



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 969 707**

⑮ Int. Cl.:

G05D 1/00 (2006.01)
F03D 17/00 (2006.01)
B64C 39/02 (2013.01)
G01M 1/00 (2006.01)
G06V 20/10 (2012.01)
G06V 20/17 (2012.01)
G06V 20/64 (2012.01)
G06F 18/00 (2013.01)
B64U 101/00 (2013.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑥ Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.09.2019 PCT/GB2019/052500**

⑦ Fecha y número de publicación internacional: **19.03.2020 WO20053560**

⑨ Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.09.2019 E 19766337 (0)**

⑩ Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.01.2024 EP 3850455**

⑮ Título: **Sistemas de control y navegación**

⑯ Prioridad:

**10.09.2018 GR 20180100410
28.09.2018 GB 201815864**

⑯ Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.05.2024

⑯ Titular/es:

**PERCEPTUAL ROBOTICS LIMITED (100.0%)
5 Hope Road, Avon
Bristol BS3 3NZ, GB**

⑯ Inventor/es:

**KARACHALIOS, KONSTANTINOS;
NIKOLAIDIS, DIMITRIOS;
DRISCOLL-LIND, KEVIN y
GREATWOOD, COLIN**

⑯ Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 969 707 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

Sistemas de control y navegación

Descripción de la invención

5 Las realizaciones de la presente invención se refieren a sistemas de control y navegación para vehículos autónomos y, en realizaciones concretas, para vehículos autónomos no tripulados.

Con la reducción del coste de la tecnología de sensores y la potencia de computación, entre otros factores, recientemente se han producido grandes avances en relación con los vehículos autónomos, incluidos los vehículos autónomos no tripulados (conocidos coloquialmente como "drones").

10 Tales vehículos pueden estar controlados por un operador humano desde una ubicación remota con respecto al dron, y este control puede estar parcialmente automatizado. Por ejemplo, en el caso de un vehículo aéreo, uno o varios de los controles de vuelo pueden ser autónomos, de manera que se simplifique el papel del operador. No obstante, existe un deseo de proporcionar drones completamente autónomos que sean capaces de ejecutar tareas sustancialmente sin intervención del operador.

15 Los drones efectivos sustancialmente completamente autónomos reducirán la necesidad de un operador cualificado (simplificando y haciendo menos costosas las tareas que completen dichos drones), reducirán el riesgo de errores del operador y ayudarán a garantizar la repetibilidad, además de posibilitar un enfoque sistemático de ciertas tareas.

20 Algunas tareas en las que ya se están utilizando drones incluyen la inspección de objetos y estructuras. En particular, los drones aéreos han demostrado un gran potencial a este respecto, reduciendo la necesidad de inspecciones realizadas por humanos (que pueden ser extremadamente difíciles en relación con algunos objetos y estructuras).

25 Resulta difícil incrementar el grado de automatización de los drones para ejecutar tales tareas. En particular, el dron debe navegar dentro de un entorno real en el que los objetos no siempre se encuentran en una ubicación conocida y/o predeterminada, y en la que el dron (y otros objetos) están constantemente expuestos a condiciones ambientales cambiantes.

30 Por consiguiente, existe la necesidad de proporcionar sistemas de control y navegación locales para vehículos autónomos, y/o mejores sistemas de control y navegación para vehículos autónomos.

"Structural Inspection Path Planning via Iterative Viewpoint Resampling with Application to Aerial Robotics", Andreas Bircher et al, 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 1 de mayo de 2015, páginas 6423-6430, divulga un algoritmo que, según la publicación, proporciona soluciones eficientes para el problema de la planificación de la ruta de inspección para estructuras 3D complejas. El algoritmo adopta una representación de malla triangular de la estructura y utiliza un paradigma de optimización alterna en dos pasos para encontrar buenos puntos de vista que proporcionen cobertura completa y una ruta de conexión que tenga un coste bajo. En cada iteración, se escogen los puntos de vista de manera que se reduce el coste de conexión y, por consiguiente, se optimiza el recorrido. En ambos pasos se respetan las limitaciones del vehículo y del sensor. Se proporcionan implementaciones de muestra para sistemas aéreos no tripulados de aeronave de alas giratorias y de alas fijas. Las características del algoritmo resultantes se evalúan utilizando estudios de simulación, así como múltiples casos de ensayo experimentales reales con ambos tipos de vehículos.

35 En consecuencia, a continuación se enumeran algunos aspectos de la presente invención y en las reivindicaciones adjuntas.

