

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 684 847**

21 Número de solicitud: 201730538

51 Int. Cl.:

G05D 1/10 (2006.01)

G01C 21/20 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

31.03.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

04.10.2018

71 Solicitantes:

AVANSIG, S.L.L. (100.0%)
Edificio CITIC - Campus de Elviña
15071 A CORUÑA ES

72 Inventor/es:

TRILLO PÉREZ, David y
LAMAS FONTE, José Ignacio

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **SISTEMA DE NAVEGACIÓN PARA UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EN UN RECINTO INTERIOR**

57 Resumen:

Un sistema de navegación para un vehículo aéreo no tripulado en un recinto interior. Dispone de un módulo de posicionamiento (140) con una unidad inercial (116) de a bordo y una memoria (105) de almacenamiento del mapa o de las características físicas del recinto. Una pluralidad de sensores de distancia (110, 112, 114) y un escáner láser (102) miden la posición 2D (x, y, z) y la guiñada del vehículo aéreo. Mediante una comparación con un mapa correspondiente al recinto interior almacenado en memoria (105) se combinan los valores estimados de posición 3D y guiñada del vehículo con los datos proporcionados por la unidad inercial (116) para establecer correcciones a la ruta preestablecida y actuar sobre los motores de vuelo de dicho vehículo.

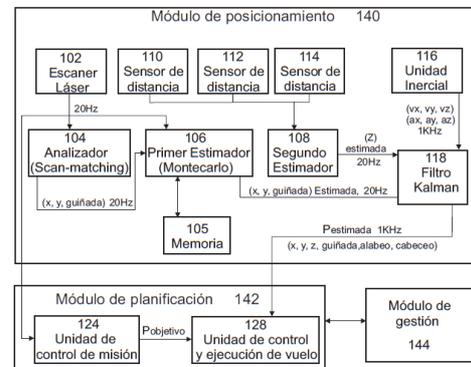


Fig. 1

SISTEMA DE NAVEGACIÓN PARA UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EN UN RECINTO INTERIOR

DESCRIPCIÓN

5

Campo técnico de la invención

La invención pertenece a los sistemas de guiado, navegación y vigilancia. En particular, se refiere a un sistema de navegación en interiores para drones capaz de
10 sortear obstáculos y llevar a cabo misiones de forma autónoma.

Estado de la Técnica

En la actualidad, los drones o vehículos aéreos no tripulados (en inglés “UAV” por
15 “Unmanned Aerial Vehicle”) se utilizan cada vez en más ámbitos. Entre otros usos, están bastante extendidos en la agricultura de precisión, la toma de fotografías, filmación de video, cartografía aérea y otras aplicaciones varias que requieren de vigilancia aérea de zonas extensas.

Sin embargo, convencionalmente, los drones utilizan el sistema de posicionamiento
20 GPS que cuenta con una precisión del orden de 1 metro. Suelen ser dirigidos remotamente por humanos desde el suelo.

Aunque sería ventajoso que los drones pudieran funcionar de forma autónoma, no solo en exteriores, sino además dentro de edificios y construcciones. Dotarlos de esta capacidad, supone un reto tecnológico y requiere tener en cuenta que la cobertura
25 GPS suele fallar en interiores. Además, muchos entornos industriales son justamente interiores. Por ejemplo, la mayoría de fábricas cuentan con recintos cubiertos como pueden ser naves para almacenar la mercancía, plantas de proceso, etc.

De otra parte, las regulaciones vigentes no consideran el interior de edificios parte del espacio aéreo. Por tanto, un dron podría funcionar de forma legal sin precisar de un
30 piloto (algo que sí se exige en exteriores). Esto puede ser especialmente útil en misiones de vigilancia y supervisión en entornos peligrosos o poco accesibles.

Para lograr este objetivo, los drones deben incorporar sistemas capaces de percibir y responder a su entorno local, alterando su trayectoria de vuelo con el fin de evitar chocar con otros objetos que se crucen en su camino. Como se ha mencionado, los
35 sistemas de navegación disponibles habitualmente para drones, no sirven para

aplicaciones en interiores, donde es necesaria una precisión del orden de cm y no siempre está asegurada la cobertura.

Aunque existen algunas propuestas de sistemas de navegación para robots en interiores, se basan principalmente en sistemas de visión artificial y lecturas de escáner laser en 2D o 3D. Un problema asociado que tienen tales propuestas es la excesiva carga computacional que requieren. Para un dron, las limitaciones de capacidad, memoria y energía del procesador de a bordo han de ser tenidas en cuenta, lo que ocasiona en la práctica que este tipo de propuestas sean poco adecuadas.

Otras alternativas tecnológicas conocidas en sistemas de navegación que incluyen detección y sorteo de obstáculos, se basan en la odometría y sensores inerciales INS, de forma que son autónomas (no necesitan referencias externas). Estiman la posición relativa usando información del dron en dos instantes consecutivos. Por tanto, inducen acumulación de errores en tramos largos. Adicionalmente, en zonas cercanas a líneas de tensión o estructuras de acero, estas propuestas presentan fallos y errores, por lo que no son seguras.

Otra técnica actual se basa en balizas. Esta técnica es quizá la más extendida en otros ámbitos como la navegación de barcos, aviones u otros robots. La posición en 3D se hace respecto de la posición de unas balizas cuya posición es conocida y fija. Estas referencias deben ser almacenadas en memoria y el escenario debe ser previamente marcado. Entre las desventajas de esta técnica, están su alto coste de instalación y mantenimiento junto con una distribución diferente para cada escenario de navegación que la hace poco flexible.

Por último, mencionar las técnicas de visión artificial basadas en el tratamiento de imágenes captadas por una cámara. Estas técnicas se pueden emplear también para navegación en interiores y exteriores. Tales técnicas de visión artificial adolecen del inconveniente de basarse en algoritmos computacionalmente complejos que requieren de gran potencia de procesado y ofrecen tiempos de ejecución elevados. Esta característica hace que la velocidad de respuesta del vehículo aéreo durante la navegación se vea reducida notablemente, dando como resultado sistemas lentos e imprecisos.

