

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 990 214**

51 Int. Cl.:

G01C 21/00 (2006.01)

B64D 43/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.07.2019 PCT/FR2019/051822**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.01.2020 WO20021191**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2019 E 19790630 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2024 EP 3827320**

54 Título: **Vehículo aéreo motorizado de medida del relieve de superficies de un objeto predeterminado y procedimiento de control de dicho vehículo**

30 Prioridad:

26.07.2018 FR 1856985

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

29.11.2024

73 Titular/es:

**DONECLE (100.0%)
55 Avenue Louis Breguet
31400 Toulouse, FR**

72 Inventor/es:

**CLAYBROUGH, MATTHIEU;
DERUAZ-PEPIN, ALBAN y
BEQUET, JOSSELIN**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 990 214 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

Vehículo aéreo motorizado de medida del relieve de superficies de un objeto predeterminado y procedimiento de control de dicho vehículo

5

Campo técnico de la invención

La invención se refiere a un robot de inspección automática de superficie de objetos predeterminados de grandes dimensiones, tales como aeronaves, aerogeneradores, barcos, obras de ingeniería, etc., que permita la detección y la medida de los relieves de los defectos de superficie detectados.

10

Antecedentes tecnológicos

El solicitante ha desarrollado un sistema de inspección automática de superficies de objetos de grandes dimensiones, tales como aeronaves, aerogeneradores, barcos, obras de ingeniería, edificios, etc., que permita detectar posibles anomalías en las superficies inspeccionadas, por ejemplo, impactos de rayos, impactos de granizo, trazas de corrosión, fisuras y, de manera general, cualquier tipo de defecto de las superficies inspeccionadas con respecto a un estado nominal de estas superficies. Este sistema es el objeto de la solicitud de patente WO2016203151.

15

El documento DE 10 2016 206982 A1 muestra un dron equipado con un escáner 3D para examinar una estructura. El dron vuela de manera autónoma hasta la estructura, y después de una parte de la estructura para escanear a la parte siguiente para examinar. Al hacerlo, el escáner emite luz, lo que facilita la detección de daños en la estructura. El escáner está fijado de manera móvil al dron, de manera que los movimientos involuntarios del dron, por ejemplo, debidos a ráfagas, puedan ser compensados. No obstante, el dron puede también compensar por sí solo dichas perturbaciones pilotando sus motores.

20

25

El solicitante ha buscado mejorar su sistema dotando a los drones de su sistema de inspección de medios de detección y de medida del relieve. Dicho sistema de detección y de medida de los relieves pretende poder caracterizar los defectos de superficie detectados por el sistema de inspección de superficies de los objetos.

30

En todo el texto se designa por relieve de una superficie una variación de esta última según un eje perpendicular al plano de la superficie, ya sea en saliente (variación positiva de la superficie) o bien en hueco (variación negativa de la superficie).

35

Existe la necesidad de poder detectar y medir los rebajes (huecos) o los resaltes (salientes) de los defectos de superficie detectados en los objetos inspeccionados, por ejemplo, después de un episodio de granizo. En particular, en el caso de la inspección de una aeronave, la detección y la caracterización automática del relieve de impactos de granizo permite avisar a los equipos de mantenimiento desde el momento en que la profundidad de un impacto es superior a un valor predeterminado.

40

Existe también la necesidad de poder vigilar ciertas zonas específicas de la aeronave, tales como los perímetros de las puertas de acceso a la aeronave (acceso de pasajeros o flete), debido a los golpes frecuentes entre la aeronave y los equipos aeroportuarios durante las operaciones de carga/descarga de los pasajeros y/o del flete.

45

De manera general, existe la necesidad de poder detectar y medir automáticamente la profundidad de los defectos de superficie detectados por un robot de inspección automática de superficies de objetos predeterminados.

50

Existe también la necesidad de poder detectar automáticamente una posible pérdida de alineación entre diferentes paneles de una aeronave de manera que se limite al máximo el consumo de carburante de la aeronave. Por ejemplo, un defecto de alineación de un flap o de un aerofreno de una aeronave con respecto a su posición nominal puede conllevar un sobrecoste de carburante del orden de 10.000 dólares estadounidenses al mes.

55

En la actualidad, las soluciones conocidas para medir la profundidad de una superficie de un objeto predeterminado, tal como por ejemplo una aeronave, se dividen en dos grandes familias que son las soluciones de contacto, del tipo galga de profundidad, y las soluciones sin contacto, del tipo escáner 3D.

60

Una galga de profundidad comprende una base fija que se apoya sobre una superficie de referencia que se extiende alrededor del rebaje del que se desea medir la profundidad y una parte móvil de contacto colocada encima del rebaje y configurada para poder ser desplazada por un operador de una posición de reposo a una posición de contacto con la zona más profunda del rebaje medido. La diferencia de profundidad entre la superficie de referencia alrededor del rebaje y la zona de contacto con la parte móvil determina la profundidad del rebaje. Esta medida de profundidad se lee en una esfera de aguja o una pantalla de cristal líquido.

65

Esta solución presenta la ventaja de ser fácilmente transportable, pero necesita un acceso físico al rebaje por parte del operador para colocar la galga de profundidad. Además, la operación debe repetirse para cada rebaje. Dicha operación es así larga y agotadora cuando se trata, por ejemplo, de determinar los daños ocasionados por un episodio

de granizo que puede provocar más de un centenar de impactos. Además, la precisión de una medida mediante una galga de profundidad depende enormemente de la colocación de la galga, tanto en el nivel de su base (superficie de referencia) como en el de la punta de contacto, que idealmente debe colocarse encima de la zona de profundidad máxima del rebaje. Esta zona de profundidad máxima es difícil de detectar a simple vista de manera que en la práctica es necesario proceder a varias medidas del mismo rebaje en diferentes puntos para disponer de una medida fiable del rebaje.

Un escáner 3D no necesita más contacto entre el rebaje y la herramienta de detección. Esta última emite una señal luminosa que se refleja en el rebaje y es analizada por el escáner. Dicha herramienta permite así inspecciones más rápidas que las soluciones con galga de profundidad. Por el contrario, impone siempre un acceso físico por el operador al rebaje que se va a medir. Otro inconveniente, tanto de los escáneres 3D como de las galgas de profundidad, es que no permiten asociar la posición del defecto a la medida del rebaje. Dicho de otro modo, es necesario poder localizar el defecto usando medidas con respecto a otros puntos de referencia cuya posición es conocida, lo que complica el proceso de caracterización de los rebajes en un objeto de grandes dimensiones tal como una aeronave.

Los autores de la invención han buscado desarrollar una nueva solución de medida de la profundidad de las zonas de interés de una superficie de un objeto de grandes dimensiones tal como una aeronave, un aerogenerador, un edificio, una obra de ingeniería, etc.

Objetivos de la invención

Así, la invención pretende suministrar un dispositivo de medida del relieve (rebaje o realce) de una superficie de un objeto predeterminado de grandes dimensiones, tal como una aeronave, un aerogenerador, un barco, una obra de ingeniería, etc.

La invención pretende en particular suministrar un dispositivo de medida del relieve de una superficie que no necesita una presencia humana en las proximidades de las zonas inspeccionadas de la superficie.

La invención pretende también suministrar, en al menos una realización de la invención, un dispositivo de medida que puede proceder a la adquisición de una pluralidad de medidas del relieve de una pluralidad de zonas de interés de una superficie de manera rápida y repetible. El objetivo de la invención es especialmente permitir la adquisición de medidas tridimensionales de una superficie completa del objeto, e incluso del objeto en su totalidad, en cuyo caso dicha pluralidad de zonas de interés forma la superficie completa del objeto o el objeto entero.

La invención pretende también suministrar, en al menos una realización, dicho dispositivo que permite medir relieves con una precisión del orden de 0,1 mm.

La invención pretende también suministrar, en al menos una realización, dicho dispositivo que permite proceder a la adquisición de las medidas a una distancia de 50 a 100 cm de la superficie inspeccionada.

La invención pretende también suministrar, en al menos una realización de la invención, un dispositivo de medida que permite suministrar la posición de los relieves medidos con respecto a un punto de referencia relacionado con la superficie inspeccionada.

La invención pretende finalmente suministrar un procedimiento de control de un dispositivo de medida del relieve.

Exposición de la invención

Aun cuando, por comodidad, a continuación, se habla de la invención, la invención como tal se define por las características de las reivindicaciones.

Para ello, la invención se refiere a un vehículo aéreo motorizado de medida del relieve de una pluralidad de zonas de interés de una superficie de un objeto predeterminado para inspeccionar, comprendiendo dicho vehículo aéreo un marco portador y medios motorizados de sustentación y de desplazamiento de dicho marco portador.