40 Se describen, con carácter meramente ejemplar, realizaciones de la invención con referencia a las ilustraciones adjuntas, en los que:

45 La Figura 1 muestra un ejemplo de vehículo autónomo de algunas realizaciones;

La Figura 2 muestra una vista esquemática de un vehículo autónomo de algunas realizaciones;

La Figura 3 muestra una vista de una estación de base de algunas realizaciones;

La Figura 4 muestra una vista esquemática de un dispositivo de interfaz de operador de algunas realizaciones;

La Figura 5 muestra un ejemplo de sistema de algunas realizaciones;

50 La Figura 6 muestra objetivos de inspección en relación con una turbina eólica;

La Figura 7 muestra objetivos de inspección y ubicaciones de inspección en relación con una turbina eólica;

La Figura 8 muestra una desalineación de nube de puntos:

La Figura 9 muestra un diagrama de flujo conforme a algunas realizaciones;

La Figura 10 muestra un vehículo autónomo realizando una operación de inspección en relación con un objeto;

La Figura 11 muestra un vehículo autónomo realizando una operación de inspección en relación con un objeto;
y

5 La Figura 12 muestra un diagrama de flujo de un proceso de generación y combinación de modelos en vuelo conforme a algunas realizaciones;

Las realizaciones de la presente invención pueden incluir un vehículo autónomo 1. El vehículo autónomo 1 podría adoptar varias formas diferentes y muchas de las realizaciones se describen con referencia al vehículo autónomo 1 como vehículo aéreo (es decir, una aeronave). No obstante, el vehículo autónomo 1 podría ser, 10 por ejemplo, un vehículo terrestre (configurado para moverse por una superficie de suelo) o una nave acuática (configurada para moverse por el agua) o un vehículo anfibio.

El vehículo autónomo 1 puede ser un helicóptero multirrotor 1 y, en aras de la comodidad, se describirán realizaciones en relación con un helicóptero multirrotor 1 (y, en particular, un cuadricóptero); véase por ejemplo la figura 1.

15 El vehículo autónomo 1 puede incluir un bastidor 11 (es decir, un chasis); véase por ejemplo la figura 1. El bastidor 11 puede estar configurado para soportar un sistema de propulsión 12 del vehículo autónomo 1; véase por ejemplo la figura 2. El sistema de propulsión 12 está configurado para propulsar el movimiento del vehículo autónomo 1. En consecuencia, el sistema de propulsión 12 puede incluir uno o más motores 121 y/o uno o más motores 122. Cada uno del uno o más motores 121 puede ser un motor eléctrico y cada uno del uno o más motores 122 puede ser un motor de combustión interna. El sistema de propulsión 12 puede incluir una o más cajas de marchas u otros sistemas de transmisión mecánica.

20 El sistema de propulsión 12 puede estar configurado para propulsar el movimiento rotatorio, por ejemplo, de uno o más elementos de propulsión 13 —véanse por ejemplo las figuras 1 y 2— del vehículo autónomo 1 con respecto al bastidor 11 alrededor de los respectivos ejes de rotación (mediante una caja de cambios u otro sistema de transmisión mecánica, o por otros medios). El o cada elemento de propulsión 13, cuando es accionado de esta manera, está configurado para propulsar el movimiento del vehículo autónomo 1, p. ej., por el aire, por el suelo, por el agua, etc.

25 El o cada elemento de propulsión 13 puede incluir, por ejemplo, una hélice, un rotor o una rueda respectivos. En el caso de una aeronave de alas giratorias, por ejemplo, el o cada elemento de propulsión 13 puede incluir un rotor. El o cada elemento de propulsión 13 puede estar configurado para, al rotar, causar el movimiento del vehículo autónomo 1 en al menos una dirección.

30 Como se apreciará, dependiendo de la naturaleza del vehículo autónomo 1 pueden incorporarse disposiciones relativamente complejas de los elementos de propulsión 13. Esto se aplica en especial a las aeronaves de alas giratorias, de las cuales existen numerosas configuraciones diferentes conocidas.

35 En algunas realizaciones, el sistema de propulsión 12 puede incluir uno o más actuadores que controlan o propulsan el movimiento del vehículo autónomo 1. Por ejemplo, el sistema de propulsión 12 puede incluir uno o más mecanismos de dirección que están configurados para mover uno o más elementos orientables (tales como ruedas o un timón) del vehículo autónomo 1. El sistema de propulsión 12 puede incluir uno o más actuadores de control de vuelo que están configurados para mover una o más superficies de control del vehículo autónomo 1 (pueden incorporarse actuadores y superficies de control similares para otros tipos de naves, como actuadores para naves acuáticas, y deberían entenderse en consecuencia los actuadores y superficies de control de "vuelo"). En términos generales, estos son otros ejemplos de elementos de propulsión 13, y los actuadores pueden estar accionados eléctricamente o hidráulicamente, por ejemplo.