Breve descripción de la invención

A la vista de las limitaciones del estado de la técnica, sería deseable que contaran con un sistema de navegación de precisión, autónomo y que sea menos complejo de desplegar y requiera menos recursos computacionales en ejecución. El sistema propuesto se basa en emplear un mapa del recinto interior para ayudar a las tareas de guiado. En el caso que el entorno operacional se desarrolle en el interior de edificaciones, se puede aprovechar la información obtenible de los planos asociados a tales edificaciones. Esto es, además de las medidas tomadas por los sensores, se emplea un mapa almacenado en memoria con el área de operación.

Esta solución técnica tiene la ventaja de que determina la posición del dron en el escenario de trabajo sin necesidad de modificaciones ni calibración. La cartografía de referencia por tanto simplifica el problema de posicionamiento y reduce la complejidad computacional. Como se ha mencionado anteriormente, el aprendizaje de mapas 2D o 3D (SLAM) implica gran carga de procesamiento.

La presente invención se define de forma general como un sistema de navegación para un vehículo aéreo no tripulado en un recinto interior que incorpora un módulo de posicionamiento que cuenta con una unidad inercial de a bordo y una memoria. El módulo de posicionamiento incluye además una pluralidad de sensores de distancia y un escáner láser, donde dicho módulo de posicionamiento permite estimar en el plano horizontal la posición 2D (x,y) y la guiñada del vehículo aéreo, mediante un barrido láser realizado por el escáner láser y una comparación con un mapa correspondiente al recinto interior almacenado en la memoria (105). El módulo de posicionamiento permite también estimar la distancia vertical del vehículo tanto con el techo como con el suelo, o con un posible obstáculo ya esté arriba o debajo del vehículo gracias a los sensores de distancia. Dicho módulo de posicionamiento permite combinar los valores estimados de posición 3D y de guiñada del vehículo con los datos proporcionados por la unidad inercial y así establecer correcciones a la ruta preestablecida.

Opcionalmente, el módulo de posicionamiento analiza los datos obtenidos por el escáner láser mediante la aplicación del algoritmo de *scan matching*.

Opcionalmente, el módulo de posicionamiento incluye un primer estimador para analizar los datos obtenidos por el escáner láser y los datos correspondientes al mapa del recinto almacenados en memoria. Para ello, implementa el algoritmo de Montecarlo y obtiene una estimación de la posición 2D (x,y) y de la guiñada del vehículo aéreo.

Opcionalmente, el módulo de posicionamiento puede actualizar (por ejemplo con obstáculos, mobiliario, etc. encontrados en la ruta seguida) a su vez el mapa almacenado en la memoria correspondiente al recinto interior en función de los datos

obtenidos a través de los sensores de distancia y del escáner láser. Así es posible lograr una navegación cada vez más precisa con menor carga de computación.

Opcionalmente, el módulo de posicionamiento incorpora un segundo estimador para analizar los datos obtenidos por una pareja de sensores de distancia para estimar de forma redundante la distancia del vehículo aéreo al suelo.

Opcionalmente, el módulo de posicionamiento además incorpora un filtro Kalman para combinar los valores estimados de posición 3D y guiñada del vehículo con los datos de aceleración y velocidad del vehículo aéreo proporcionados por la unidad inercial.

Opcionalmente, el sistema además incluye un módulo de planificación para recibir correcciones a la ruta establecida del módulo de posicionamiento y modificar la trayectoria del vehículo aéreo.

Opcionalmente, el módulo de planificación además comprende una unidad de control y ejecución de vuelo configurada para recibir órdenes de modificación de la trayectoria preestablecida y actuar sobre los motores del vehículo aéreo.

Opcionalmente, el módulo de posicionamiento además incluye una cámara de visión artificial 3D.

Adicionalmente, la presente invención también se refiere a un vehículo aéreo no tripulado que incluye el sistema de navegación en un recinto interior mencionado.

Breve descripción de las figuras

FIG. 1 muestra un diagrama de bloques simplificado de acuerdo con una realización.

FIG. 2 muestra esquemáticamente el proceso cíclico de navegación propuesto.

Descripción detallada de la invención

Para un mejor entendimiento del alcance de la invención, se describe con fines explicativos y aclaratorios, un ejemplo de sistema de navegación para drones que permite el vuelo de forma desasistida y segura en recintos cerrados. Para ello, el sistema está dotado de capacidad para detectar y sortear obstáculos por sí mismo. El presente ejemplo de realización no debe ser considerado limitante.

Un objetivo general de la realización de la invención es disponer de capacidad para desplazarse hasta un punto concreto o recorrer rutas asignadas en el interior de los edificios de forma autónoma y con alta precisión evitando obstáculos imprevistos y

sorteándolos. Las rutas están definidas por una serie de puntos de paso (*WP* por “waypoints”, su denominación en inglés) a seguir, y son previamente cargadas en memoria al igual que el plano del edificio. Ventajosamente, los drones provistos de este sistema son capaces de recorrer rutas mecánicamente siguiendo un horario prefijado, o bien solicitadas bajo demanda. Durante el vuelo según estas rutas, el dron puede capturar datos, transmitir información en tiempo real o recibir instrucciones en remoto de los usuarios a través del centro de control.