Un vehículo aéreo según la invención, también designado a continuación por la terminología de dron o de robot de inspección, se caracteriza porque comprende, además:

- un equipo de medida tridimensional de una zona de interés a la que apunta dicho equipo, estando dicho equipo montado en una barquilla conectada mecánicamente a dicho marco portador, y que comprende una fuente de emisión de una onda, denominada onda de referencia, un receptor matricial de una onda reflejada por dicha zona de interés a la que apunta dicho equipo y una unidad de tratamiento configurada para poder determinar una medida del relieve de dicha zona de interés a la que apunta dicho equipo a partir del análisis de dicha onda de referencia y de dicha onda reflejada,

- un sistema de pilotaje automático de dicho vehículo configurado para poder hacer pasar dicho vehículo de un modo, denominado modo de navegación, donde el vehículo puede ser desplazado de una zona de interés hacia una zona

de interés subsiguiente mediante el control de los medios motorizados de sustentación y de desplazamiento, a un modo, denominado modo estabilizado, donde dichos medios motorizados de sustentación y de desplazamiento están controlados para poder mantener constante al menos un parámetro cinemático de dicho vehículo que permite minimizar las vibraciones de dicho vehículo y donde dicho equipo de medida puede proceder a la adquisición de una medida tridimensional de esta zona de interés.

Un vehículo aéreo según la invención forma un dispositivo de medida del relieve de una pluralidad de zonas de interés de una superficie que no necesita presencia humana en las zonas de interés para inspeccionar. Esta pluralidad de zonas de interés de una superficie de un objeto puede consistir en una pluralidad de zonas distintas no adyacentes de la superficie de un objeto o puede formar una superficie completa de un objeto o el objeto en su totalidad. En todo lo que se muestra a continuación, la noción de pluralidad de zonas de interés se usa para hacer referencia a un conjunto de zonas para inspeccionar, pudiendo ser estas zonas disjuntas o unidas para formar una superficie completa y/o un objeto en su totalidad.

Esta pluralidad de zonas de interés se conoce con antelación. Dicho de otro modo, la invención se basa en una lista de zonas de interés suministrada al vehículo. A partir de esta lista de zonas de interés, que es suministrada por ejemplo por un sistema de inspección automática de superficie propuesto por el solicitante en la solicitud de patente WO2016/203151 que permite detectar automáticamente una lista de defectos en una superficie de un objeto predeterminado, del tipo aeronave, aerogenerador, edificio, obra de ingeniería, etc., el vehículo según la invención mide automáticamente los relieves de cada una de estas zonas de interés. Según otra variante, el vehículo recibe en tiempo real la lista de las zonas de interés para inspeccionar. Esta lista puede reducirse también a una sola zona de tal manera que la medida del relieve puede ser realizada desde el momento en que el sistema de inspección automática descrito en la solicitud antes mencionada detecta un defecto de superficie. Las zonas de interés son suministradas al vehículo según la invención en la forma de una lista de zonas que permite por tanto definir una primera zona de interés, la zona de interés subsiguiente, y así sucesivamente hasta la última zona de interés. Esta clasificación de las zonas puede ser de cualquier tipo y se establece preferentemente según la posición de las zonas unas con respecto a otras para reducir al mínimo el desplazamiento del vehículo de una zona de interés a la zona subsiguiente.

Un vehículo aéreo según la invención puede desplegarse de manera mucho más rápida que los dispositivos de medida de la técnica anterior, del tipo galga de profundidad o escáner 3D.

Además, un vehículo según la invención es totalmente automático de manera que el riesgo de error es mucho más bajo que con los dispositivos de la técnica anterior que necesitan la intervención de un operador.

Una de las características innovadoras de la invención es la presencia de un sistema de pilotaje automático configurado para poder hacer pasar el vehículo aéreo de un modo de navegación en el curso del cual puede ser desplazado de una zona de interés de la que acaba de hacer una medida tridimensional hacia una zona de interés subsiguiente que debe ser medida, a un modo estabilizado en el curso del cual la adquisición de la medida del relieve de la nueva zona de interés se realiza de manera simultánea al mantenimiento constante de al menos un parámetro cinemático del vehículo para minimizar las vibraciones del vehículo. Esto permite limitar al máximo las perturbaciones relacionadas con el funcionamiento de los motores durante la adquisición de la medida de la zona de interés considerada.

Ventajosamente y según la invención, al menos un parámetro cinemático del vehículo mantenido constante en dicho modo estabilizado se elige en el grupo que comprende la posición del vehículo, la velocidad del vehículo, la aceleración del vehículo, la posición de vuelo del vehículo y una función de uno o varios de estos parámetros.

Según esta variante, la estabilidad del vehículo que permite la adquisición de medida tridimensional se obtiene mediante el mantenimiento constante de uno o varios de los parámetros cinemáticos siguientes: posición, velocidad, aceleración, posición de vuelo. Esto permite minimizar los movimientos del vehículo en las proximidades de la zona de interés que se va a medir y adquirir medidas precisas de la profundidad de esta zona.

Ventajosamente y según la invención, dicho sistema de pilotaje automático está configurado para poder, en las proximidades de cada zona de interés, bascular del modo navegación al modo estabilizado cuando dicho vehículo presenta un estado definido por al menos un parámetro cinemático del vehículo, adyacente a un estado, denominado estado de anticipación definido por al menos este parámetro cinemático del vehículo, determinado a partir de un estado, denominado estado de adquisición, que corresponde a un valor objeto de este parámetro cinemático para efectuar la adquisición de esta zona de interés y a una temporización, denominada temporización de anticipación, que corresponde al tiempo necesario para garantizar el mantenimiento constante de este parámetro por el vehículo que permite la adquisición de una medida tridimensional de dicha zona de interés por dicho equipo de medida.

Según esta variante ventajosa, el vehículo se bascula a modo estabilizado cerca de la zona de interés cuando el vehículo presenta un estado de anticipación, caracterizado en particular por su posición, su velocidad, su inclinación y/o su aceleración, etc., determinado a partir del estado del vehículo destinado a la adquisición de la medida de la zona de interés. Este estado de anticipación se alcanza por ejemplo cuando la diferencia de velocidad y de aceleración entre el estado del vehículo y el estado de adquisición es inferior a un umbral predeterminado. El estado del vehículo

es determinado por la lectura de sensores relacionados con el vehículo, tales como por ejemplo telémetros láser y sensores inerciales. Este estado de adquisición tiene también en cuenta una temporización de anticipación que corresponde al tiempo necesario para garantizar el mantenimiento constante del parámetro cinemático considerado durante la adquisición de la medida tridimensional por dicho equipo de medida.

5 Así, el estado de anticipación es el estado del vehículo, definido por ejemplo por su posición, su velocidad y su aceleración, a partir del cual el estado de adquisición es alcanzado por el vehículo al terminar la temporización de anticipación, teniendo en cuenta las órdenes suministradas a los motores del vehículo.

10 Ventajosamente y según la invención, la barquilla comprende una articulación motorizada que presenta al menos un eje de cabeceo del equipo de medida con respecto a dicho marco portador, de manera que pueda colocar dicho equipo enfrente de una zona de interés que se va a medir.

15 Ventajosamente y en combinación, la articulación presenta además un eje de balanceo del equipo de medida con respecto al marco portador.

Esta variante ventajosa permite apuntar la barquilla, y con ello el equipo de medida tridimensional llevado por la barquilla, en todas las direcciones de forma estable. Por tanto, es posible proceder a la adquisición de medida de relieve en todas las direcciones. De hecho, el movimiento de balanceo (rotación del equipo alrededor de un eje longitudinal definido por la dirección atrás-adelante del vehículo, que es en general la dirección perpendicular a la dirección principal de desplazamiento lateral del vehículo para mantener este último a una distancia constante de la superficie que inspecciona) se obtiene mediante la articulación motorizada de la barquilla; el movimiento de cabeceo (rotación del equipo alrededor de un eje transversal, que es así en general la dirección de desplazamiento del vehículo) se obtiene por la articulación motorizada de la barquilla; y el movimiento de guiñada (rotación horizontal del equipo alrededor de un eje vertical definido por la gravedad) se obtiene por el movimiento de guiñada del vehículo en sí.

25 Esta variante ventajosa permite también mantener el equipo de medida horizontal incluso cuando el vehículo aéreo no lo está.

30 Ventajosamente y según esta variante, el vehículo aéreo presenta una dirección principal de avance y dicha barquilla se monta en la parte delantera del vehículo aéreo definido según una dirección perpendicular a esta dirección principal de avance.

35 Esta variante ventajosa permite acercar el equipo de medida tridimensional de la superficie para inspeccionar, y adquirir medidas a la vez por encima de una zona de interés o por debajo de una zona de interés. Dicho de otro modo, un vehículo según esta variante permite inspeccionar las superficies colocando el vehículo por encima de una superficie para inspeccionar, por debajo de una superficie para inspeccionar o delante la superficie para inspeccionar, lo que ofrece múltiples posibilidades según la superficie y del espacio ocupado cerca de la superficie para inspeccionar.

