

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 576 457**

51 Int. Cl.:

G01C 21/16 (2006.01)
G01C 21/00 (2006.01)
F41G 7/22 (2006.01)
F41G 7/34 (2006.01)
F41G 7/36 (2006.01)
G06K 9/00 (2006.01)
G06T 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.11.2008 E 08019575 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.03.2016 EP 2060873**

54 Título: **Procedimiento para el apoyo de la navegación inercial de un aparato volador**

30 Prioridad:

17.11.2007 DE 102007054950

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

07.07.2016

73 Titular/es:

**MBDA DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)
Hagenauer Forst 27
86529 Schrobenhausen, DE**

72 Inventor/es:

**SCHWEYER, NIKOLAUS;
HOLICKI, MICHAEL DR. y
ZOZ, JÜRGEN DR.**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 576 457 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 para el apoyo de la navegación inercial de un aparato volador

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para el apoyo de la navegación inercial de un aparato volador de vuelo bajo dotado de una cámara que mira hacia delante y de un sistema de navegación inercial INS mediante el uso de imágenes de referencia.

10 Se conoce el método para realizar la navegación de un aparato volador con ayuda de sistemas de navegación de satélite (GPS = Global Positioning System). Sin embargo, la experiencia ha demostrado que en el caso de su aplicación, especialmente en aparatos voladores que vuelan bajo, estos sistemas de navegación se pueden perturbar fácilmente.

La navegación de estos aparatos voladores con ayuda de sistemas de navegación inercial también es muy propensa a errores, dado que estos sistemas acumulan los errores de navegación en trayectos largos de los aparatos voladores que se deben controlar.

15 Según la conocida navegación Map-Matching se ha propuesto finalmente la navegación de un aparato volador de acuerdo con una imagen por satélite de la compañía Opto Knowledge Systems Inc.. Sin embargo, para ello hace falta una comparación de la imagen individual con la respectiva imagen por satélite, para lo que se necesita una cámara orientada hacia abajo en el aparato volador. Las cámaras asignadas a los buscadores de dichos aparatos voladores, de rayos infrarrojos o visibles, miran hacia delante de manera que esta propuesta no ha tenido aceptación en la práctica debido a las distintas características de las imágenes que se tienen que comparar.

20 Por el documento DE 44 16 557 A 1 se conoce el método de determinar los datos del terreno por medio de un sensor que registra el terreno sobrevolado y que mira en un ángulo finito lateral respecto a la dirección de vuelo, para el apoyo de la navegación inercial de un aparato volador que se dirige de forma autónoma a un destino alejado, obteniéndose a partir de estos datos, por comparación de los datos del terreno conocidos, una posición del aparato volador, comparándose esta posición con la posición definida por la navegación inercial y corrigiéndose el sistema de navegación inercial de acuerdo con esta comparación. Para ello se rastrean, a través del sensor configurado en forma de cámara de orientación lateral a la dirección de vuelo, unas así llamadas microestructuras, por ejemplo proximidades 3 x 3 con alto contraste, de las imágenes continuamente generadas, proyectándolas en el plano de referencia como puntos 3D significativos para determinar la posición actual del aparato volador por medio de una comparación entre la imagen de referencia y la imagen del terreno.

30 El documento DE 3830 496 C1 se refiere a un dispositivo para la detección y el seguimiento de objetos a la vista de estas características (por ejemplo un contorno/signatura), en los que éstas se pueden identificar de lejos desde el aire ante un fondo, con ayuda de un sensor reproductor y de un circuito de procesamiento para las señales captadas por el mismo con objeto de compararlas con las señales de referencia previamente archivadas. Las señales de salida de un sensor reproductor de posición estable en sí conocido se analizan en relación con los gradientes de brillo que contienen para la extracción de las líneas de borde del objeto. De entre los valores locales extremos de los gradientes de brillo se seleccionan los puntos de borde mediante la formación de valores umbrales adaptativos en el circuito de procesamiento de señales. A través de la transformación de parámetros se representan los puntos de borde situados en una recta por medio de valores locales extremos que con sus parámetros (por ejemplo inclinación y sección de eje) caracterizan respectivamente una sección de la recta. Los parámetros medidos se comparan con los parámetros de referencia archivados teniendo en cuenta los datos de trayectoria (como duración, recorrido, altitud, posición del objeto, curso) en un ordenador de evaluación, facilitando y/o indicando el resultado de la comparación (posición, dirección del objeto) a su salida para su procesamiento posterior. Este resultado de comparación sirve durante el procesamiento posterior para la localización de una sección de carretera definida en la que se buscan después los objetivos. Con ayuda de las estructuras lineales de la imagen se buscan en la imagen, de forma específica secciones de carretera de dirección conocida. En estas secciones de carretera se suponen objetivos. La localización de estas secciones de carretera sirve para limitar la zona de búsqueda dentro de la cual se han de buscar los objetivos, y no para la navegación del aparato volador.