Particularidades del presente ejemplo:

- Precisión de posicionamiento: error < 5 cm
- 10 • Precisión de navegación: error < 20 cm (desviación máxima respecto a la ruta marcada)
- Opensource
- Reproducible, aplicable a todos los escenarios interiores
- No requiere calibración
- 15 • Independiente del tamaño del dron y del escenario de funcionamiento
- No requiere instalación
- Servicio portable y flexible

La **FIG. 1** muestra, por tanto, la arquitectura general del sistema de navegación para el ejemplo de realización. Para el desarrollo del prototipo de sistema de navegación propuesto, se ha tomado como base un dron con sistema autopiloto open-software, open-hardware. Incorpora una computadora de abordo sobre la que corre un sistema operativo Linux y un autopiloto basado en Ardupilot, con el cual se puede interactuar a través de un SDK (no obstante, otros sistemas operativos y otros programas serían aplicables). Se ha dotado al dron de los siguientes componentes hardware: escáner

20 láser en 2D (x,y) y tres sensores medidores de distancia **110**, **112**, **114** para la altura (eje z). Sobre esta plataforma hardware y utilizando como marco ROS (Robot Operating System), se ha desarrollado la funcionalidad para navegación autónoma en interiores, incluyendo: un módulo de gestión **144**, un módulo de posicionamiento **140** y un módulo de planificación de la trayectoria **142**.

30 El módulo de posicionamiento **140** proporciona la localización del dron con seis grados de libertad y de manera fiable con una precisión menor a 5 cm. El módulo de planificación **142** de trayectoria se encarga de determinar las órdenes de movimiento para que el dron siga los puntos de paso (WPs) de la ruta determinada, cumpliendo los límites de seguridad y sorteando posibles obstáculos imprevistos de forma segura.

35 Finalmente, el módulo de gestión **144** representa la interfaz entre el usuario y el dron

mediante la cual se puede acceder a datos recogidos y/o enviar instrucciones al dron en tiempo real.

El conjunto de sensores que soporta el sistema de navegación para el interior de edificios emplea adicionalmente un escáner láser **102** y tres sensores de distancia **110, 112, 114** para medir la distancia al suelo y al techo. El cálculo del posicionamiento del dron está basado preferiblemente en el algoritmo de Montecarlo (2D *map-matching*), que combinado con los datos proporcionados por los sensores de distancia **110, 112, 114** y la unidad de medición inercial **116** (IMU, Inertial Management Unit en inglés) propia del dron permiten la integración de la posición 3D en interiores.

Para reducir la carga computacional y desarrollar un sistema compatible con la mayoría de ordenadores de a bordo se ha simplificado el problema a 2D. El escáner láser **102** hace barridos en 2D y el método de Montecarlo implementado en un primer estimador **106** obtiene una estimación a 20 Hz de la guiñada y de la posición en el plano horizontal. Dicho primer estimador **106** compara con los planos almacenados en una memoria **105**, las lecturas del escáner láser **102** tras haber sido procesadas con un analizador **104** que aplica a su vez *scan-matching* para comparar orientación y posición entre dos nubes de datos. Por otra parte, la estimación de la coordenada (z) es obtenida por un segundo estimador **108** que recibe lecturas de distancia entre el dron y el suelo, así como entre el dron y el techo que son medidas por los sensores de distancia **110, 112, 114**. Estas medidas estimadas de posición $P_{estimada}$ (x,y,z,guiñada) son integradas directamente con el filtro Kalman **118** junto con los valores proporcionados por la IMU **116** de a bordo, esto es, las velocidades angulares (V_x, V_y, V_z) y las aceleraciones (a_x, a_y, a_z) para proporcionar el posicionamiento estimado en un plano tridimensional, 6 grados de libertad (posición y rotación en los tres ejes del espacio x, y y z). Esta solución proporciona errores menores a 5 cm a la vez que optimiza la carga computacional del ordenador de a bordo.

Esta información es utilizada por el módulo de planificación **142** de trayectoria. Este módulo implementa en software la toma de decisiones en vuelo y de su ejecución (despegue, desplazamiento evitando colisiones y replanificando caminos alternativos y aterrizaje). El módulo de planificación **142** de trayectoria controla la orientación (*“attitude”* en inglés) y la posición del dron de acuerdo con los datos proporcionados por el módulo de posicionamiento **140**, enviándole instrucciones de desplazamiento hacia la posición objetivo ($P_{objetivo}$), ajustando de forma dinámica la aceleración y velocidad en función de:

- La distancia del dron a obstáculos (escáner laser 2D **102**).
- Localización actual del dron (con seis grados de libertad).

-Siguiendo WP a alcanzar en la ruta seleccionada (plan de vuelo programado cargado en memoria **105**).

El dron debe alcanzar la P_{objetivo} determinada. Las correcciones necesarias para alcanzarla son ejecutadas por la unidad de control y ejecución de vuelo **128**, que
 5 aumenta o disminuye la potencia de los motores. La posición real del dron se actualiza de forma dinámica con datos fiables que provienen del módulo de posicionamiento **140** (P_{estimada}). El funcionamiento es sucesivo hasta finalizar la ruta. A su vez, el usuario puede recibir información del dron en tiempo real y enviarle instrucciones (pararlo, reiniciar su ruta, aterrizaje o apagarlo) a través del módulo de gestión **144**. Los tres
 10 módulos son presentados en mayor detalle en los siguientes párrafos:

Módulo de posicionamiento **140**:

El módulo de posicionamiento **140** se encarga de localizar la posición real aproximada del dron ($< \pm 5$ cm) en el interior de un recinto (e.g. un edificio). Emplea un scanner
 15 láser **102** de barrido funcionando a una frecuencia de 40 Hz. En un primer paso, se calcula el desplazamiento del dron mediante odometría, comparando las lecturas del láser en ese instante con las obtenidas en el instante anterior. Para ello, se emplea un analizador **104** que implementa un algoritmo de tipo *Scan Matching* basado en técnicas de *ICP* (Iterative Closest Point, un algoritmo empleado para minimizar la
 20 diferencia entre dos nubes de puntos) alimentado por unos 1.000 puntos del escáner láser y trabajando a una frecuencia de 20 Hz. El analizador **104** estima el vector dirección del dron (x,y,guiñada) en función de 2 nubes de puntos leídas por el escáner láser **102** en dos instantes consecutivos. En cada instante, se tiene una nube de puntos referida a las paredes, obstáculos, etc. del recinto o lo que esté barriendo el
 25 láser.