40 Según una variante ventajosa, la barquilla está conectada al marco portador por piezas de amortiguación de manera que pueda absorber las vibraciones que resultan por una parte del funcionamiento de los medios de sustentación y de desplazamiento del vehículo, y por otra parte de las turbulencias. Estas piezas de amortiguación son por ejemplo piezas de elastómeros o de gel de silicona.

45 Ventajosamente y según la invención, el vehículo comprende además al menos un sensor inercial llevado por dicha barquilla.

Dicho sensor inercial comprende por ejemplo tres acelerómetros y tres giroscopios. Permite así determinar la orientación de la barquilla y con ello la orientación del equipo de medida tridimensional con respecto a la superficie para inspeccionar. Este sensor inercial participa también en el control de la articulación motorizada de dicha barquilla para seguir una orden de posicionamiento de la barquilla predeterminada.

50 Según una variante de la invención, el vehículo puede comprender también un segundo sensor inercial llevado en el marco portador que permite estimar el estado del vehículo.

55 Ventajosamente y según la invención, el vehículo comprende además al menos un telémetro láser solidario con dicho marco portador o con dicha barquilla que forma un sensor de posicionamiento relativo del vehículo aéreo con respecto a dicha superficie del objeto para inspeccionar.

60 Un vehículo según esta variante permite así estimar la posición relativa del vehículo, y por tanto del equipo de medida tridimensional, con respecto a la superficie para inspeccionar. Así, la combinación de las informaciones suministradas por el telémetro láser y el o los sensores inerciales permite conocer con precisión la posición y la orientación del equipo con respecto a las zonas de interés de la superficie para inspeccionar.

65 Este conocimiento de la posición y de la orientación del equipo de medida, asociado al sistema de pilotaje automático, permite adquirir medidas precisas y rápidas de las zonas de interés de la superficie para inspeccionar.

Ventajosamente y según esta variante, el vehículo comprende al menos dos telémetros láser configurados para poder barrer dicha superficie que se va a inspeccionar según al menos dos planos secantes.

5 Esta variante permite disponer de medidas más precisas de la posición relativa del vehículo con respecto a la superficie del objeto para inspeccionar.

10 Ventajosamente y según la invención, dicho sistema de pilotaje automático controla el paso en modo estabilizado en cuanto el telémetro o los telémetros láser determinan que el vehículo está en una posición predeterminada con respecto a dicha zona de interés.

15 Ventajosamente y según la invención, el vehículo comprende además un módulo de compensación de las medidas tridimensionales adquiridas por dicho equipo de medida adaptado para definir un perfil de movimiento de dicho vehículo en el curso de dicha adquisición y corregir dichas medidas según este perfil de movimiento.

Dicho módulo de compensación permite por ejemplo estimar la velocidad relativa del vehículo con respecto a dicha superficie de manera que pueda compensar los desplazamientos del vehículo aéreo durante el tratamiento de dichas ondas recibidas por el receptor matricial de dicho equipo de medida.

20 Esta variante ventajosa permite tener en cuenta el perfil de movimiento del vehículo durante la adquisición de manera que se obtengan medidas precisas del relieve.

25 Esta variante permite también tener en cuenta la velocidad de desplazamiento del vehículo y adaptar la secuencia de pilotaje por el sistema de navegación según esta velocidad estimada. Esto permite en particular proceder a la adquisición de las medidas de relieve a la vez que se mantiene el vehículo aéreo en desplazamiento. Esta variante ventajosa también permite compensar tanto la velocidad de traslación como la velocidad angular de dicho equipo de medida.

30 Ventajosamente y según la invención, el vehículo comprende además un módulo de acceso a una modelización tridimensional de dicha superficie de dicho objeto y un módulo de localización de la posición relativa del vehículo con respecto a dicha modelización tridimensional de dicha superficie de dicho objeto para inspeccionar, de manera que pueda asociar a cada zona de interés a la que apunta dicho equipo de medida las coordenadas de la zona de interés en un punto de referencia de dicha modelización tridimensional de dicha superficie.

35 Esta variante ventajosa permite disponer de una modelización tridimensional de la superficie para inspeccionar. Esta modelización tridimensional se guarda por ejemplo en una memoria a bordo en el vehículo o se recupera desde un servidor distante por un sistema de comunicación inalámbrica a bordo del vehículo. Esta variante ventajosa permite beneficiarse de una modelización de la superficie del objeto que se conoce con antelación. Esta modelización 3D de la superficie está formada por ejemplo por un enmallado 3D poligonal de la superficie. Esta variante ventajosa permite también poder determinar la posición del vehículo con respecto a la superficie de la que se conoce una modelización 40 3D. Esta determinación de la posición del vehículo con respecto a la superficie modelizada puede implementar por ejemplo el procedimiento de determinación de la posición de un vehículo móvil propuesto por el solicitante en la solicitud de patente WO2017/121936.

45 Esta variante ventajosa permite también referenciar con precisión la posición de cada zona de interés de la superficie para inspeccionar.

50 Ventajosamente y según la invención, el vehículo comprende además un módulo de transmisión inalámbrica de las medidas de relieve a una estación terrestre.

55 Ventajosamente y según la invención, el vehículo comprende además un módulo de determinación de un mapa de profundidad que comprende un submódulo de determinación de un relieve de referencia de dicha superficie de dicho objeto inspeccionado a partir de un modelo 3D predeterminado de dicha superficie del objeto inspeccionado asociado a un modelo matemático predeterminado, y un submódulo de cálculo de las diferencias de profundidad entre dichas medidas del relieve de dichas zonas predeterminadas y dicho relieve de referencia.

Esta variante ventajosa permite crear un mapa de profundidad que contiene los posibles defectos detectados.

60 Ventajosamente y según la invención, dicho equipo de medida tridimensional comprende una cámara de emisión de una luz estructurada que forma dicha fuente de emisión de dicha onda de referencia y una cámara de adquisición de imágenes de dicha zona de interés iluminada por luz estructurada, que forma dicho receptor matricial de dicha onda reflejada.

65 Según otra variante ventajosa de la invención, dicho equipo de medida tridimensional comprende un perfilómetro láser que forma dicha fuente de emisión de dicha onda de referencia y una cámara de adquisición de imagen de dicha zona de interés iluminada por dicho perfilómetro láser, que forma dicho receptor matricial de dicha onda reflejada.

Según otra variante ventajosa de la invención, dicho equipo de medida tridimensional comprende un flash lidar que forma dicha fuente de emisión de dicha onda de referencia y una cámara de adquisición de imagen de dicha zona de interés iluminada por dicho flash lidar, que forma dicho receptor matricial de dicha onda reflejada.

Ventajosamente y según la invención, dichos medios de sustentación y de desplazamiento de dicho vehículo comprenden al menos cuatro motores propulsivos. Dicho vehículo forma así por ejemplo un dron multirrotores con cuatro hélices, cada una de las cuales es arrastrada por un motor eléctrico. También puede tratarse de un dron multirrotores con seis u ocho hélices para mayor estabilidad y redundancia.

Esta variante ventajosa permite en particular conferir al vehículo una capacidad de vuelo estacionario, especialmente útil cerca de las zonas de interés durante la adquisición de las medidas tridimensionales.

La invención se refiere también a un procedimiento de control de un vehículo aéreo motorizado según la invención.

Un procedimiento según la invención se caracteriza porque comprende las etapas que consisten en:

- definir una lista de zonas de interés de una superficie de un objeto predeterminado para inspeccionar,
- definir un perfil de navegación del vehículo entre las diferentes zonas de interés según una cronología predeterminada,
- desplazar el vehículo aéreo hacia una primera zona de interés,
- ajustar la barquilla del vehículo para apuntar a dicha zona que se va a medir con dicho equipo de medida tridimensional,
- en la proximidad inmediata de la zona de interés, pasar el vehículo a modo estabilizado y activar la adquisición de la medida tridimensional de la zona de interés,
- al final de la adquisición, pasar el vehículo a modo navegación,
- desplazar el vehículo aéreo hacia la zona de interés siguiente del perfil de navegación y repetir las operaciones anteriores hasta la última zona de interés de dicho perfil de navegación.

Un procedimiento según la invención permite así medir de manera automática los relieves de la pluralidad de las zonas de interés. El procedimiento según la invención adapta el modo de navegación según su posición con respecto a las zonas de interés. El procedimiento según la invención permite en particular determinar la próxima zona para inspeccionar, según el perfil de navegación establecido, y desplazar el vehículo hasta esta zona de interés. El procedimiento permite también orientar la barquilla que lleva el equipo de adquisición. El procedimiento permite a continuación bascular el vehículo en modo estabilizado dedicado a la adquisición de las medidas tridimensionales para limitar las perturbaciones relacionadas con los medios motorizados de sustentación y de desplazamiento. El procedimiento permite finalmente rebascularse en modo navegación cuando la adquisición se termina para alcanzar la zona de interés siguiente según el perfil de navegación establecido.