45 En el caso de un cuadricóptero como el vehículo autónomo 1, por ejemplo, puede haber cuatro elementos de propulsión 13, cada uno de los cuales comprende un rotor. No obstante, como en el ejemplo mostrado, un cuadricóptero también puede utilizar una configuración coaxial de elementos de propulsión 13, de tal manera que haya un total de ocho elementos de propulsión 13 dispuestos en cuatro pares coaxiales. Esto, como se apreciará, es tan solo un ejemplo de configuración.

50 La configuración exacta de los elementos de propulsión 13 con respecto al bastidor 11 dependerá de la naturaleza del vehículo autónomo 1 y de los movimientos deseados del vehículo autónomo 1. En algunas realizaciones en las que el vehículo autónomo 1 es un helicóptero multirrotor, el vehículo autónomo 1 incluye una pluralidad de elementos de propulsión 13 que están dispuestos con ejes rotatorios que se encuentran en posición generalmente vertical durante el funcionamiento normal. En aeronaves de alas fijas y/o naves acuáticas y/o vehículos terrestres, el o cada elemento de propulsión 13 tiene un eje rotatorio que se encuentra en posición sustancialmente horizontal durante el uso normal.

55 En algunas realizaciones, el bastidor 11 incluye varios brazos 111 y cada brazo 111 puede portar uno o más de los elementos de propulsión 13. El bastidor 11 puede incluir una estructura principal 112 que puede estar situada en posición generalmente central dentro del vehículo autónomo 1 en algunas realizaciones. El

bastidor 11 puede incluir una o más patas 113 que están configuradas para soportar la estructura principal 112 con respecto a una superficie de suelo. En algunas realizaciones, es posible que no se incorporen la una o más patas 113 y que el uno o más brazos 111 con sus elementos de propulsión 13 proporcionen este soporte (p. ej., en vehículos autónomos 1 que estén configurados para moverse sobre la superficie del suelo con un elemento de propulsión 13 en forma de una rueda).

En algunas realizaciones, el sistema de propulsión 12 está montado principalmente en la estructura central 112 y se puede transmitir potencia mecánica al o cada elemento de propulsión 13 utilizando una transmisión mecánica (como se describe aquí).

El sistema de propulsión 12 está conectado a una fuente de alimentación 14 del vehículo autónomo 1. En el caso de un sistema de propulsión 12 que incluya uno o más motores 121 (esto es, motores eléctricos), la fuente de alimentación 14 puede incluir una batería, por ejemplo, u otra forma de dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica. En caso de que el sistema de propulsión 12 incluya uno o más motores 122 (esto es, motores de combustión interna), la fuente de alimentación 14 puede incluir un depósito de combustible (que puede ser un combustible basado en hidrocarburos, como gasolina, gas natural, gas licuado del petróleo o similar). En algunas realizaciones, la fuente de alimentación 14 puede incluir un generador de electricidad (por ejemplo, una pila de combustible o panel solar o similar) que esté configurado para generar energía eléctrica en lugar de para almacenarla.

Como se apreciará, por lo tanto, el flujo de energía eléctrica y/o de combustible al o cada motor eléctrico 121 y/o motor de combustión interna 122 puede estar controlado por el sistema de propulsión 12. En consecuencia, el sistema de propulsión 12 puede controlarse para alterar una o más características operativas del o cada motor eléctrico o motor de combustión interna 121,122, por ejemplo la velocidad a la que el motor eléctrico y/o motor de combustión interna 121,122 acciona el elemento de propulsión 13 asociado. Del mismo modo, el sistema de propulsión 12 puede controlar el funcionamiento de uno o más otros actuadores, como se describe aquí.

La fuente de alimentación 14 puede estar montada en el bastidor 11 (p. ej., en su estructura central 112).

El sistema de propulsión 12 está conectado comunicativamente a un sistema de control de vuelo 15 del vehículo autónomo 1. El sistema de control de vuelo 15 está configurado para controlar el funcionamiento del sistema de propulsión 12 para controlar uno o más aspectos del funcionamiento (p. ej., movimiento) del vehículo autónomo 1. Si bien está descrito como un sistema de control de vuelo 15, se apreciará que esta descripción se asigna teniendo en mente principalmente aeronaves. Para realizaciones en las que el vehículo autónomo 1 no sea una aeronave, puede que se aplique una descripción distinta al sistema de control de vuelo 15, como por ejemplo, un "sistema de control de propulsión" (que debería entenderse como abarcador del sistema de control de vuelo 15).