Para el control de la altura de vuelo se utilizan los tres sensores de distancia **110**, **112**, **114**, preferiblemente basados en tecnología de infrarrojos *Time-Of-Flight*, que ofrece gran precisión Z_{estimada} a una frecuencia de funcionamiento muy elevada (1 KHz). Dos
 30 de los sensores de distancia **110**, **112** apuntan al suelo. Estas dos medidas añaden redundancia y sirven para diferenciar así obstáculos temporales del plano en sí mismo. Por ejemplo, si el dron vuela a dos metros del suelo y pasa por encima de una mesa y solo tiene un sensor, lo asimilará como plano y subirá dos metros de golpe. Al tener dos medidas (e.g. desde babor y estribor) que se hacen respecto de diferentes puntos del suelo se discriminan los obstáculos. ya que uno indicará un cambio brusco de
 35 altura, mientras que el otro permanecerá constante. Cuando se produce el cambio brusco de altura en el segundo sensor, el sistema identifica que el dron se encuentra

totalmente encima de la mesa. El tercer sensor **114** apunta hacia el techo y se utiliza como tercera referencia en caso de situaciones anormales en los que los sensores de suelo puedan enviar algún tipo de medición errónea (por ejemplo, si el dron pasa por encima de una superficie reflectante que impide la medición infrarroja).

5 Posteriormente, se realiza el cálculo preciso de la posición aproximada que corrige los desplazamientos calculados en el paso anterior mediante odometría. El algoritmo de cálculo de posición utilizado está basado en el método probabilístico de Montecarlo y compara la lectura del escáner láser **102** con los planos del entorno cargados en la memoria del dron para obtener $(x_{estimada}, y_{estimada}, \text{guiñada}_{estimada})$, junto con el valor
10 $Z_{estimada}$, se dispone de una posición estimada fiable del dron en un espacio interior a 20 Hz.

La unidad inercial **116** del dron proporciona información de aceleraciones y giros a una frecuencia de 1KHz (cada milisegundo). Estas variaciones permiten predecir su posición. Para reducir la acumulación de errores se actualiza la posición con datos
15 fiables que provienen de la comparación de las lecturas del escáner láser **102** con el mapa cargado en memoria **105** utilizando un primer estimador **106** que aplica el algoritmo de Montecarlo, que obtiene los datos de la guiñada estimada y la posición estimada 3D del dron a una frecuencia de 20 Hz. Para reducir la acumulación de errores se actualiza la posición con datos fiables $(x,y,z, \text{guiñada})$. Un primer estimador
20 **106** aplica el algoritmo de Montecarlo y obtiene los datos de la guiñada estimada y la posición estimada 2D del dron a una frecuencia de 20 Hz, y un segundo estimador **108** proporciona una medida fiable de la componente altura z también a 20Hz, para completar así la posición del dron en 3D.

El filtro de Kalman **118** integra y combina los datos de la IMU **116** con los de posición
25 3D proporcionando así una velocidad y posición estimada $P_{estimada}$ fiable a una frecuencia de 1KHz (cada milisegundo). El filtro Kalman **118** realiza una predicción a 1 KHz con las aceleraciones x,y,z y las velocidades angulares x,y,z calculadas en la IMU **116**. La corrección del filtro de Kalman se realiza usando el x,y y guiñada obtenido con el método Montecarlo del primer estimador **106** y las alturas en z obtenidas con un
30 segundo estimador **108** mediante los sensores de altura **110, 112, 114**. Estas correcciones son realizadas a 20 Hz.

Módulo de planificación **142**

Respecto de la trayectoria, el módulo de planificación **142** permite al dron navegar con seguridad en un entorno interior donde la precisión es un factor crítico. El dron debe
35 ser capaz de tomar decisiones y calcular rutas alternativas en respuesta a obstáculos inesperados para ello, el módulo de planificación **142** incluye a su vez una unidad de

control de misión **124** y una unidad de ejecución y control de vuelo **128**. La unidad de control de misión **124** está encargada de analizar el desplazamiento del dron y de controlar posibles colisiones para decidir si es preciso re-planificar la ruta o bien si se debe implementar alguna medida adicional. De ejecutar esos cambios se encarga la
5 unidad de ejecución y control de vuelo **128**.

Cuando algún objeto se sitúa dentro de su alcance, éste lo detecta con su escáner laser **102**, lo identifica como un obstáculo y actualiza el mapa de los obstáculos empleado para la navegación. En consecuencia, la detección de obstáculos y planificación de rutas se realiza en 2D, en el plano de escáner el láser **102**. Este
10 módulo de planificación **142** también es compatible con una cámara de visión artificial 3D (no mostrada en la figura). La incorporación de una cámara 3D puede ser recomendable para aumentar el campo de visión y hacer un reconocimiento de obstáculos en 3D.

15 Módulo de gestión 144

Una aplicación web de gestión y control, compatible con dispositivos móviles permite al usuario de este sistema acceder al dron desde cualquier lugar y en cualquier momento. Pueden acceder a toda la información en tiempo real y controlar sus acciones con gran nivel de detalle. Las funcionalidades de la aplicación de control se
20 dividen en dos grandes grupos:

- Funcionalidades de consulta. Visualización de datos recogidos, visualización de la posición del dron sobre mapa de las instalaciones, visualización de notificaciones o alertas y reproducción de rutas finalizadas (consulta de datos históricos).

- Funcionalidades de gestión. Gestión de rutas (crear/modificar/eliminar rondas,
25 crear/modificar/eliminar WPs), gestión de calendarios de rutas (crear/modificar/eliminar calendario), asignación de rutas a otros drones del sistema y control de rutas (iniciar/abortar, pausar/reanudar navegación).