35 Por consiguiente la invención tiene como objeto crear un nuevo procedimiento para la navegación de un aparato volador que recorra largos trayectos a poca altura y que presente una cámara que trabaja en la gama de rayos infrarrojos o en la gama visible y una unidad de medición de la inercia IMU (Inertial Measurement Unit) como parte de un sistema de navegación inercial INS (Inertial-Navigation-System) que funcione sin apoyo de un GPS y sin cámara que mire hacia abajo.

40 Partiendo del hecho de que es posible sacar de material cartográfico en 2D, imágenes aéreas o de satélite así como de otras estructuras de referencia, segmentos de líneas que se puedan comparar con líneas 3D determinadas con la proyección de series de imágenes de la cámara, conociéndose por el trabajo de O. Faugeras: "Three Dimensional Computer Vision", MIT Press 2001, apartado 6.10., (pág. 230 ss) el procedimiento para la reconstrucción en 3D basada en líneas, se resuelve esta tarea según la invención con las características de la reivindicación 1.

Otras características de la invención resultan de las subreivindicaciones.

El procedimiento según la invención se caracteriza, por lo tanto, por que mediante la comparación de una reconstrucción en 3D del escenario determinado a partir de los datos de un sistema de navegación inercial INS y de una cámara que mira hacia delante con el material de referencia en 2D, se puede definir la posición y situación del aparato volador. Como base de la comparación se emplea la estructura en 3D del escenario visible registrada respectivamente por la cámara que mira hacia delante y reconstruida a partir de la serie de imágenes captadas por la cámara de rayos infrarrojos con procedimientos estándar (véase Faugeras).

La invención se describe a continuación a la vista de un diagrama funcional representado en el dibujo en combinación con un aparato volador.

Un aparato volador FK que recorre largos trayectos con ayuda de un sistema de navegación inercial INS provisto de una unidad de medición de la inercia IMU de forma automática a baja altura presenta una cámara de observación BK que mira hacia delante, cuya serie de imágenes captadas de manera continua se utiliza para determinar, mediante la comparación de los datos de sensor así obtenidos, en una unidad de comparación VE, con el material de referencia en 2D disponible en la unidad KMU, su posición y situación a fin de apoyar su navegación inercial.

De las imágenes individuales de la serie de imágenes captadas por la cámara BK se extraen gran cantidad de segmentos de líneas obtenidas, por ejemplo, a través de un operador Canny. Los datos de la serie de imágenes se sincronizan con los datos suministrados por la unidad de medición de la inercia IMU, de modo que para cada imagen se disponga de una apreciación de la posición y situación actuales del aparato volador. Debido a los efectos de arrastre la posición absoluta será relativamente inexacta, mientras que un breve recorte de la serie de imágenes reproducirá el movimiento de la cámara siguiendo el movimiento del aparato volador respecto a la primera imagen del recorte con la precisión suficiente para una reconstrucción en 3D, si la posición de la cámara es conocida. Para dos imágenes consecutivas de la serie se calcula una homografía H que las reproduce una encima de la otra. Para ello se determinan características correspondientes de las dos imágenes posibles, lo que se lleva a cabo por medio de criterios aproximados de parecido, tales como posición y orientación de las características, así como por medio de propiedades como longitudes de líneas y similares. A partir de estas correspondencias se determina H por minimización cuadrada. Después del registro de las imágenes captadas por medio de la homografía H se encuentran las correspondencias definitivas, reproduciéndose los objetos de la imagen 1, que no se han encontrado en la imagen 2, por medio de la homografía H en la imagen 2, de modo que estén disponibles como objetos virtuales para el siguiente registro de imágenes.

El procedimiento antes descrito es sólo uno de los procedimientos posibles para el desarrollo de pistas, por lo que la invención no se limita al mismo.