El sistema de control de vuelo 15 puede adoptar la forma de un ordenador de control de vuelo debidamente programado (de nuevo, esta descripción puede cambiarse a ordenador de control de propulsión en realizaciones en las el vehículo autónomo 1 no sea una aeronave).

El sistema de control de vuelo 15 puede estar montado en el bastidor 11 (p. ej., en su estructura central 112).

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema de control de vuelo 15 está configurado para controlar el funcionamiento del sistema de propulsión 12 y, teniendo esto en cuenta, el sistema de control de vuelo 15 está conectado comunicativamente a un sistema de navegación 16 del vehículo autónomo 1. El sistema de navegación 16 está configurado para transmitir instrucciones al sistema de control de vuelo 15 para controlar el movimiento del vehículo autónomo 1 conforme a un plan de navegación (esto es, un plan de vuelo que defina una ruta de vuelo) almacenado en y/o generado por el sistema de navegación 16. En algunas realizaciones, el sistema de control de vuelo 15 está configurado para controlar el funcionamiento del sistema de propulsión 15 para controlar la orientación y/o posición del vehículo autónomo 1. En algunas realizaciones, en las que el vehículo autónomo 1 tiene capacidad de movimiento en uno o más de un grado de libertad hacia arriba-hacia abajo, un grado de libertad izquierda-derecha, un grado de libertad hacia delante-hacia atrás, un grado de libertad de alabeo, un grado de libertad de guñada y un grado de libertad de cabeceo, el sistema de control de vuelo 15 está configurado para controlar el movimiento en ese o esos grados de libertad de movimiento.

Dicho de otro modo, el sistema de control de vuelo 15 se ocupa principalmente de controlar el vehículo autónomo 1 para ejecutar movimientos que sean especificados por el sistema de navegación 16. El sistema de navegación 16 determina hacia dónde debe desplazarse el vehículo autónomo y el sistema de control de vuelo 15 está configurado para controlar el vehículo autónomo 1 para moverlo de la manera deseada siguiendo las instrucciones del sistema de navegación 16.

El sistema de navegación 16 puede adoptar la forma de un ordenador de navegación debidamente programado, y este ordenador puede ser el mismo ordenador que el ordenador de control de vuelo, en cuyo caso el ordenador ejecuta los programas adecuados de tal manera que desempeña ambas funciones.

En algunas realizaciones, el sistema de navegación 16 puede estar montado en el bastidor 11 (p. ej., en su estructura central 112). No obstante, en algunas realizaciones, el sistema de navegación 16 puede ser remoto

respecto del vehículo autónomo 1. Dicho de otro modo, el sistema de navegación 16 puede estar conectado comunicativamente al sistema de control de vuelo 15 (esto es, al vehículo autónomo 1) pero puede no desplazarse junto con el vehículo autónomo 1. En algunas realizaciones, el sistema de navegación 16 es un sistema distribuido de tal manera que algunas partes del sistema son transportadas por el vehículo autónomo 1 y otras partes están situadas remotamente con respecto al vehículo autónomo 1.

5 El vehículo autónomo 1 incluye un sistema sensor 17. El sistema sensor 17 está configurado para detectar uno o más aspectos del entorno del vehículo autónomo 1 y transmitir este uno o más aspectos detectados al sistema de navegación 16 y/o al sistema de control de vuelo 15 para permitir a estos sistemas 15/16 desempeñar sus respectivas funciones.

10 En consecuencia, el sistema sensor 17 puede incluir uno o más sensores 171, cada uno de los cuales está configurado para detectar un aspecto diferente del entorno del vehículo autónomo 1. Puede aludirse a este uno o más sensores 171 como un conjunto de sensores del vehículo autónomo 1. El uno o más sensores 171 puede incluir, por ejemplo, uno o más: acelerómetros, sensores giroscópicos, magnetómetros, sistemas de radionavegación (tales como un sistema radionavegación basado en satélite (p. ej., utilizando el sistema de posicionamiento global por satélite (GPS), GLONASS, Galileo, Beidou, IRNSS o QZSS)) y/o similares.

15 El uno o más sensores 171 generan salidas de sensor que se transmiten al sistema de control de vuelo 15 y/o al sistema de navegación 16. Estos sistemas 15/16 utilizan las salidas de sensor para controlar uno o más aspectos del funcionamiento del vehículo autónomo 1 basándose, al menos parcialmente, en las salidas de sensor.