- Funcionalidades de control. Envío de órdenes al dron durante las rutas: Pausar y reanudar recorrido, ir a un punto concreto, abortar recorrido y aterrizar, vuelta a la
30 base, etc.

El servidor de control y comunicaciones situado en las instalaciones en las que está desplegado el sistema, actúa como enlace entre los drones y la aplicación de control. Es el encargado de mantener las rutas y horarios. Envía las órdenes necesarias a los drones para que estos cumplan las órdenes enviadas por los usuarios desde la
35 aplicación de control. Mantiene un registro histórico de todas las tareas realizadas y recibe, procesa y registra la información recogida por el dron.

En la **FIG. 2** se ilustra un proceso cíclico para la navegación con tres pasos, a saber: paso de control de misión **202**, paso de control de posición **204** y paso de control de vuelo **206**. Considerando una ruta determinada ($WP_{inicial} \rightarrow WP_{final}$), se implementa una navegación autónoma con control de desplazamiento y sorteo de obstáculos mediante un proceso cíclico y puede subdividirse en dichos tres niveles que se detallan a continuación.

Paso de control de misión **202**: Es el nivel más alto. Gestiona los estados del dron a alto nivel (despegue, en ruta, replanificación de ruta y aterrizaje) a 40 Hz y activa las operativas que conllevan cada estado (a través fundamentalmente de la unidad de control de misión **124**).

Estado "despegue": encendido del dron y puesta en el aire.

Estado "ruta": seguimiento de WPs de la ruta seleccionada.

Estado "replanificación": en vista de un obstáculo entre el dron y el siguiente WP a alcanzar, se replanifica la ruta buscando el camino alternativo más corto hacia el WP deseado.

Misión "aterrizaje": descenso controlado del dron y apagado de motores. Se activa en varios casos:

- Cuando ha finalizado una ruta determinada.
- Cuando ha estado en misión replanificación (buscando caminos alternativos) gastando su tiempo de búsqueda $t_{máximo}$ y no ha conseguido alcanzar el WP. Por ejemplo, si el dron se encuentra rodeado de obstáculos.
- En caso de emergencia (pérdida de posición por avería de algún sensor, se apaga el ordenador de a bordo, etc).

Paso de control de posición **204**: se encarga de gestionar las órdenes de alto nivel del paso de control de misión **202**. Para ello genera las posiciones objetivo $P_{objetivo}$ intermedias teniendo en cuenta la posición y velocidad del dron para realizar un vuelo seguro. En este paso, se configuran los límites de seguridad tales que altura máxima de vuelo, la distancia mínima de seguridad del dron a obstáculos, velocidad máxima y aceleración o deceleración en función de la distancia a obstáculo, etc. Estos parámetros de seguridad pueden configurarse en función del tamaño del dron, de su tecnología y del escenario de funcionamiento. Este paso **206** está asociado principalmente con la unidad de control y ejecución de vuelo **128** que envía la orden (llegar al WP2) y determina a 40 Hz los incrementos de desplazamientos y rotaciones necesarias para llegar a cada posición $P_{objetivo}$ (x,y,z, guiñada) de forma segura.

Paso de control de vuelo **206** está a un nivel más bajo que el paso anterior, se actúa sobre los motores que gobiernan el movimiento del dron aplicando las aceleraciones y giros adecuados en función de las órdenes recibidas de la unidad de control de misión **124** (desplazamiento hacia la P_{objetivo}). Aquí entra en juego el módulo de posicionamiento **140**. Se calcula el error (bias) entre la P_{objetivo} (determinada en el paso de control de posición **20**), y la P_{estimada} (determinada por el módulo de posicionamiento **140**). En función de este error, el controlador de error PID determina los ángulos de cabeceo y alabeo, así como el impulso que minimizan este error. Posteriormente, se determinan las velocidades que tiene que aplicar cada uno de los motores para alcanzar dichos ángulos e impulso, con el objetivo de hacer llegar al dron a la posición deseada a una velocidad y aceleración adecuada.

Aplicación industrial

Esta invención propone una nueva solución para navegación en interiores. Es aplicable a múltiples sectores industriales:

- Industria manufacturera: textil, metal, química, hidrocarburos, etc.
- Construcción naval e industrial
- Producción de energía offshore
- Aeronáutica

A continuación, se listan algunas áreas de aplicación dirigidas a la mejora de procesos del sector industrial:

Almacenamiento y distribución:

- Control de stocks en naves y grandes almacenes
- Control del orden de lineales en supermercados

Monitorización de procesos y vigilancia física

- Control de procesos en fábricas
- Supervisión de elementos en entornos industriales
- Control de explotaciones mineras
- Seguridad en edificios públicos o privados

Trabajos en entornos y condiciones adversas

Inspección en fábricas y entornos industriales de riesgo: centrales nucleares y térmicas, refinerías, plantas químicas, etc.

- Inspección de alas aerogeneradores
- Inspección de depósitos de combustible

Inspección de buques y plataformas offshore

I. Las aplicaciones directas revolucionan el campo de la vigilancia física en interiores (vigilancia física basada en drones autónomos e inteligentes que siguen sus rutas en instituciones públicas deportivas, culturales o infraestructuras críticas de todos los sectores industriales). El agente de seguridad puede ver en todo momento las grabaciones de los drones en uso, recibir las alertas y en caso necesario modificar la ruta de cierto dron o incluso enviar más drones a un área porque considera que es un área amenazada. La interoperabilidad con los centros de cámaras de control resulta en un sistema dinámico y versátil, cuyo servicio es más eficiente y tiene mayor alcance (zonas de difícil acceso o zonas hostiles) que los servicios tradicionales de vigilancia física como las CCTV cámaras fijas o guardias de seguridad. Además, su implantación es más rápida y económica porque no implican instalación de cableado o contratación de personal 24 horas.

