferentes  $(-3, -3), (-3, -2) \dots$ ). Para reducir la carga de cálculo, un horizonte de señal de control  $M$  también se fija igual a 1. Esto significa que sólo la predicción de la señal de control primera  $u(k|k)$  está optimizada, al resto de las señales de control  $u(k+j|k), j = 1, \dots, N-1$  se les da el valor 0. De esta manera la función de coste  $J(k)$  es evaluada a lo largo de los radios en un cono en el espacio tridimensional. Cada radio representa una trayectoria de vuelo potencial cuya longitud depende del horizonte de predicción  $N$  y del intervalo de muestreo. El número de trayectorias de vuelo para los que se calcula la función de coste se puede limitar para reducir aún más la carga de cálculo.

$Q_1$  y  $Q_2$  en la función de coste  $J(k)$  son las matrices de ponderación que se definen como sigue:

$$35 \quad Q_1 = \alpha I$$

$$Q_2 = [\beta_1 \ \beta_2 \ \beta_3 \ \beta_4]$$

40 La manera en la que los valores de las matrices de ponderación han de ser elegidos no cae dentro del alcance de esta solicitud, pero en términos generales, el valor de  $\beta_1$ , que determina la ponderación para que el avión no se estrelle contra el terreno, está situado muy alto, mientras que  $\beta_2$ , que determina la ponderación para que el avión no vuele en una zona de amenazas se establece, en general, en un valor más bajo. Por ejemplo, el valor de  $\beta_2$  puede

depender de la naturaleza de la amenaza. El valor de  $\beta_3$ , que indica la ponderación acordada para no volar demasiado alto, también es sustancialmente más bajo que el valor de  $\beta_1$ . Por otro lado, el valor de  $\beta_4$ , que indica la ponderación acordada para no agotar el combustible, se establece de manera que el riesgo de peligro debido al agotamiento de combustible antes de que la misión se haya completado, es minimizado.

- 5 En resumen, la señal de control  $u_\Theta, u_\varphi$  que minimiza la función de coste  $J(k)$  se determina en la etapa 9. También se calcula una trayectoria de vuelo asociada con la señal de control determinada. En una etapa siguiente 10, las coordenadas  $x(k+1), y(k+1), z(k+1)$  que han producido el valor más bajo de  $j(k)$  en la etapa 9 son registradas. Si la distancia entre la posición  $x(k+1), y(k+1), z(k+1)$  y la posición final  $x_{fin}, y_{fin}, z_{fin}$  supera la distancia  $d$  dada, una etapa 11,  $k = k + 1$  se añade, después de lo cual se repite el proceso desde la etapa 9.
- 10 El vector de trayectoria que se introduce como entrada a la segunda unidad de cálculo 4 se compone de un número relativamente grande, designado aquí como  $R$ , de puntos de interrupción, en el que la distancia entre los puntos de interrupción es  $s_0$ . Como se ha indicado más arriba,  $s_0$  es característicamente 200 - 300 m. La segunda unidad de cálculo se dispone con el fin de crear una ruta que consta de un número reducido de puntos de interrupción al funcionar como en el esquema que se muestra en la figura 3.
- 15 En una primera etapa 13, se realiza una determinación en cuanto a si existe una línea de visión entre el punto de inicio  $P_1 = x(1), y(1), z(1)$  y el punto final  $P_2 = x(n=R), y(n=R), z(n=R)$ . Una línea de visión se define como la línea recta entre dos puntos que no pasa a través de terreno o zonas de amenazas. Si la línea de visión no es obstruida, entonces un punto más cercano al punto de inicio  $P_1$  se elige, con lo cual se hace una determinación de nuevo con respecto a si existe una línea de visión sin obstáculos entre los puntos  $P_1$  y  $P_2$ . Este proceso se repite hasta
- 20 que se encuentre un punto  $P_2$  en el que la línea de visión a  $P_1$  no tenga obstrucciones. En el ejemplo que se muestra en la figura,  $n$  se reduce, 14, en incrementos de una única etapa, haciéndose una determinación cada vez con respecto a si existe una línea de visión sin obstáculos. Será evidente para un experto en la técnica que existen procedimientos que pueden ser más eficiente que la disminución en incrementos de una etapa desde la posición final cuando se busca el punto  $P_2$  que se encuentra más alejado de  $P_1$  pero que todavía ofrece una línea de visión sin
- 25 obstáculos. La invención no se debe considerar limitada al procedimiento para encontrar  $P_2$  que se ha descrito en la presente memoria descriptiva.