Por consiguiente se crean pistas de objetos a través de la serie de imágenes cuyas lagunas son puenteadas por los objetos virtuales. El resultado de esta creación de pistas son imágenes de objetos lineales de las posiciones de la cámara. Estas pistas se emplean para determinar la estructura en 3D de los objetos. Se parte de la base de que la unidad de medición de la inercia IMU es lo suficientemente precisa como para proceder a la reconstrucción en 3D sobre la base de sus datos. Por lo tanto, la reconstrucción en 3D de las líneas se lleva a cabo en virtud de la posición relativa de la cámara conocida. A la unidad de medición de la inercia IMU se le asigna un filtro de Kalman que contiene estimaciones referentes a la calidad de los datos IMU. Se pueden utilizar análisis empíricos como apreciaciones para la precisión de la extracción de líneas. A través del cálculo de la propagación de errores se encuentran con estos datos medidas de calidad para los objetos en 3D, con lo que sólo se seguirán procesando los objetos de calidad suficiente.

Los segmentos de líneas en 3D extraídos sirven para la comparación con el material de referencia 2D disponible en el aparato volador con objeto de corregir los errores de navegación que se produzcan. El material de referencia se obtiene, antes del vuelo, de mapas, imágenes de satélite o imágenes aéreas, extrayendo de los mismos segmentos lineales (por ejemplo de forma automática del modo descrito o también de forma interactiva). La estructura de líneas en 3D extraída de la serie de imágenes se proyecta en la perspectiva de la referencia y se compara con las líneas de referencia.

A partir de esta comparación se calcula una corrección de navegación horizontal, en caso de un número suficiente de bordes de distinta dirección una corrección de navegación en 3D completa. Este cálculo se realiza por medio del diagrama funcional representado en el dibujo.

Si en el escenario sobrevolado por el aparato volador FK se ven estructuras a modo de líneas (objetos en 3D), los puntos iniciales y finales de estos segmentos lineales en 3D definen un sistema de coordenadas cartesianas global.

La cámara BK capta de este escenario imágenes desde distintas perspectivas. La posición y la situación de la cámara en el momento de la primera toma (posición 1) respecto a un sistema de coordenadas global se caracterizan por una matriz de rotación y un vector de traslación. La posición y la situación en el momento de la toma k (posición k) se caracterizan por otra matriz de rotación y por otro vector de traslación por medio de los cuales se indican la rotación y la traslación del sistema de cámara en la posición 1 respecto al sistema de cámara de la posición k. En relación con la situación y posición de la cámara en la posición 1 existen estimaciones del sistema de navegación inercial. Se parte de la base de que la situación y la posición de la cámara son relativamente inexactas debido al largo trayecto de vuelo desde el despegue del aparato volador hasta la posición 1 (estas magnitudes se determinan por medio del procedimiento descrito), mientras que la situación y la posición de la cámara es lo suficientemente

exacta para una reconstrucción en 3D, gracias al trayecto de vuelo relativamente corto entre la posición 1 y la posición n.

De cada una de las imágenes de la serie de imágenes se extraen segmentos lineales en 2D, cuyos puntos iniciales y finales se definen, indexándose los segmentos lineales de una imagen.

5 En el siguiente paso los segmentos lineales se rastrean a través de la serie de imágenes. Esto se hace calculando respectivamente para dos imágenes consecutivas una homografía que reproduce una imagen sobre otra de modo que a continuación se puedan asignar a los segmentos lineales de una imagen los segmentos lineales de la otra imagen. Para el registro aproximado se pueden emplear los datos de la unidad de medición de la inercia IMU. El resultado son pistas de segmentos lineales en 2D, conteniendo cada pista las coordenadas en 2D de una línea en las distintas imágenes en las que se ha visto esta línea.

10 Utilizando los datos de la unidad de medición de la inercia IMU se realiza después, para cada pista y con un número de elementos suficiente, una reconstrucción en 3D, determinándose las coordenadas en 3D del punto inicial y del punto final de la línea en el sistema de la posición 1. De acuerdo con la hipótesis en relación con la situación y posición de este sistema respecto al sistema de coordenadas global, este modelo en 3D se representa en la perspectiva de la referencia en 2D, se proyecta en la unidad de material cartográfico KMU y se compara con el material de referencia en 2D allí existente. A la vista de la comparación se determina una nueva estimación de la situación y posición de la cámara en la posición 1, que después sirve para la corrección de la navegación inercial del aparato volador FK.