II. La gestión de stock en grandes almacenes, incorporando en el módulo de vídeo un reconocimiento de códigos de barras u otro identificador para llevar a cabo la lectura de los elementos. Los drones dentro del almacén, realizan rutas a lo largo de los pasillos, y a todas las alturas, revisando cada nivel y contabilizando los elementos en stock mediante la lectura de un código de barras o identificador de cada almacén. Este sistema presenta grandes ventajas si los comparamos con los sistemas actuales que realizan estas operaciones, tanto en el dinamismo de la implantación como en el coste y el alcance del servicio.

III. Inspección de grandes estructuras como cascos de barcos, grandes turbinas o tuberías, reconociendo grietas o perforaciones inspeccionando su calidad con una herramienta de video. En esta aplicación el dron podría incluso realizar una operación mecánica incorporando una herramienta adicional. La ventaja de esta aplicación es principalmente reducir accidentes laborales.

IV. Instalación del software en drones de diferentes tecnologías y tamaños. Adaptabilidad a la aplicación de cada sector. Posibilidad de combinar vuelos exteriores con vuelos interiores en un mismo UAV, en este caso se combinarían dos módulos para cubrir todo el espacio de vuelo:

-Vuelos GPS (precisión del orden de 1-2 m).

-Vuelos interiores controlados por este sistema (precisión < 5 cm y vuelos autónomos e inteligentes).

REIVINDICACIONES

1. Sistema de navegación para un vehículo aéreo no tripulado en un recinto interior caracterizado por que comprende un módulo de posicionamiento (140) que comprende
 5 una unidad inercial (116) de a bordo y una memoria (105);
 caracterizado por que el módulo de posicionamiento (140) comprende además una pluralidad de sensores de distancia (110,112,114) y un escáner láser (102), donde dicho módulo de posicionamiento (140) está configurado para:
- estimar en el plano horizontal la posición 2D (x,y) y la guiñada del vehículo
 10 aéreo, mediante un barrido láser realizado por el escáner láser (102) y una comparación con un mapa correspondiente al recinto interior almacenado en la memoria (105);
 - estimar la distancia vertical del vehículo con el techo y con el suelo o con un posible obstáculo superior o inferior mediante la pluralidad de sensores de distancia
 15 (110,112,114);
 - combinar los valores estimados de posición 3D y guiñada del vehículo con los datos proporcionados por la unidad inercial (116) y establecer correcciones a la ruta preestablecida.
- 20 2. Sistema de navegación según la reivindicación 1, donde el módulo de posicionamiento (140) está configurado además para analizar los datos obtenidos por el escáner láser (102) mediante la aplicación del algoritmo de *scan matching*.
3. Sistema de navegación según la reivindicación 1 o 2, donde el módulo de
 25 posicionamiento (140) comprende un primer estimador (106) configurado para analizar los datos obtenidos por el escáner láser (102) y los datos correspondientes al mapa del recinto almacenados en memoria (105) mediante la aplicación del algoritmo de Montecarlo para obtener una estimación de la posición 2D (x,y) y la guiñada del vehículo aéreo.
- 30 4. Sistema de navegación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde el módulo de posicionamiento (140) comprende un segundo estimador (108) está configurado además para analizar los datos obtenidos por una pareja de sensores de distancia (110,112) para estimar de forma redundante la distancia del vehículo aéreo
 35 al suelo.

5. Sistema de navegación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el módulo de posicionamiento (140) además comprende un filtro Kalman (118) configurado para aplicar el algoritmo Kalman para combinar los valores estimados de posición 3D y guiñada del vehículo con los datos de aceleración y velocidad del vehículo aéreo proporcionados por la unidad inercial (116).
6. Sistema de navegación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que además comprende un módulo de planificación (142) configurado para recibir correcciones a la ruta establecida del módulo de posicionamiento (140) y modificar la trayectoria del vehículo aéreo.
7. Sistema de navegación según la reivindicación 6, donde el módulo de planificación (142) además comprende una unidad de control y ejecución de vuelo (128) configurada para recibir órdenes de modificación de la trayectoria preestablecida y actuar sobre los motores del vehículo aéreo.
8. Sistema de navegación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde el módulo de posicionamiento (140) está configurado para actualizar el mapa almacenado en la memoria (105) correspondiente al recinto interior de acuerdo con los datos de los sensores de distancia (110,112,114) y del escáner láser (102).
9. Sistema de navegación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, donde el módulo de posicionamiento (140) además comprende una cámara de visión artificial 3D.
10. Vehículo aéreo no tripulado que comprende el sistema de navegación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