La invención se refiere también a un vehículo aéreo y a un procedimiento de control de dicho vehículo aéreo caracterizados en combinación por parte o la totalidad de las características mencionadas anteriormente o con posterioridad.

Lista de figuras

Otros objetivos, características y ventajas de la invención se desprenderán de la lectura de la siguiente descripción proporcionada únicamente a título no limitativo y que se refiere a las figuras adjuntas donde:

- la figura 1 es una vista esquemática en perspectiva de un vehículo aéreo según una realización de la invención en curso de adquisición de una medida tridimensional,
- la figura 2 es una vista esquemática en perspectiva de un vehículo aéreo según una realización de la invención,
- la figura 3 es una vista esquemática en perspectiva de un vehículo aéreo según otra realización de la invención,
- la figura 4 es una vista esquemática en perspectiva de una barquilla de un vehículo según una realización de la invención,
- la figura 5 es una vista esquemática funcional de un vehículo según una realización de la invención.

Descripción detallada de una realización de la invención

En las figuras, las escalas y proporciones no se respetan estrictamente a efectos de ilustración y claridad. En toda la descripción detallada que se ofrece a continuación en referencia a las figuras, salvo indicación en sentido contrario, cada elemento de un vehículo aéreo según la invención se describe tal como se dispone cuando el vehículo está en curso de utilización, en la horizontal y desplazándose según una dirección de desplazamiento, denominada dirección transversal. Esta disposición se representa en particular en la figura 2.

Además, los elementos idénticos, similares o análogos se designan con las mismas referencias en todas las figuras. Finalmente, los términos longitudinal, transversal y vertical se usan de modo no limitativo en referencia al triedro L, T,

V tal como se representa en la figura 2. La dirección longitudinal (L) corresponde a la dirección delante-atrás del vehículo, la dirección transversal (T) corresponde a la dirección principal de desplazamiento del vehículo en paralelo a una superficie de un objeto de la cual se tomará una medida del relieve de una pluralidad de zonas de interés y la dirección vertical (V) es la dirección definida por la gravedad. Dicho de otro modo, la dirección delante-atrás del vehículo es la dirección longitudinal y la dirección derecha-izquierda del vehículo es la dirección transversal y corresponde a la dirección principal de desplazamiento del vehículo. De hecho, un vehículo aéreo según la invención se desplaza preferentemente en paralelo a una superficie que se va a medir y los equipos de medida están dispuestos preferentemente en la parte delantera del vehículo para poder apuntar hacia la superficie que se va a medir.

La figura 1 es una vista esquemática de un vehículo aéreo según una realización de la invención en curso de utilización en una aeronave 9.

El vehículo aéreo 10 se desplaza con respecto a la superficie de la aeronave para adquirir una pluralidad de medidas tridimensionales de una pluralidad de zonas de interés de la superficie de la aeronave.

Esta pluralidad de zonas de interés es por ejemplo una lista de zonas suministrada por un sistema de inspección automática de superficie propuesto por el solicitante en la solicitud de patente WO2016/203151 que permite detectar automáticamente una lista de defectos en una superficie de un objeto predeterminado. Por tanto, la invención puede usar esta lista de defectos como lista de zonas de interés para determinar el relieve de cada uno de estos defectos detectados. Según otra variante, la lista de las zonas de interés es suministrada al vehículo, por ejemplo, por el medio de un archivo de posiciones para inspeccionar. Estas zonas de interés pueden ser de cualquier tipo (contorno de puertas, paneles, impactos cualesquiera, etc.). Según otra variante la lista de zonas de interés es la superficie entera del objeto.

En la figura 1 y únicamente con fines de ilustración, las zonas de interés de las cuales se busca una medida del relieve se referencian como 12a, 12b y 12c. En la figura, las zonas 12a, 12b son zonas relativamente limitadas mientras que la zona 12c es una zona extendida que cubre el conjunto de la superficie lateral de la deriva vertical de la aeronave 9.

La figura 2 ilustra de manera más detallada el vehículo aéreo 10. Este último comprende un marco portador en el cual se montan ocho motores de sustentación y de desplazamiento, estando cada motor asociado a una hélice. En la figura 2 se refiere solo un motor y una hélice con fines de claridad. Naturalmente, según otras realizaciones, los medios de sustentación y de desplazamiento del vehículo pueden presentar otras arquitecturas sin modificar el objeto de la invención.

El vehículo aéreo 10 comprende también un equipo de medida tridimensional configurada para permitir la medida de un relieve de la superficie a la que apunta el equipo.

Este equipo se monta en una barquilla conectada mecánicamente al marco portador en la parte delantera del vehículo definido con respecto a una dirección longitudinal (L).

En las figuras 2 y 3, la referencia 60 representa una caja mecánica que aloja el conjunto de los miembros de control del vehículo (sistema de pilotaje), herramientas de análisis de los datos obtenidos de los sensores (telémetros, sensores inerciales, etc.), los diferentes módulos de tratamiento (módulo de compensación, módulo de creación de un mapa de relieve, etc.) y los medios de cálculo (procesador, memoria, etc.), conectados al equipo de medida 14 y a los medios de sustentación y de desplazamiento 11 por enlaces por cable o medios de conexión inalámbrica.

El vehículo de la figura 2 comprende también dos telémetros láser.

El equipo 14 y la barquilla 21 se representan de manera más detallada en la figura 4. Esta barquilla 21 comprende una armadura en U montada en el marco 20 del vehículo por medio de una articulación de giro motorizada que permite hacer girar la armadura en U con respecto al marco 20 alrededor de un eje que se extiende a lo largo de la dirección longitudinal, tal como se define en la figura 2.

El equipo 14 está montado a su vez en la armadura en U por una articulación de giro motorizada que permite hacer girar el equipo con respecto a la armadura en U alrededor de un eje que se extiende a lo largo de la dirección transversal, tal como se define en la figura 2.

Así, el equipo 14 puede ser desplazado para apuntar en todas las direcciones por el pilotaje de las articulaciones y por el control de la guiñada del vehículo, que define entonces la guiñada del equipo. La motorización de las articulaciones puede ser de cualquier tipo y comprende preferentemente motores eléctricos.

El equipo 14 comprende también una fuente de emisión de una onda de referencia, y un receptor matricial de una onda reflejada por la zona de interés a la que apunta el equipo, y una unidad de tratamiento, representada esquemáticamente en la figura 5, configurada para poder determinar una medida del relieve de la zona de interés a la que apunta el equipo 14 a partir del análisis de la onda de referencia y de la onda reflejada.

Según una realización, la fuente de emisión 15 es una cámara de emisión de una luz estructurada y el receptor matricial 16 es una cámara de adquisición de imágenes. Las ondas de referencia y reflejada son por tanto imágenes. Según esta realización, la cámara de emisión 15 de una luz estructurada puede ser de cualquier tipo conocido de manera que la luz estructurada puede ser una luz con un motivo particular (líneas, puntos, una cuadrícula, etc.). La cámara de adquisición de imágenes 16 lleva a cabo a continuación la adquisición de imágenes de los diferentes motivos proyectados en la zona de interés. La unidad de tratamiento 38 permite a continuación determinar la deformación del motivo. El análisis de la deformación del motivo permite estimar la profundidad de la superficie sobre la cual se proyecta la luz estructurada. En el mercado se dispone de diferentes soluciones técnicas y de software para estimar la profundidad a partir de imágenes adquiridas de la proyección de la luz estructurada y no se describen aquí en detalle.

Según otra realización, la fuente de emisión 15 es un perfilómetro láser y el receptor matricial 16 es una cámara de adquisición de imagen de la zona de interés iluminada por el perfilómetro láser. Según esta realización, un perfilómetro láser proyecta una línea sobre la zona de interés y la cámara de adquisición lleva a cabo la adquisición de una imagen de la línea proyectada sobre la zona de interés. La unidad de tratamiento 38 puede así determinar la profundidad de la zona de interés según esta línea proyectada. En el mercado existen diferentes soluciones técnicas y de software para estimar la profundidad a partir de un perfilómetro láser y no se describen aquí en detalle.

Según otra realización, la fuente de emisión 15 es un flash lidar y el receptor matricial 16 es una cámara de adquisición de imagen de la zona de interés iluminada por el flash lidar. Según esta realización, la onda de referencia es una señal láser multidireccional emitida por un flash lidar. El receptor matricial lleva a cabo la adquisición de la onda reflejada por la zona de interés donde incide la onda emitida y la unidad de tratamiento 38 determina la profundidad por el análisis comparativo de la onda emitida y la onda reflejada (normalmente por la medida del tiempo de vuelo o por la medida del desfase). En la figura 3 se representa esquemáticamente un vehículo aéreo según esta realización. Además, este vehículo comprende tres telémetros láser 30, 31, 32 de los cuales un telémetro 30 está dispuesto cerca del equipo de medida.