20 El sistema sensor 17 puede estar montado en el bastidor 11 (p. ej., en su estructura central 112 en algunas realizaciones). En algunas realizaciones, no obstante, el uno o más sensores 171 del sistema sensor 17 pueden estar ubicados en otras ubicaciones sobre o alrededor del vehículo autónomo 1.

25 En algunas realizaciones, al menos uno del uno o más sensores 171 está situados, al menos parcialmente, en remoto respecto del vehículo autónomo 1 (es decir, no se transporta para el movimiento con el vehículo autónomo 1). Por ejemplo, el uno o más sensores 171 pueden incluir un sistema de radionavegación diferencial (por ejemplo, un sistema GPS diferencial). En tales realizaciones, el uno o más sensores 171 pueden incluir un sensor del sistema de radionavegación que es transportado por el vehículo autónomo 1 y que está conectado comunicativamente (p. ej., a través de un canal de comunicación inalámbrica; véase el sistema de comunicación 18) a una estación de base 2 (véanse las figuras 3 y 5, por ejemplo) que está configurada para 30 generar una señal diferencial. El sensor del sistema de radionavegación puede utilizar la señal diferencial para corregir una ubicación determinada localmente generada por el sensor del sistema de radionavegación (donde "localmente" en este caso significa determinada por el sensor del sistema de radionavegación transportado por el vehículo autónomo 1). En tales ejemplos, el sensor 171 puede entenderse como un sensor distribuido (de tal manera que la al menos parte de la estación de base 2 forma parte de ese sensor) o como un sensor 171 que recibe una salida de sensor procedente de otro sensor para generar una salida de sensor modificada o corregida. En algunas realizaciones, el sensor puede utilizar navegación cinética satelital en tiempo real.

35 El sistema sensor 17 puede incluir un sensor de telemetría como uno de los uno o más sensores 171. El sensor de telemetría está configurado para determinar una distancia de otro objeto respecto del sensor de telemetría (y, por ende, respecto del vehículo autónomo 1 en el que está montado el sensor de telemetría). La distancia puede transmitirse, por ejemplo, en forma de datos de sensor. El sensor de telemetría puede incluir, por ejemplo, un sensor de detección de luz y telemetría (esto es, un sensor de LiDAR). El sensor de telemetría puede incluir, por ejemplo, un sensor de navegación por sonido y telemetría (esto es, un sensor de sonar u otro sensor acústico, como un sensor de telemetría por ultrasonidos). El sensor de telemetría puede incluir, por ejemplo, un sensor de detección de radio y telemetría (esto es, un sensor de radar). El sensor de telemetría puede incluir, por ejemplo, un sensor de generación de imagen de distancia (que puede utilizar, por ejemplo, imágenes estereoscópicas (p. ej., de la luz visible) para determinar la distancia). El sensor de telemetría puede incluir un sensor de telemetría 1-D y/o un sensor de telemetría 2-D y/o un sensor de telemetría 3-D.

40 El vehículo autónomo 1 puede incluir un sistema de inspección 19 configurado para inspeccionar otro objeto o volumen (esto es, un objeto distinto al vehículo autónomo 1). El sistema de inspección 19 puede estar configurado para transmitir datos de inspección que sean indicativos de una o más características del otro objeto. Por lo tanto, el sistema de inspección 19 incluye uno o más sensores de inspección 191. En algunas realizaciones, el sistema de inspección 19 incluye una cámara 191a (como sensor de inspección 191) que está configurada para capturar una o más imágenes del otro objeto. La cámara 191a puede estar configurada para capturar luz en el espectro de luz visible, pero adicionalmente o alternativamente puede estar configurada para capturar imágenes de luz infrarroja y/o ultravioleta del objeto. Como se apreciará, por consiguiente, la cámara 191a puede comprender más de un subsistema de cámara, p. ej., con cada subsistema de cámara configurado para capturar una imagen en un espectro diferente o desde una posición diferente con respecto a por lo menos otro subsistema de cámara (p. ej., para obtener una imagen estereoscópica).

45 En algunas realizaciones, la cámara 191a o el subsistema de cámara pueden estar configurados para capturar una imagen de una polarización concreta de luz (lo cual puede ser especialmente útil para inspeccionar algunos otros objetos 5 o volúmenes).