- Una vez que se ha encontrado la línea de visión sin obstáculos entre el par de puntos  $P_1, P_2$ , las coordenadas para el par de puntos se almacenan. Si el punto  $P_2$  no coincide con el punto final  $x_{fin}, y_{fin}, z_{fin}$  para la misión, entonces se repite el proceso con el fin de encontrar una línea de visión entre  $P_2$  y un punto  $P_3$ , en el que inicialmente  $P_3 = x(n=R), y(n=R), z(n=R)$ . Si no hay una línea de visión sin obstáculos entre  $P_2$  y  $P_3$ , entonces  $n$  es disminuida en incrementos de una etapa como antes, con lo cual se hace una determinación en cuanto a si existe una línea de visión sin obstáculos. Cuando se ha encontrado un punto  $P_3$  que tiene una línea de visión sin obstáculos a  $P_2$ , se hace una determinación, 16, en cuanto a si  $P_3$  coincide con el punto final de la misión. Si este no es el caso, el proceso anterior se repite hasta que se encuentran todos los puntos de interrupción  $P_1, P_2, \text{etc.}$ , para la ruta refinada. Los puntos
- 30 de interrupción refinados  $P_1, P_2, \text{etc.}$ , determinados en la segunda unidad de cálculo 4 se entregan, 17, a la pantalla 5.

- La referencia 20 en la figura 4 designa la posición de inicio y la referencia 21 la posición final de la ruta. La ruta preliminar 18 calculada por la primera unidad de cálculo 3 y la ruta refinada 19 calculada por la segunda unidad de cálculo 4 están marcadas entre la posición de inicio 20 y la posición final 21. Además de contener un número limitado de puntos de interrupción en relación con la ruta preliminar, la ruta refinada es también más corta que la ruta preliminar. Esto es atribuible al hecho de que la ruta preliminar se calcula utilizando un horizonte de predicción limitado. Las zonas de amenazas 22, 23 por lo tanto no se detectan hasta que caen dentro del horizonte de predicción, de manera que los resultados conducen, en ciertas situaciones, a que la ruta preliminar no sea la ruta más corta concebible.

45

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para uso en un sistema (6) para calcular una ruta de vuelo (18,19) entre una primera posición (20) que está representada por la latitud, longitud y altitud y una segunda posición (21) que está representada por la latitud, longitud y altitud, que comprende las etapas de:
  - 5 - los datos del terreno, incluidos los datos de latitud y longitud con los datos de altitud asociados o similares son almacenados en una base de datos de terreno (1);
  - los datos relativos a las amenazas, incluyendo por lo menos los datos relativos a la extensión geográfica de las amenazas, son almacenados en una base de datos de amenazas (2);

**que se caracteriza porque** la primera posición (20) se elige inicialmente como la posición actual, y **porque** las siguientes etapas se repiten hasta que se alcanza la segunda posición (21):

  - 10 - una función de coste  $J(k)$  es evaluada para un horizonte de predicción predefinido  $N$  a lo largo de los radios en un cono en el espacio tridimensional correspondiente a cada trayectoria de vuelo en un conjunto de trayectorias de vuelo potenciales que están predefinidas en relación con la dirección actual de vuelo, en el que la función de coste  $J(k)$  de cada trayectoria de vuelo ensayada se determina como una suma de los costes para un número de posiciones de cálculo a lo largo de la trayectoria de vuelo, en el que la función de coste ( $J(k)$ ) incluye al menos un subconjunto de los siguientes parámetros:
    - 15 - un primer parámetro que indica si la trayectoria de vuelo ensayada cruza zonas de amenazas predefinidas;
    - 20 - un segundo parámetro que indica si la trayectoria de vuelo ensayada pasa demasiado cerca del terreno;
    - un tercer parámetro que indica si la trayectoria de vuelo ensayada supera un valor de altitud predefinido;
    - un cuarto parámetro que indica si la trayectoria de vuelo ensayada es costosa desde el punto de vista de consumo de combustible;
    - 25 - un quinto parámetro que indica la distancia a la segunda posición de la ruta;
  - una trayectoria de vuelo que produce el valor más ventajoso de la función de coste  $J(k)$  se selecciona en base a la posición actual y a la segunda posición (21), en los datos en la base de datos de terreno y en la base de datos de amenazas;
  - 30 - las coordenadas de la primera posición de cálculo delante del número de posiciones de cálculo a lo largo de la trayectoria de vuelo son registradas para la trayectoria de vuelo seleccionada (10), y
  - las coordenadas de la primera posición de cálculo delante del número de posiciones de cálculo a lo largo de la trayectoria de vuelo para la trayectoria de vuelo seleccionada (10) se eligen como la nueva posición actual (11).
- 35 2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **que se caracteriza porque** las trayectorias de vuelo en el conjunto de trayectorias de vuelo se seleccionan sobre la base de una secuencia de señales de control predefinidas pertenecientes a cada trayectoria de vuelo, en el que la señal de control de la secuencia de señales de control comprende un componente de señal de control para la conversión en el plano vertical y un componente de la señal de control para la conversión en el plano horizontal.
- 40 3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **que se caracteriza porque** la señal segunda hasta la final en cada secuencia de señales de control se ponen a cero.
4. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **que se caracteriza porque** después de que la ruta de vuelo se haya calculado entre la primera (2) y la segunda (21) posición, la ruta calculada es refinada en una etapa de refinado, en la que los puntos registrados que se encuentran tan lejos el uno del otro como sea posible, pero entre los que prevalece la visibilidad sin obstáculos, están marcados como puntos de interrupción y **porque** la ruta (19) se elige como líneas rectas entre estos puntos de interrupción marcados.
- 45 5. Un sistema para calcular una ruta de vuelo (18,19) para una aeronave entre una primera posición (20) que está representada por la latitud, longitud y altitud y una segunda posición (21) que está representada por la latitud, longitud y altitud, **que se caracteriza porque** el sistema comprende:

- una base de datos de terreno (1) dispuesta para almacenar los datos de terreno, incluyendo datos de latitud y de longitud con los datos de altitud asociados o similares;
- una base de datos de amenazas (2) dispuesta para almacenar datos relativos a amenazas, incluyendo, al menos, los datos relativos a la extensión geográfica de las amenazas;

5 **que se caracteriza porque comprende:**

- una primera unidad de cálculo (3) que está conectada operativamente a la base de datos de terreno (1) y a la base de datos de amenazas (2) y dispuesta de manera que calcule la ruta (18) entre las posiciones primera y segunda, con lo cual la primera unidad de cálculo opera de acuerdo con un esquema predeterminado, en el que la primera posición es seleccionada inicialmente como la posición actual, y en el que las siguientes etapas se repiten hasta que se alcanza la segunda posición:
- una función de coste  $J(k)$  es evaluada para un horizonte de predicción  $N$  predefinido a lo largo de los radios en un cono en el espacio tridimensional correspondiente a cada trayectoria de vuelo en un conjunto de trayectorias de vuelo potenciales que están predefinidas en relación con la dirección actual de vuelo, en el que la función de coste  $J(k)$  para cada trayectoria de vuelo ensayada se determina como una suma de los costes para el cálculo de un número de posiciones a lo largo de la trayectoria de vuelo, en el que la función de coste ( $J(k)$ ) incluye al menos un subconjunto de los siguientes parámetros:
  - un primer parámetro que indica si la trayectoria de vuelo ensayada cruza zonas de amenazas predefinidas;
  - un segundo parámetro que indica si la trayectoria de vuelo ensayada pasa demasiado cerca del terreno;
  - un tercer parámetro que indica si la trayectoria de vuelo ensayada excede de un valor de altitud predefinido;
  - un cuarto parámetro que indica si la trayectoria de vuelo ensayada es costoso desde el punto de vista de consumo de combustible;
  - un quinto parámetro que indica la distancia a la segunda posición de la ruta;
- una trayectoria de vuelo que produce el valor más ventajosa para la función de coste  $J(k)$  se selecciona en base a la posición actual y a la segunda posición (21), a los datos en la base de datos de terreno y en la base de datos de amenazas;
- las coordenadas de la primera posición de cálculo delante del número de posiciones de cálculo a lo largo de la trayectoria de vuelo están registradas para la trayectoria de vuelo seleccionado (10), y
- las coordenadas de la primera posición de cálculo delante del número de posiciones de cálculo a lo largo de la trayectoria de vuelo de la trayectoria de vuelo seleccionada (10) se eligen como la nueva posición actual (11).

6. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 5, **que se caracteriza porque** la primera unidad de cálculo (3), la base de datos de terreno (1) y la base de datos de amenazas (2) están conectadas operativamente a una segunda unidad de cálculo (4), que está dispuesta de manera que reciba la ruta de vuelo calculada por la primera unidad de cálculo (3) y la refina, con lo cual los puntos registrados que se encuentran situados tan lejos uno del otro como sea posible, pero entre los que prevalece la visibilidad sin obstáculos, se marcan como puntos de interrupción y **porque** la ruta (19) se elige como líneas rectas entre estos puntos de interrupción marcados.

7. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, **que se caracteriza porque** todo el sistema está implementado en la aeronave.

8. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, **que se caracteriza porque** el sistema está implementado en parte en la aeronave y en parte en una estación en tierra, con lo cual los datos son comunicados entre la aeronave y la estación base en tierra a través de un enlace.