Naturalmente, el número de telémetros láser no está condicionado al tipo de equipo de medida utilizado. Así, nada impide prever el uso de un equipo de medida del tipo flash lidar tal como se representa en la figura 3 con dos telémetros láser o utilizar un equipo de medida del tipo luz estructurada tal como se representa en la figura 2 con tres telémetros láser.

El vehículo aéreo comprende además un sistema de pilotaje automático configurado para poder hacer pasar el vehículo de un modo, denominado modo de navegación, donde el vehículo puede ser desplazado de una zona de interés hacia una zona de interés subsiguiente por control de los motores 11, a un modo, denominado modo estabilizado, donde los motores 11 están controlados para poder mantener constante al menos un parámetro cinemático del vehículo (por ejemplo la posición del vehículo, la velocidad del vehículo, la aceleración del vehículo, la posición de vuelo del vehículo o una combinación de estos diferentes parámetros), que permite minimizar las vibraciones del vehículo para poder activar el equipo 14 y proceder a la adquisición de una medida tridimensional de la zona de interés. Como se indica anteriormente, este sistema de pilotaje está alojado por ejemplo en la caja 60 central del vehículo y en interacción con los sensores del vehículo (telémetros láser y sensor inercial) y los motores 11.

Para ello, el sistema de pilotaje automático está configurado preferentemente para poder bascular, en las proximidades de cada zona de interés, del modo navegación al modo estabilizado cuando el vehículo presenta un estado adyacente a un estado de anticipación definido con respecto a un estado de adquisición.

El principio de la basculación de modo implementado por el sistema de pilotaje es el siguiente.

Se designa por «estado del vehículo» las características cinemáticas del vehículo, tales como la posición del vehículo, las velocidades del vehículo (angular y/o de traslación), las orientaciones del equipo de medida, las aceleraciones del vehículo, etc. Este estado es determinado por ejemplo por sensores láser, sensores inerciales y por un módulo de localización del vehículo. Este módulo de localización puede ser de cualquier tipo y es por ejemplo el descrito en la solicitud de patente WO2017/121936 a nombre del solicitante.

Se designa por «estado de adquisición» el estado pretendido por el vehículo para realizar la adquisición de la zona de interés considerada. Este estado de adquisición es determinado por ejemplo por una posición, una velocidad y una orientación del equipo de adquisición.

Se designa por «ley de navegación», la ley que permite, a partir de un estado medido y de una trayectoria dada, calcular la aceleración necesaria, según los 3 ejes, para seguir la trayectoria dada. La aceleración necesaria calculada es por naturaleza evolutiva dado que el estado del vehículo cambia en cada instante.

Se designa por «ley de control» la ley que permite, a partir de un estado medido y de una orden de aceleración, calcular los controles de los motores necesarios para alcanzar la aceleración pretendida. Normalmente, la aceleración en entrada de la ley de control es la calculada por la ley de navegación. Por ejemplo, si se solicita una aceleración lateral,

la ley de control permitirá reducir la velocidad de los motores en el lado correspondiente para inclinar el vehículo. La salida (la velocidad de rotación de los motores) varía cuanto más lo hace la entrada (la aceleración controlada). Además, por la ley de navegación, visto que la aceleración controlada no deja de variar, sucede lo mismo con el control de los accionadores (los motores).

5 Se designa por «ley de adquisición» la ley que permite, a partir del estado del vehículo y del estado de adquisición, calcular el parámetro cinemático constante (en la práctica la aceleración) que puede conducir a condiciones ideales de adquisiciones.

10 Se denota por S_c el estado del vehículo pretendido para una adquisición y caracterizado por la posición deseada P_c , y la velocidad deseada V_c . El objetivo es acercar el estado del vehículo lo más posible a este estado a la vez que se tiene una aceleración constante en el momento en que se encontrará más cerca.

15 Se denota por S_m el estado medido del vehículo en un instante dado caracterizado por la posición P_m y la velocidad V_m en este instante dado.

Se define $\Delta T_{\text{anticipación}}$ como el tiempo de anticipación del modo estabilizado en la adquisición, por ejemplo, $\Delta T_{\text{anticipación}} = 1$ s.

20 El proceso de pilotaje es entonces el siguiente:

- Etapa 1: el sistema de pilotaje selecciona el siguiente estado de adquisición S_c . Calcula entonces un estado de anticipación S_a , caracterizado por una posición de anticipación P_a y una velocidad de anticipación V_a , de este estado de adquisición considerando una aceleración nula durante $\Delta T_{\text{anticipación}}$ entre S_a y S_c . Así, se tiene sencillamente $V_a = V_c$ y $P_a = P_c - \Delta T_{\text{anticipación}} * V_c$. El sistema de pilotaje calcula entonces una trayectoria hasta el estado de anticipación S_a .

25 - Etapa 2: la ley de navegación calcula y actualiza permanentemente una aceleración controlada que permite seguir la trayectoria hasta el estado de anticipación S_a . Esta aceleración que varía de forma regular a merced de los giros, perturbaciones e incertidumbres de las medidas se transmite a la ley de control que controla los accionadores en función y el vehículo sigue así la trayectoria impuesta.

30 - Etapa 3: Cuando el estado del vehículo medido S_m es suficientemente próximo al estado de anticipación S_a (definido por ejemplo por un umbral de desviación en velocidades y aceleraciones), la ley de adquisición calcula la aceleración constante $A_{\text{adquisición}}$ que permitiría pasar al más cercano al estado de adquisición S_c partiendo del estado medido S_m , así como la duración temporal al cabo de la cual se estaría más cerca: $\Delta T_{\text{activación}}$. El $\Delta T_{\text{activación}}$ es por construcción muy cercano a $\Delta T_{\text{anticipación}}$, pero puede variar ligeramente para compensar la diferencia entre S_m y S_a en el momento del cálculo. Asimismo, la aceleración calculada $A_{\text{adquisición}}$ es próxima a cero, pero no es nula para compensar la diferencia entre S_m y S_a . Dicho de otro modo, el hecho de recalcular $\Delta T_{\text{activación}}$ y $A_{\text{adquisición}}$ en vez de utilizar los valores teóricos permite fijar una aceleración a la vez que se compensan las desviaciones entre S_m y S_a (imprecisión de navegación, medida, perturbaciones, etc.). El sistema de pilotaje utiliza entonces la aceleración $A_{\text{adquisición}}$ para la ley de control. La ley de control que tiene como entrada una aceleración constante, la posición de vuelo (o postura o inclinación) así como el empuje medio del vehículo no varía más y las variaciones de los controles de los motores son bajas. El vehículo se encuentra entonces en «rueda libre». Se registra el instante de conmutación T_c .

35 - Etapa 4: En el instante $T_c + \Delta T_{\text{activación}}$ se ordena la adquisición. El vehículo permanece en modo estabilizado y posición de vuelo constante durante el tiempo de la adquisición $\Delta T_{\text{adquisición}}$. En el instante $T_c + \Delta T_{\text{activación}} + \Delta T_{\text{adquisición}}$ la adquisición se termina. Si la adquisición se ha desarrollado bien, la lista de estados adquisición se actualiza en función. Durante todo el tiempo que dura esta etapa, si el vehículo se aleja demasiado de la trayectoria teórica vuelve inmediatamente a la etapa 1 por motivos de seguridad.

50 Estas diferentes etapas implementadas por el sistema de pilotaje recurren preferentemente a medios de software a bordo en un componente del vehículo aéreo. De manera general, el sistema puede comprender medios de software y/o de hardware para implementar las diferentes etapas del sistema de pilotaje.

55 Según una realización preferente, el vehículo aéreo comprende además un módulo 36 de compensación de las medidas tridimensionales adquiridas por el equipo de medida 14 adaptado para definir un perfil de movimiento del vehículo en el curso de la adquisición y corregir las medidas según este perfil de movimiento.

60 En todo el texto, el término módulo designa un elemento de software, un subconjunto de un programa de software, que puede ser compilado por separado, bien para una utilización independiente o bien para ser ensamblado con otros módulos de un programa, o un elemento de hardware, o una combinación de un elemento de hardware y de un subprograma de software. Así, un módulo puede implementarse en forma de programa informático ejecutado por uno o varios componentes electrónicos, por ejemplo, un procesador de un ordenador, un microcontrolador, un DSP (*Digital Signal Processor* en inglés), un FPGA (*Field-Programmable Gate Array* en inglés), etc. De manera general, un módulo es por tanto un elemento (de software y/o hardware) que permite asegurar una función.