En algunas realizaciones, el sistema de inspección 19 incluye uno o más sensores 191 que no son una cámara 191a. Por ejemplo, el sistema de inspección 19 puede incluir un sensor de calidad del aire 191b que puede estar configurado para detectar uno o más contaminantes en el aire (p. ej., partículas). El sistema de inspección 19 puede incluir un sensor de radiación 191c que puede estar configurado para detectar uno o más contaminantes en el aire (p. ej., partículas). El sistema de inspección 19 puede incluir un sensor acústico como uno de los uno o más sensores de inspección 191 que puede ser, por ejemplo, un sensor de ultrasonidos. El uno o más sensores de inspección 191 puede incluir un sensor de ensayo no destructivo que puede ser un sensor de ensayo no destructivo ultrasónico.

En algunas realizaciones, el sistema de inspección 19 puede incluir un proyector que está configurado para emitir (o proyectar) una señal hacia el objeto 5. La señal puede ser, por ejemplo, una señal acústica o electromagnética (p. ej., luz). El sistema de inspección 19 puede incluir, en tales realizaciones, un receptor que está configurado para recibir al menos parte de la señal emitida, p. ej., tras la reflexión desde el objeto 5. Una o más características del objeto 5 pueden ser determinadas por el sistema de inspección 19 utilizando la señal emitida y una porción recibida de la señal emitida (p. ej., tras la reflexión desde el objeto 5). El proyector puede estar configurado para proyectar luz estructurada y el sistema de inspección 19 puede incluir un así llamado sistema sensor de luz estructurada o escáner 3D de luz estructurada.

El o cada sensor de inspección 191 puede estar montado con respecto al bastidor 11 del vehículo autónomo 1 utilizando un respectivo dispositivo de montaje 193. En algunas realizaciones, puede haber múltiples sensores de inspección 191 montados con respecto al bastidor 11 mediante el mismo dispositivo de montaje 193.

El dispositivo de montaje 193 (o los dispositivos 193) utilizado para fijar el o cada sensor de inspección 191 puede adoptar varias formas diferentes. En algunas realizaciones, el dispositivo de montaje 193 está configurado para proporcionar una disposición posicional fija con respecto al bastidor 11. Como tal, el dispositivo de montaje 193 puede incluir, por ejemplo, un soporte sustancialmente rígido configurado para ser fijado al bastidor 11 (directa o indirectamente) y a por lo menos uno de los uno o más sensores de inspección 191. El dispositivo de montaje 193 puede incluir una armadura que está configurada para moverse con respecto a por lo menos parte del bastidor 11 de modo que la posición del sensor de inspección 191 pueda moverse con respecto al bastidor 11; este movimiento puede ser propulsado por un actuador controlado por un ordenador del sistema de inspección 192. En algunas realizaciones, el dispositivo de montaje 193 está configurado para proporcionar una orientación sustancialmente fija entre el sensor de inspección 191 y uno o más otros objetos (tales como el otro objeto 5). En tales realizaciones, el dispositivo de montaje 193 puede incluir un mecanismo de suspensión cardán que puede tener de uno a tres grados de libertad de movimiento. La provisión de un dispositivo de montaje 193 en forma de un mecanismo de suspensión cardán puede utilizarse en relación con un sensor de inspección 191 que incluye la cámara 191a, para ayudar a estabilizar la cámara 191a a fin de mejorar la calidad de una imagen capturada por la cámara 191a.

El sistema de inspección 19 puede incluir el ordenador del sistema de inspección 192 (que puede ser el mismo ordenador que el ordenador de navegación y/o el ordenador de control de vuelo, en cuyo caso el ordenador ejecuta los programas adecuados de tal manera que desempeña todas estas funciones). El ordenador del sistema de inspección 192 puede estar configurado para controlar uno o más aspectos del funcionamiento del o de cada sensor de inspección 191; por ejemplo, cuando la cámara 191a debe capturar una imagen o el sensor de calidad del aire 191b o el sensor de radiación 191c debe tomar una muestra, y/o uno o más parámetros del funcionamiento del o de cada sensor de inspección 191 (por ejemplo, en relación con la cámara 191a, enfoque, velocidad de obturación, tamaño de apertura y similares).

En algunas realizaciones, el ordenador del sistema de inspección 192 puede estar configurado para recibir los datos de inspección desde el o cada sensor de inspección 191 y puede almacenar esos datos de inspección para su posterior transmisión o liberación. El ordenador del sistema de inspección 192 puede estar configurado para determinar cuándo y cómo deben tratarse (p. ej., transmitirse o borrarse) los datos de inspección. El ordenador del sistema de inspección 192 puede, por lo tanto, incluir un medio de almacenamiento 192a que está configurado para almacenar los datos de inspección.