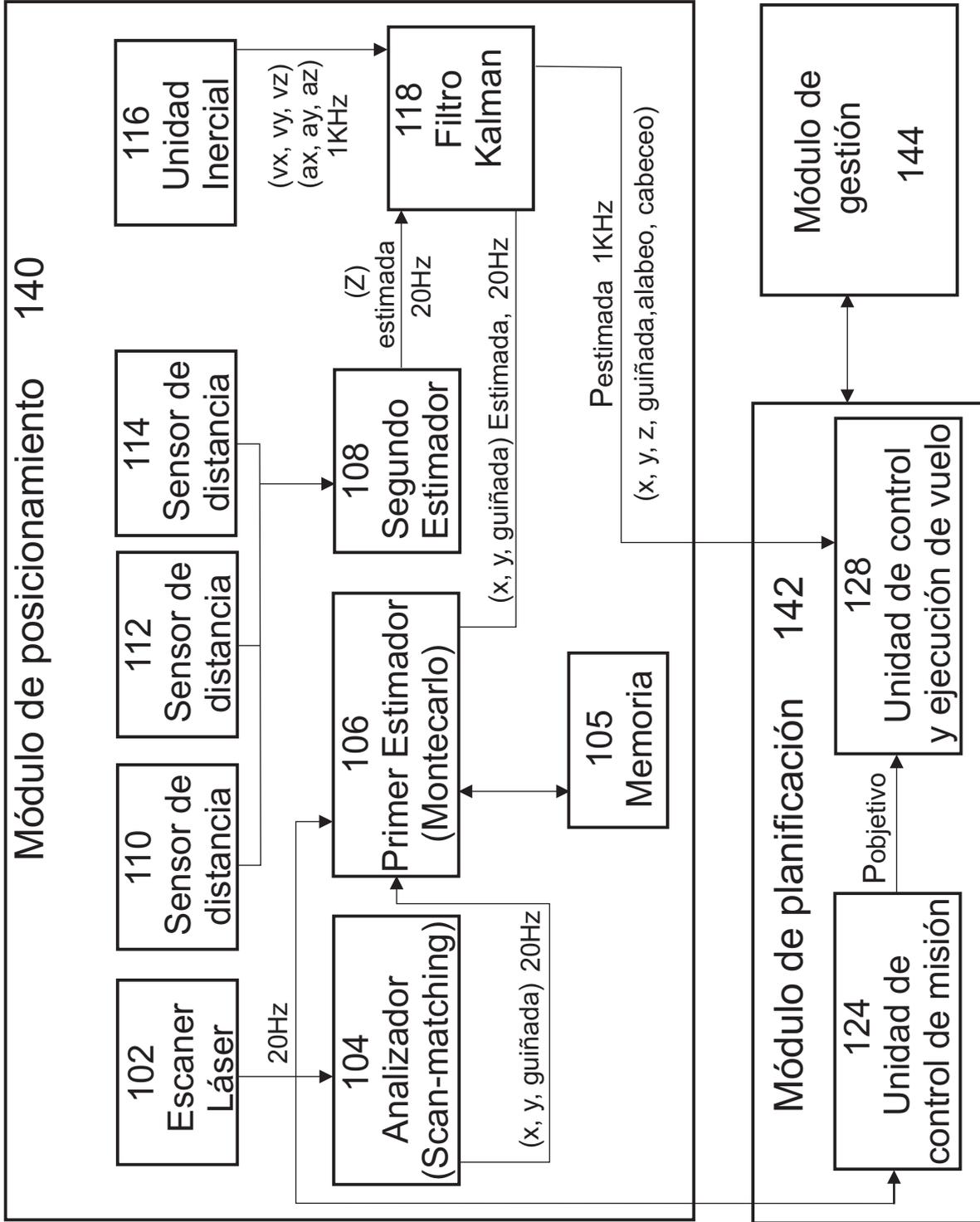


Fig. 1

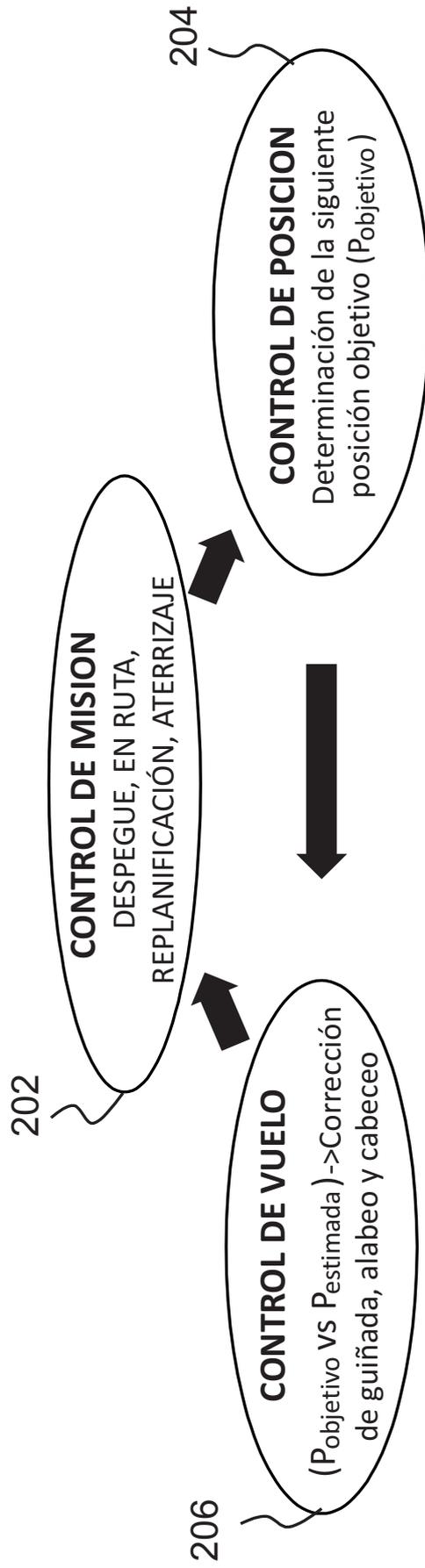


Fig. 2



- ②① N.º solicitud: 201730538
②② Fecha de presentación de la solicitud: 31.03.2017
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G05D1/10** (2006.01)
G01C21/20 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	EP 3103043 A1 (SZ DJI TECHNOLOGY CO LTD) 14/12/2016, Párrafos 0004, 0007, 0008, 0012, 0019, 0060, 0065, 0068, 0095, 0112, 0118, 0125, 0128, 0129, 0163; Figuras 2A, 2B, 12.	1-10
A	US 2010084513 A1 (GARIEPY RYAN et al.) 08/04/2010, Párrafos 0087, 0104; Figuras 14-20	1-10
A	Jens-Steffen Gutmann et al.. AMOS: COMPARISON OF SCAN MATCHING APPROACHES FOR SELF-LOCALIZATION IN INDOOR ENVIRONMENTS. Proceedings of Eurobot 96, 9/10/1996 [en línea][recuperado el 22/08/2018]. Recuperado de Internet <URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/551882/ >, <DOI: 10.1109/EURBOT.1996.551882>	2
A	Dieter Fox et al.. MONTE CARLO LOCALIZATION: EFFICIENT POSITION ESTIMATION FOR MOBILE ROBOTS. AAAI-99 Proceedings, 1999 [en línea][recuperado el 22/08/2018]. Recuperado de Internet <URL: https://www.researchgate.net/publication/221605299_Monte_Carlo_Localization_Efficient_Position_Estimation_for_Mobile_Robots >	3