65 El proceso de compensación de las medidas implementadas por el módulo de compensación es por ejemplo el

siguiente:

- Etapa 1: se guardan los datos en bruto de los diferentes sensores (equipos de medidas, sensores inerciales, etc.) y se marcan con fecha y hora,

- Etapa 2: se sincronizan los datos de posición, velocidad y aceleraciones con estos datos en bruto,

- Etapa 3: se crea un perfil de movimiento durante la adquisición a partir de los datos de posición, velocidad y aceleraciones. Este perfil de movimiento puede determinarse por ejemplo considerando que el tiempo de adquisición es relativamente corto y la aceleración del vehículo es constante. Así, un medio de calcular este perfil de movimiento consiste en utilizar un modelo de aceleración constante para la parte de traslación y de velocidad angular constante para la parte de rotación. Dicho modelo matemático puede escribirse, por ejemplo, en el tiempo de la adquisición:

$$P(t) = \frac{1}{2} * A0 * t^2 + V0 * t + P0$$

$$\Omega(t) = \Omega0 + t * \omega0$$

A partir de los datos adquiridos es posible encontrar $A0$, $V0$, $P0$, $\Omega0$ y $\omega0$ tal que el modelo sea el más próximo a los datos de posición e inerciales adquiridos. Existen numerosos procedimientos de optimización para resolver este problema numérico. Una vez determinadas las constantes, las ecuaciones anteriores permiten tener una buena estimación de la posición y la orientación del sensor en cada instante temporal de la adquisición.

Pueden utilizarse otros tipos de modelos matemáticos, por ejemplo, fijando la velocidad o permitiendo variaciones de la aceleración, etc. También es posible filtrar los datos para crear un perfil sin forma concreta. Pueden utilizarse diferentes filtros numéricos, como un filtro de paso bajo, un filtro complementario, etc.

- Etapa 4: se corrige cada dato en bruto de adquisición según el perfil de movimiento así determinado.

Una vez realizada esta compensación de las medidas puede implementarse una etapa subsiguiente de fusión de los datos y de creación de un mapa de profundidad por medio de un módulo ad hoc, que incluye los posibles filtrados y rechazos de ruido (bien a bordo del vehículo o bien después de la recuperación de los datos en tierra). También puede implementarse una etapa posterior de caracterización y de segmentación de las medidas por medio de un módulo ad hoc (bien a bordo del vehículo o bien en tierra después de la recuperación de los datos en tierra). En la bibliografía diferentes procedimientos disponibles permiten realizar dichas segmentaciones de datos.

Por ejemplo, estas diferentes etapas pueden llevarse a cabo de la manera siguiente mediante uno o varios módulos:

- Etapa 1: Determinación de un relieve de referencia para la superficie. El objetivo de esta etapa es definir un relieve de referencia para la superficie que se ha medido con el fin de comparar la medida con la referencia. El relieve de referencia puede extraerse directamente de un modelo 3D de la superficie, estimarse mediante un modelo matemático o analizarse con una combinación de las dos técnicas.

Por ejemplo, si se extrae del modelo 3D, la superficie de referencia puede ser un plano o una porción de cilindro en una posición dada de la medida.

Si se trata de un modelo matemático, la superficie de referencia puede ser un plano, una porción de cilindro o una forma paramétrica general cuyos coeficientes y cuya posición se calculan para estar lo más cerca posible del relieve medido. Ventajosamente, el relieve de referencia se calcula mediante una combinación de las dos técnicas: el modelo 3D de referencia indica el tipo y los principales parámetros de la forma paramétrica de referencia (por ejemplo, una porción cilíndrica de un radio dado) y la posición de la forma paramétrica de referencia es estimada por el modelo matemático.

- Etapa 2: Cálculo de las diferencias entre el relieve medido y el relieve de referencia. Esta etapa permite calcular, en cada punto de la superficie medida, la posición o variación de la superficie con respecto a la referencia: los valores positivos indicarán salientes de material y los valores negativos, huecos. Esta etapa permite crear un mapa de profundidad que contiene los posibles defectos. Ventajosamente, esta etapa contiene además una etapa de filtrado, por ejemplo, de tipo gaussiano o medio, para reducir el ruido de medida y obtener un mapa de profundidad más sencillo de aprovechar.

- Etapa 3: Localización de los extremos locales en el mapa de profundidad. El objetivo de esta etapa es volver a censar todas las zonas en que la variación de superficie en valor absoluto es superior a un cierto umbral; por ejemplo 0,5 mm. En la práctica, estas zonas son a priori defectos estructurales.

- Etapa 4: Caracterización de cada extremo local. Para cada una de las zonas encontradas en la etapa 3, el objetivo es calcular varias magnitudes que permitan caracterizar sencillamente el defecto. Normalmente, se calcularán los valores siguientes:

- + Profundidad o saliente máximo,
- + Superficie del defecto,
- + Pendiente máxima del defecto.

Según la aplicación, pueden calcularse también otras magnitudes, y el conjunto de las magnitudes utilizadas permite suministrar una caracterización textual del defecto.

La ejecución del conjunto de las etapas 1 a 4 para cada adquisición permite constituir una lista de defectos caracterizados por un mapa de profundidad, magnitudes representativas y una indicación textual.

5 Ventajosamente, pueden generarse también estadísticas globales, e indicaciones suplementarias calculadas a partir del conocimiento del conjunto de los defectos. Por ejemplo, la densidad de defectos puede calcularse por zona, y para cada defecto su distancia más cercana a otros defectos. Estos datos pueden ser útiles para evaluar mejor la aceptabilidad o no de determinados daños. Finalmente, el sistema puede ser programado para proporcionar automáticamente una indicación sobre cómo proseguir, por ejemplo, con una reparación o una supervisión, según reglas preprogramadas. Estas reglas preprogramadas pueden estar integradas por ejemplo en el modelo 3D y así
10 depender de la localización de los defectos.

La figura 5 es un esquema funcional de los diferentes medios implementados por el vehículo aéreo motorizado de medida del relieve de una pluralidad de zonas de interés de una superficie de un objeto predeterminado que se va a inspeccionar según un modo preferente de la invención.
15

Dicho vehículo comprende al menos un telémetro láser 32 y al menos un sistema inercial 33. Dicho sistema inercial 33 comprende por ejemplo tres acelerómetros y tres giroscopios. El telémetro láser 32 y el sistema inercial 33 están montados en el marco 20 del vehículo o directamente en la barquilla 21.

20 Los datos obtenidos de estos dos instrumentos alimentan un módulo de cálculo 34 de la posición del vehículo móvil y de control del equipo de medida tridimensional 14.

Este módulo 34 controla la implementación de la ley de control 35 descrita anteriormente en relación con el sistema de pilotaje.
25

El módulo de cálculo 34 y la ley de control 35 forman el sistema de pilotaje.

Una vez adquiridas las medidas tridimensionales por el equipo de medida 14, el módulo 36 de compensación corrige las medidas a partir del perfil de movimiento determinado por el proceso descrito anteriormente.
30

Según una realización no representada en las figuras, el vehículo comprende además un módulo de acceso a una modelización tridimensional de la superficie de la aeronave 9 y un módulo de localización de la posición relativa del vehículo 20 con respecto a esta modelización tridimensional de la superficie de la aeronave para inspeccionar, de manera que pueda asociar a cada zona de interés (12a, 12b, 12c) a la que apunta el equipo (14) de medida las coordenadas de la zona de interés en un punto de referencia de la modelización tridimensional de la superficie. Esta modelización 3D es por ejemplo una modelización poligonal de la superficie del objeto. El módulo de localización de la posición del vehículo con respecto a esta modelización 3D puede ser de cualquier tipo. Por ejemplo, puede tratarse de un módulo que implementa los principios descritos en la solicitud de patente WO2017/121936 a nombre del solicitante.
35

40 Los datos corregidos pueden ser transmitidos a continuación hacia una estación terrestre 50 por medio de un sistema de comunicación 51. Esta transmisión de los datos corregidos hacia una estación terrestre 50 es por ejemplo una transmisión inalámbrica, que puede ser de cualquier tipo.