45



Fig 1

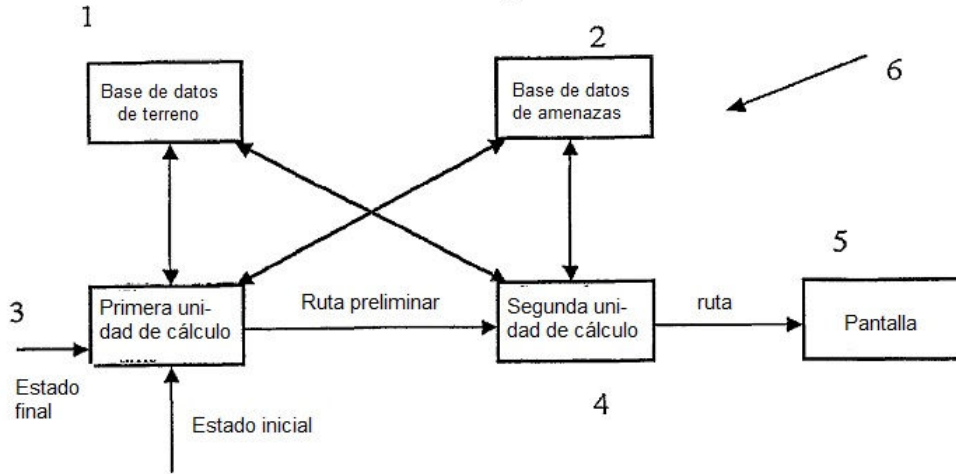


Fig 4

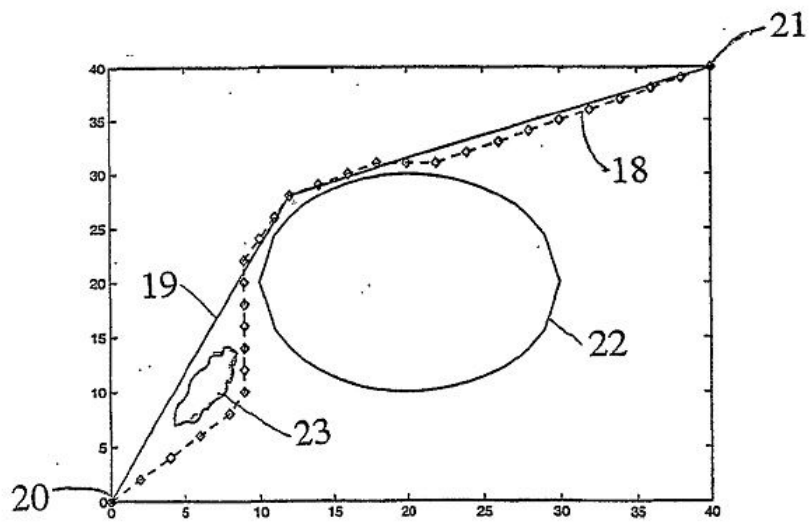


Fig 2

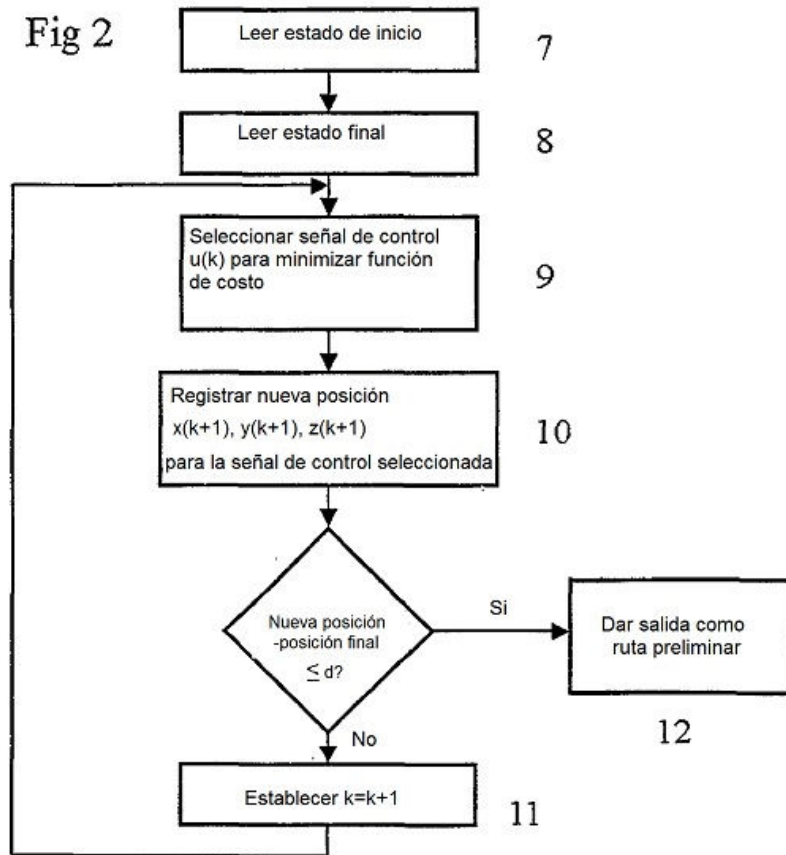


Fig 3