El sistema de inspección 19 puede estar montado en el bastidor 11 (p. ej., en su estructura central 112).

En algunas realizaciones, el vehículo autónomo 1 puede incluir un sistema de guía visual 20 que está configurado para capturar una o más imágenes para el uso por un operador para ayudar en el manejo y/o el control del vehículo autónomo 1 - (véase en otro punto del presente documento). Por consiguiente, el sistema de guía visual 20 está configurado para capturar una imagen (p. ej., utilizando una cámara del sistema de guía visual 20) y para generar datos de guía que representen esa imagen (p. ej., de tal manera que al menos parte de la imagen pueda reconstruirse sobre la base de los datos de guía).

El sistema de guía visual 20 puede estar montado sobre el bastidor 11 (p. ej., su estructura central 112) o puede estar montado en uno de los brazos 111 si están presentes.

El vehículo autónomo 1 puede incluir un sistema de comunicación 18. El sistema de comunicación 18 puede estar conectado comunicativamente a uno o más del sistema de propulsión 12, la fuente de alimentación 14, el sistema de control de vuelo 15, el sistema de navegación 16, el sistema sensor 17, el sistema de

inspección 19 y el sistema de guía visual 20. En particular, el sistema de comunicación 18 puede estar conectado comunicativamente a uno o más del ordenador de control de vuelo, el ordenador de navegación y el ordenador del sistema de inspección 191 (que pueden ser el mismo ordenador debidamente programado).

El sistema de comunicación 18 está configurado para transmitir datos desde el vehículo autónomo 1 a una ubicación remota (esto es, un elemento que no es transportado por el vehículo autónomo 1). El sistema de comunicación 18 también está configurado para recibir datos procedentes de una ubicación remota para el uso por el vehículo autónomo 1.

Un ejemplo de datos que pueden ser recibidos por el sistema de comunicación 18 incluye la señal diferencial, como se describe aquí. Otros datos que pueden ser recibidos por el sistema de comunicación 18 incluyen uno o más de: otros datos de sensor (esto es, datos procedentes de uno o más sensores situados en remoto respecto del vehículo autónomo 1 (p. ej., en la estación de base 2)), información de control (por ejemplo, información de control de vuelo) para el uso por el sistema de control de vuelo 15 para el control del funcionamiento del sistema de propulsión 12 (que puede ser información de control de vuelo directa de modo que se eluda en la práctica el sistema de navegación 16) e información de navegación (para su uso por el sistema de navegación 16).

El sistema de comunicación 18 puede incluir una o más interfaces de comunicación 181 y cada interfaz de comunicación 181 puede estar configurada para transmitir y/o recibir datos utilizando un canal y/o protocolo de comunicación diferente.

Una o más de las interfaces de comunicación 181 puede incluir una interfaz de comunicación inalámbrica (por ejemplo, una interfaz de comunicación por radiofrecuencia). La una o más interfaces de comunicación 181 pueden incluir una interfaz de comunicación de largo alcance inalámbrica y una interfaz de comunicación de corto alcance inalámbrica. La interfaz de comunicación de corto alcance inalámbrica puede estar configurada para transmitir y/o recibir datos a través de una distancia relativamente corta y puede utilizarse para información de control y/o navegación, por ejemplo (lo cual puede incluir los datos de guía). La interfaz de comunicación de largo alcance inalámbrica puede estar configurada para transmitir y/o recibir datos a través de una distancia relativamente más larga y puede utilizarse para datos menos críticos, tales como información de telemetría general o datos de inspección (como se describe en otro punto).

Por consiguiente, en algunas realizaciones, la una o más interfaces de comunicación 181 pueden incluir una pluralidad de interfaces de comunicación inalámbrica. La una o más interfaces de comunicación 181 pueden incluir una o más de una interfaz de comunicación wifi (u otra interfaz de comunicación que opere a una frecuencia aproximada de 2,4 GHz, 3,6 GHz, 5 GHz, y/o 60 GHz), una interfaz de comunicación que opere a una frecuencia aproximada de 433 MHz, 915 MHz y/o 2400 MHz, y/o una interfaz de comunicación que opere a una frecuencia aproximada de 315 MHz y/o 868 MHz, y/o una interfaz de red de comunicación móvil (que puede utilizar un sistema de comunicación de red de telefonía móvil de banda ancha).

El sistema de comunicación 18 puede estar montado sobre el bastidor 11 (p. ej., su estructura central 112) o puede estar montado en uno de los brazos 111 si están presentes.