REIVINDICACIONES

1. Vehículo aéreo (10) motorizado de medida del relieve de una pluralidad de zonas de interés (12a, 12b, 12c) de una superficie de un objeto (9) predeterminado para inspeccionar, comprendiendo dicho vehículo aéreo:

- un marco (20) portador,
- medios motorizados (11, 13) de sustentación y de desplazamiento de dicho marco (20) portador,
- un equipo (14) de medida tridimensional de una zona de interés (12a, 12b, 12c) a la que apunta dicho equipo (14) montado en una barquilla (21) conectada mecánicamente a dicho marco (20) portador, comprendiendo dicho equipo (14) una fuente de emisión de una onda (15), denominada onda de referencia, un receptor matricial (16) de una onda reflejada por dicha zona de interés (12a, 12b, 12c) a la que apunta dicho equipo (14) y una unidad de tratamiento (38) configurada para poder determinar una medida del relieve de dicha zona de interés (12a, 12b, 12c) a la que apunta dicho equipo (14) a partir del análisis de dicha onda de referencia y de dicha onda reflejada,
- un sistema de pilotaje (34, 35) automático de dicho vehículo configurado para poder hacer pasar dicho vehículo de un modo, denominado modo de navegación, donde el vehículo puede ser desplazado de una zona de interés (12a, 12b, 12c) hacia una zona de interés subsiguiente (12a, 12b, 12c) mediante el control de los medios motorizados (11, 13) de sustentación y de desplazamiento, a un modo, denominado modo estabilizado, donde dichos medios motorizados (11, 13) de sustentación y de desplazamiento están controlados para poder mantener constante al menos un parámetro cinemático de dicho vehículo, elegido en el grupo que comprende la velocidad del vehículo, la aceleración del vehículo, la posición de vuelo del vehículo y una función de uno o varios de estos parámetros, que permite minimizar las vibraciones de dicho vehículo y donde dicho equipo (14) de medida puede proceder a la adquisición de una medida tridimensional de una zona de interés (12a, 12b, 12c),

caracterizado porque

dicho sistema de pilotaje (34, 35) automático está configurado además para poder, en las proximidades de cada zona de interés, bascular del modo navegación al modo estabilizado cuando dicho vehículo presenta un estado definido por al menos un parámetro cinemático del vehículo, adyacente a un estado, denominado estado de anticipación definido por al menos este parámetro cinemático del vehículo, determinado a partir de un estado, denominado estado de adquisición, que corresponde a un valor objeto de este parámetro cinemático para efectuar la adquisición de esta zona de interés y a una temporización, denominada temporización de anticipación, que corresponde al tiempo necesario para garantizar el mantenimiento constante de este parámetro por el vehículo permitiendo la adquisición de una medida tridimensional de dicha zona de interés (12a, 12b, 12c) por dicho equipo (14) de medida.

2. Vehículo según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicha barquilla (21) comprende una articulación (22) motorizada que presenta al menos un eje de cabeceo del equipo (14) de medida con respecto a dicho marco portador (20) de manera que pueda colocar dicho equipo (14) enfrente de una zona de interés (12a, 12b, 12c) que se va a medir.

3. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** comprende además al menos un telémetro láser (30, 31, 32) solidario con dicho marco portador (20) o de dicha barquilla (21) que forma un sensor de posicionamiento relativo del vehículo aéreo con respecto a dicha superficie del objeto para inspeccionar.

4. Vehículo según la reivindicación 3, **caracterizado porque** dicho sistema de pilotaje (34, 35) automático está configurado para poder controlar el paso en modo estabilizado en cuanto el telémetro o los telémetros láser (30, 31, 32) determinan que el vehículo está en una posición predeterminada de dicha zona de interés (12a, 12b, 12c).

5. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** comprende además un módulo de compensación (36) de las medidas tridimensionales adquiridas por dicho equipo (14) adaptado para definir un perfil de movimiento de dicho vehículo en el curso de dicha adquisición y corregir dichas medidas según este perfil de movimiento.

6. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** comprende además un módulo de acceso a una modelización tridimensional de dicha superficie de dicho objeto y un módulo de localización de la posición relativa del vehículo con respecto a dicha modelización tridimensional de dicha superficie de dicho objeto para inspeccionar, de manera que pueda asociar a cada zona de interés (12a, 12b, 12c) a la que apunta dicho equipo (14) de medida las coordenadas de la zona de interés en un punto de referencia de dicha modelización tridimensional de dicha superficie.

7. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** comprende además un módulo de transmisión (51) inalámbrica de las medidas de relieve a una estación terrestre (50).

8. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** comprende además un módulo de determinación de un mapa de profundidad que comprende un submódulo de determinación de un relieve de referencia de dicha superficie de dicho objeto inspeccionado a partir de un modelo 3D predeterminado de dicha superficie del objeto inspeccionado asociado a un modelo matemático predeterminado, y un submódulo de cálculo de las diferencias de profundidad entre dichas medidas del relieve de dichas zonas predeterminadas y dicho relieve de

referencia.

- 5 9. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** dicho equipo (14) de medida tridimensional comprende una cámara de emisión de una luz estructurada que forma dicha fuente de emisión (15) de dicha onda de referencia y una cámara de adquisición de imágenes de dicha zona de interés iluminada por luz estructurada, que forma dicho receptor matricial (16) de dicha onda reflejada.
- 10 10. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** dicho equipo (14) de medida tridimensional comprende un perfilómetro láser que forma dicha fuente de emisión (15) de dicha onda de referencia y una cámara de adquisición de imagen de dicha zona de interés iluminada por dicho perfilómetro láser, que forma dicho receptor matricial (16) de dicha onda reflejada.
- 15 11. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 **caracterizado porque** dicho equipo (14) de medida tridimensional comprende un flash lidar que forma dicha fuente de emisión (15) de dicha onda de referencia y una cámara de adquisición de imagen de dicha zona de interés iluminada por dicho flash lidar, que forma dicho receptor matricial (16) de dicha onda reflejada.
- 20 12. Vehículo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado porque** dichos medios motorizados (11, 13) de sustentación y de desplazamiento de dicho vehículo comprenden al menos cuatro motores propulsivos.
- 25 13. Procedimiento de control de un vehículo aéreo (10) motorizado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado porque** comprende las etapas que consisten en:
- 30 - definir una lista de zonas de interés (12a, 12b, 12c) de una superficie de un objeto predeterminado para inspeccionar,
- definir un perfil de navegación del vehículo entre las diferentes zonas de interés (12a, 12b, 12c) según una cronología predeterminada,
- desplazar el vehículo aéreo (20) hacia una primera zona de interés,
35 - ajustar la barquilla (21) del vehículo para apuntar a dicha zona que se va a medir con dicho equipo (14) de medida tridimensional,
- en la proximidad inmediata de la zona de interés, pasar el vehículo a modo estabilizado y activar la adquisición de la medida tridimensional de la zona de interés,
- al final de la adquisición, pasar el vehículo a modo navegación,
- desplazar el vehículo aéreo hacia la zona de interés siguiente del perfil de navegación y repetir las operaciones anteriores hasta la última zona de interés de dicho perfil de navegación.