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
22.08.2018

Examinador
F. Diaz Madrigal

Página
1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G05D, G01C

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, Internet

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 22.08.2018

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)

Reivindicaciones 2, 3
Reivindicaciones 1, 4-10

Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)

Reivindicaciones
Reivindicaciones 2, 3

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	EP 3103043 A1 (SZ DJI TECHNOLOGY CO LTD)	14.12.2016
D02	US 2010084513 A1 (GARIEPY RYAN et al.)	08.04.2010
D03	Jens-Steffen Gutmann et al.. AMOS: COMPARISON OF SCAN MATCHING APPROACHES FOR SELF-LOCALIZATION IN INDOOR ENVIRONMENTS. Proceedings of Eurobot 96 [en línea][recuperado el 22/08/2018]. Recuperado de Internet <URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/551882/ >, <DOI: 10.1109/EURBOT.1996.551882>	09.10.1996
D04	Dieter Fox et al.. MONTE CARLO LOCALIZATION: EFFICIENT POSITION ESTIMATION FOR MOBILE ROBOTS. AAAI-99 Proceedings [en línea][recuperado el 22/08/2018]. Recuperado de Internet <URL: https://www.researchgate.net/publication/221605299_Monte_Carlo_Localization_Efficient_Position_Estimation_for_Mobile_Robots >	1999

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera D01 como el documento del estado de la técnica más cercano a la solicitud. Se consignarán entre paréntesis las referencias a dicho documento en la presente declaración.

Reivindicaciones independientes

Reivindicación 1: siguiendo la redacción de la solicitud, D01 divulga un sistema de navegación para un vehículo aéreo no tripulado en un recinto interior (párrafo 0007) caracterizado porque comprende un módulo de posicionamiento que comprende una unidad inercial (párrafo 0060) y una memoria (figura 12, referencia 1206, párrafo 0163), una pluralidad de sensores de distancia y un escáner láser (párrafo 0008) donde dicho módulo está configurado para estimar en el plano la posición y la guiñada del vehículo mediante barrido láser (figuras 2A y 2B, párrafo 0065) y una comparación con un mapa almacenado en la memoria (figura 9B, referencia 924, párrafo 0128), estimar la distancia vertical mediante una pluralidad de sensores (párrafos 0057-0060) y combinar los valores estimados de posición y guiñada del vehículo con los de la IMU (figuras 2A, 2B, párrafo 0068) y establecer correcciones a la ruta preestablecida (figura 9B)

Se considera que D01 divulga todas las características técnicas reivindicadas en la primera reivindicación y que por lo tanto afecta al requisito de novedad según el artículo 6.1 de la ley 11/1986 de Patentes.

Reivindicaciones dependientes:

Reivindicación 2: particulariza que el módulo de posicionamiento puede aplicar el algoritmo de scan matching. Este algoritmo es conocido en el estado de la técnica y se considera una opción evidente para el experto en la materia. Como ilustración se cita D03.

Se considera que la reivindicación no cumple el requisito de actividad inventiva según el artículo 8.1 de la ley 11/1986 de Patentes.

Reivindicación 3: divulga la utilización del algoritmo de Monte Carlo para estimar la localización y la guiñada. Este algoritmo es conocido en el estado de la técnica y se considera una opción evidente para el experto en la materia. Como ilustración se cita D04.

Se considera que la reivindicación no cumple el requisito de actividad inventiva según el artículo 8.1 de la ley 11/1986 de Patentes.

Reivindicación 4: reivindica la existencia de un segundo estimador para redundancia. Se considera que el experto en la materia, ante el problema técnico de obtener una distancia de forma redundante, escogería la duplicación del estimador como opción obvia.

Se considera que la reivindicación no cumple el requisito de actividad inventiva según el artículo 8.1 de la ley 11/1986 de Patentes.

Reivindicación 5: detalla la existencia de un filtro Kalman en el módulo de posicionamiento (párrafo 0068, figuras 2A y 2B).

Se considera que D01 afecta al requisito de novedad según el artículo 6.1 de la ley 11/1986 de Patentes.

Reivindicación 6: añade a la invención un módulo de planificación que puede modificar la ruta establecida y la trayectoria del vehículo (párrafos 0112, 0118, 0125).

Se considera que D01 afecta al requisito de novedad según el artículo 6.1 de la ley 11/1986 de Patentes.

Reivindicación 7: incluye la posibilidad de modificar el vuelo del aparato mediante una unidad de control y ejecución de vuelo (párrafo 0053).

Se considera que D01 afecta al requisito de novedad según el artículo 6.1 de la ley 11/1986 de Patentes.

Reivindicación 8: añade que el módulo de posicionamiento puede actualizar el mapa almacenado en la memoria (párrafos 0095, 0129).

Se considera que D01 afecta al requisito de novedad según el artículo 6.1 de la ley 11/1986 de Patentes.

Reivindicación 9: añade una cámara de visión artificial 3D (párrafo 0008).

Se considera que D01 afecta al requisito de novedad según el artículo 6.1 de la ley 11/1986 de Patentes.

Reivindicación 10: se refiere al vehículo que comprende el sistema reivindicado (párrafo 0004).

Se considera que D01 afecta al requisito de novedad según el artículo 6.1 de la ley 11/1986 de Patentes.