20

25

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el apoyo de la navegación inercial de un aparato volador (FK) con un sistema de navegación inercial (INS) que presenta una unidad de medición de la inercia (IMU) y con una cámara que mira hacia delante para la captación continua de una serie de imágenes de un escenario sobrevolado por el aparato volador (FK), proporcionando la serie de imágenes captadas de forma continua datos para una comparación de los datos, que apoya la navegación inercial, con los datos de referencia archivados en el aparato volador (FK), captando la cámara imágenes desde distintas perspectivas del escenario sobrevolado y caracterizándose la posición y la situación de la cámara respecto a un sistema de coordenadas en el momento de una primera toma en la posición 1 por medio de una matriz de rotación y de un vector de traslación, y caracterizándose la posición y la situación en el momento de la toma k por medio de otra matriz de rotación y de otro vector de traslación que indican la rotación y la traslación del sistema de cámara en la posición 1 respecto al sistema de cámara en la posición k, extrayéndose de cada una de las imágenes de la serie de imágenes segmentos lineales en 2D y definiéndose los puntos iniciales y finales de los segmentos lineales en 2D, indexándose los segmentos lineales en 2D, haciendo un seguimiento de los segmentos lineales en 2D a través de la serie de imágenes y determinándose las pistas de los segmentos lineales en 2D, es decir, las coordenadas en 2D de los segmentos lineales en 2D en las distintas imágenes, conteniendo cada pista las coordenadas en 2D de un segmento lineal en las diferentes imágenes en las que se ha visto este segmento lineal, determinándose a partir de la serie de imágenes captadas del escenario sobrevolado un número de segmentos lineales en 3D por medio de una reconstrucción en 3D y proyectándose los segmentos lineales en 3D en la perspectiva de las imágenes de referencia en 2D disponibles en el aparato volador (FK) y determinadas a partir de mapas, imágenes de satélite o imágenes aéreas para lo que se lleva a cabo, mediante el uso de los datos de la unidad de medición de la inercia (IMU), una reconstrucción en 3D para cada pista y se determinan las coordenadas en 3D del punto inicial y del punto final del segmento lineal en 3D en el sistema de la posición 1 y se proyectan los segmentos lineales en 3D, sobre la base de las magnitudes de la situación y posición de la cámara respecto al sistema de coordenadas global disponibles en la unidad de medición de la inercia (IMU), en la perspectiva de las imágenes de referencia en 2D para su comparación con las estructuras lineales de referencia en 2D, determinándose a través de la comparación de las estructuras lineales de referencia en 2D con los segmentos lineales en 3D proyectados la posición y situación actuales del aparato volador (FK) para el apoyo de su navegación inercial, para lo que se determina, a partir de la comparación, una estimación de la situación y posición del aparato volador (FK) en la posición 1 que sirve después para la corrección de la navegación inercial del aparato volador (FK).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que las estructuras lineales de referencia de mapas, imágenes de satélite o imágenes aéreas se determinan y se introducen en el aparato volador (FK).
3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por que dos imágenes consecutivas del escenario sobrevolado se registran como homografía que se determina mediante minimización cuadrada.
4. Procedimiento según las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que los segmentos lineales en 2D de una imagen de una serie de imágenes, que no se encuentran realmente en la imagen siguiente de la serie de imágenes, se reproducen en la segunda imagen como segmentos lineales virtuales en 2D para la formación de pistas de los segmentos lineales en 3D para la comparación con las imágenes de referencia.
5. Procedimiento según las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que los segmentos lineales en 2D extraídos de la serie de imágenes actual se sincronizan mediante el empleo de datos del sistema de navegación inercial (INS) del aparato volador (FK) antes de una reconstrucción en 3D con estos datos.
6. Procedimiento según las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la calidad de los segmentos lineales en 3D reconstruidos se determina mediante el empleo de los datos de precisión de un filtro de Karman asignado al sistema de navegación inercial (INS) a través de un cálculo de errores.
7. Procedimiento según las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que para la captación de la serie de imágenes del escenario sobrevolado por el aparato volador (FK) se emplea una cámara de rayos infrarrojos.

55