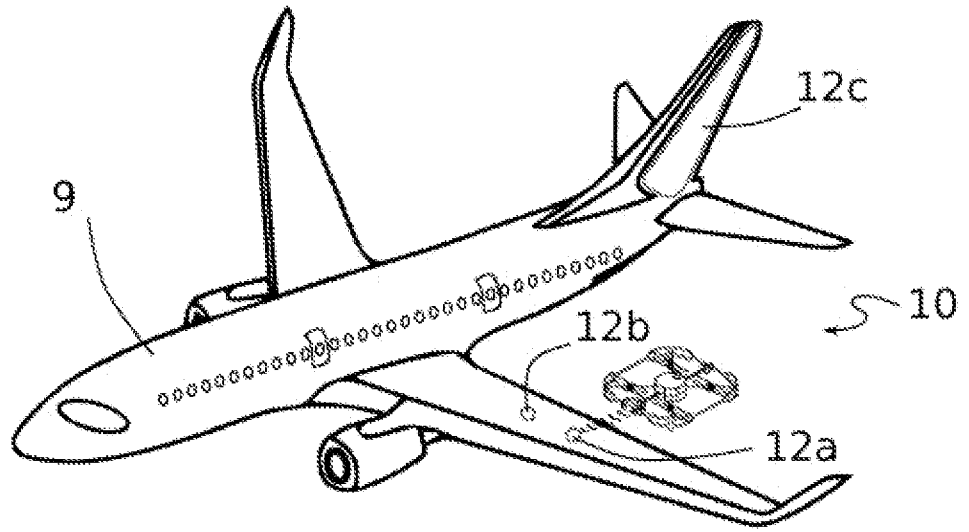


Figura 1

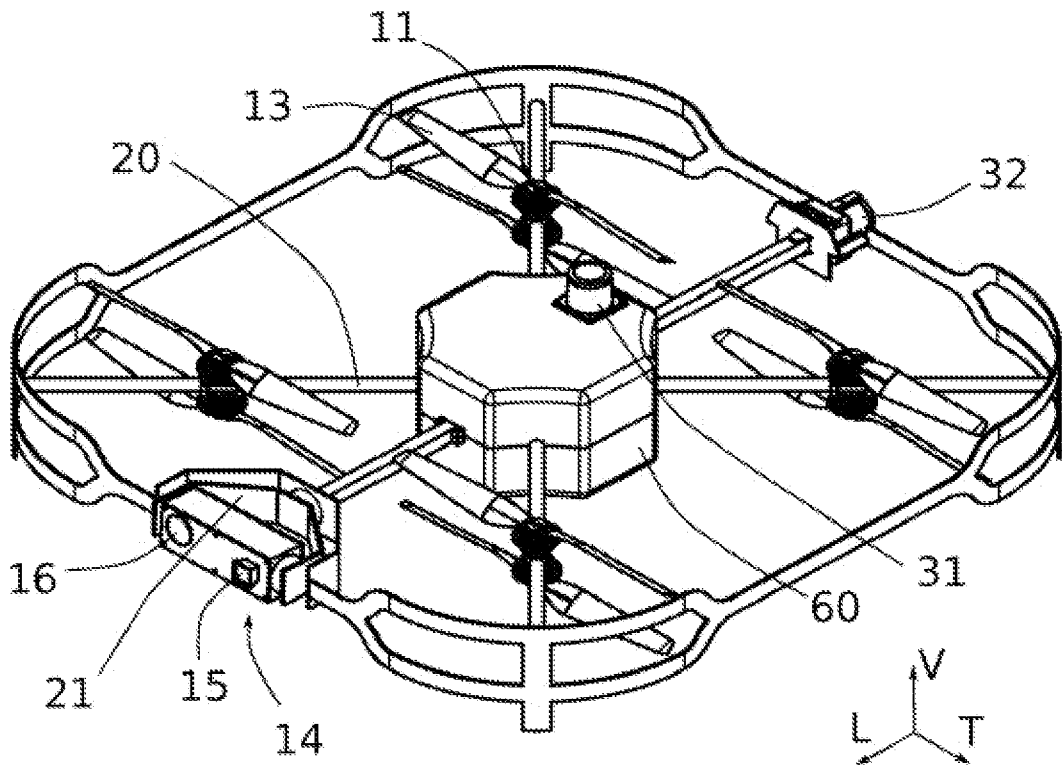


Figura 2

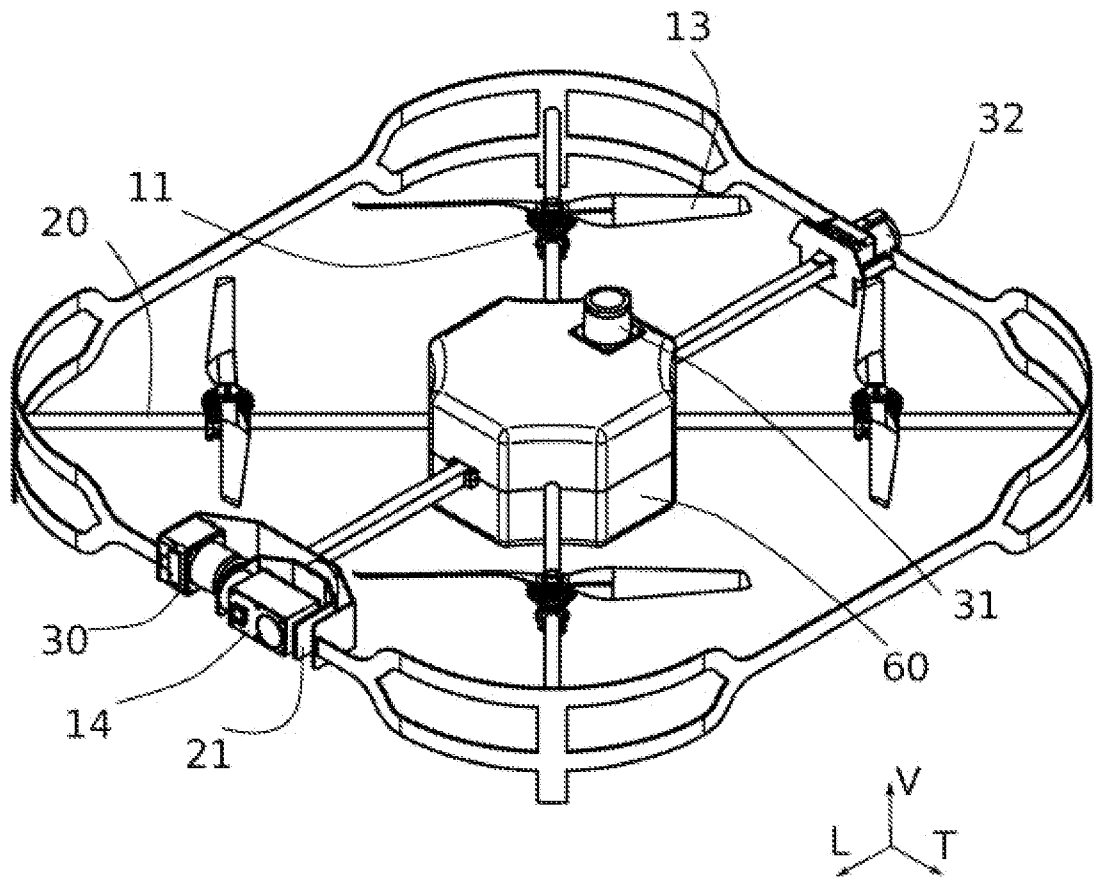


Figura 3

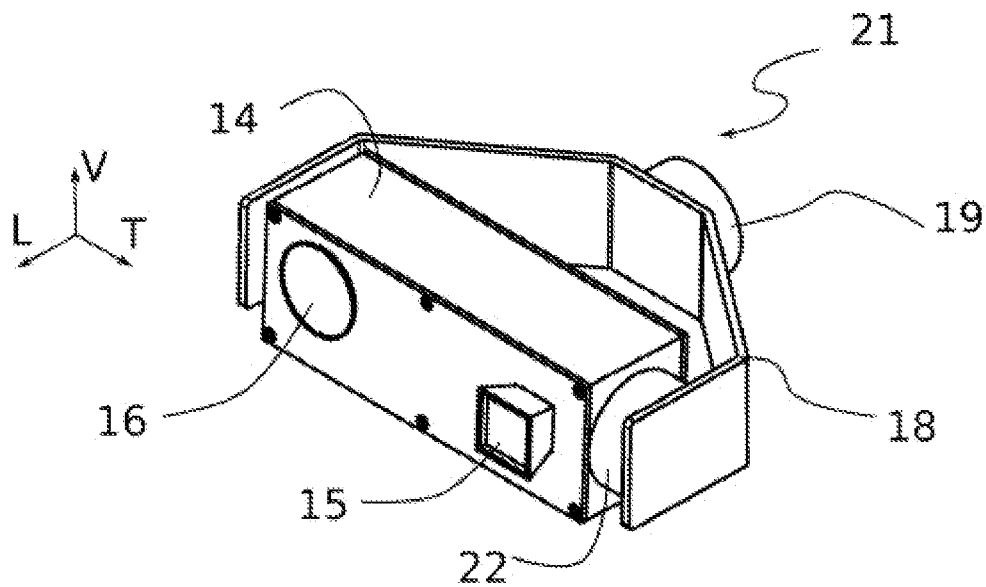


Figura 4

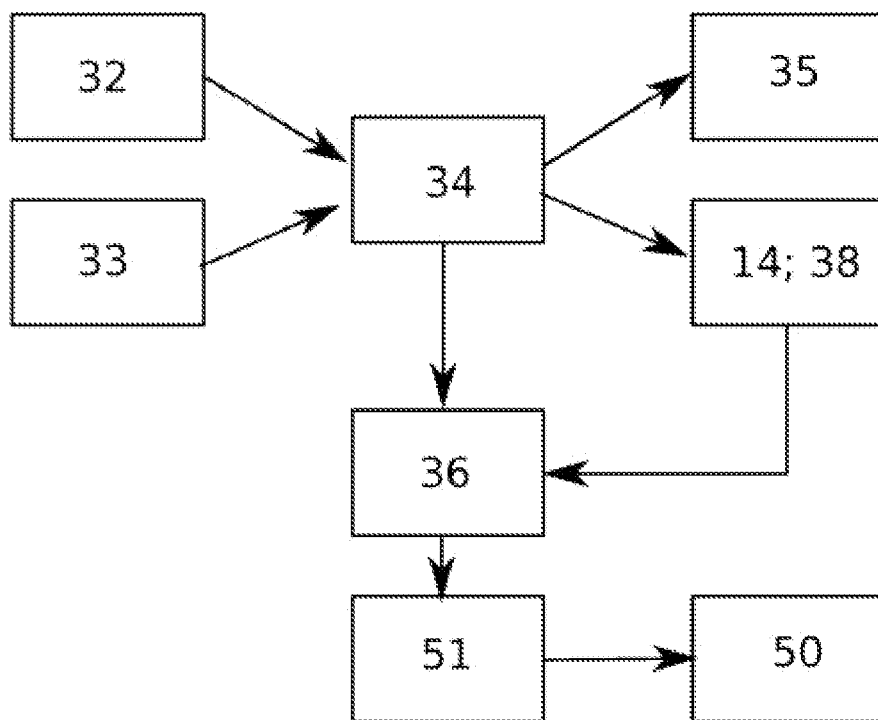


Figura 5