La fuente de alimentación 14 puede estar configurada para suministrar energía eléctrica a uno o más del sistema de comunicación 18, el sistema de propulsión 12, el sistema de control de vuelo 15, el sistema de navegación 16, el sistema sensor 17, el sistema de inspección 19 y el sistema de guía visual 20.

La estación de base 2 —véase, por ejemplo, la figura 3— puede estar configurada para comunicarse con el vehículo autónomo 1 (y viceversa) a través del sistema de comunicación 18 del vehículo autónomo 1. En algunas realizaciones no se incorpora la estación de base 2. En algunas realizaciones, la estación de base 2 es una unidad que está configurada para ser colocada generalmente dentro de un área operativa del vehículo autónomo 1 (pero que puede retirarse y transportarse a un área operativa diferente para el vehículo autónomo 1 si fuera necesario). En algunos casos, la estación de base 2 es una unidad que tiene una ubicación geográfica sustancialmente fija y no puede retirarse y transportarse rápidamente a una nueva ubicación. En algunos casos, la estación de base 2 es o incluye un dispositivo de computación móvil, como por ejemplo un teléfono móvil, ordenador portátil o tableta.

La estación de base 2 puede incluir un sistema de comunicación de la estación de base 21 que está configurado para ser conectado comunicativamente al sistema de comunicación 18 del vehículo autónomo 1. El sistema de comunicación de la estación de base 21 puede incluir una o más interfaces de comunicación 211 y cada interfaz de comunicación 211 puede estar configurada para transmitir y/o recibir datos utilizando un canal y/o protocolo de comunicación diferente.

Una o más de las interfaces de comunicación 211 puede incluir una interfaz de comunicación inalámbrica (por ejemplo, una interfaz de comunicación por radiofrecuencia). La una o más interfaces de comunicación 211 pueden incluir una interfaz de comunicación de largo alcance inalámbrica y una interfaz de comunicación de corto alcance inalámbrica. La interfaz de comunicación de corto alcance inalámbrica puede estar configurada para transmitir y/o recibir datos a través de una distancia relativamente corta y puede utilizarse por ejemplo, para la comunicación con el vehículo autónomo 1. La interfaz de comunicación de largo alcance inalámbrica

puede estar configurada para transmitir y/o recibir datos a través de una distancia relativamente más larga y puede utilizarse para la conexión a un servidor remoto 3 y/o a Internet.

Por consiguiente, en algunas realizaciones, la una o más interfaces de comunicación 211 pueden incluir una pluralidad de interfaces de comunicación inalámbrica. La una o más interfaces de comunicación 211 pueden

5 incluir una o más de una interfaz de comunicación wifi (u otra interfaz de comunicación que opere a una frecuencia aproximada de 2,4 GHz, 3,6 GHz, 5 GHz, y/o 60 GHz), una interfaz de comunicación que opere a una frecuencia aproximada de 433 MHz, 915 MHz y/o 2400 MHz, y/o una interfaz de comunicación que opere a una frecuencia aproximada de 315 MHz y/o 868 MHz, y/o una interfaz de red de comunicación móvil (que puede utilizar un sistema de comunicación de red de telefonía móvil de banda ancha).

10 La estación de base 2 puede incluir un ordenador de la estación de base 22 que está programado para ejecutar una o más tareas, como se describe en el presente documento. El ordenador de la estación de base 22 puede estar conectado comunicativamente al sistema de comunicación de la estación de base 21 para ejecutar la comunicación de datos a y desde la estación de base 2 y, en particular, a y desde el ordenador de la estación de base 22.

15 El ordenador de la estación de base 22 puede incluir un medio de almacenamiento 221 cuya función se describe en el presente documento.

La estación de base 2 puede incluir sistema sensor de posición 23 que incluye al menos un sensor de posición 231 que está configurado para determinar una ubicación geográfica de la estación de base 2. El al menos un sensor de posición 231 puede incluir un sensor de sistema de radionavegación, como un sensor de sistema de radionavegación basado en satélite (p. ej., utilizando el sistema de posicionamiento global por satélite (GPS), GLONASS, Galileo, Beidou, IRNSS o QZSS)).

20 El sistema sensor de posición 23 puede estar conectado comunicativamente al ordenador de la estación de base 22 y/o al sistema de comunicación de la estación de base 21. Por consiguiente, el sistema sensor de posición 23 puede estar configurado para transmitir datos de posición de la estación de base al ordenador de la estación de base 22 y/o al sistema de comunicación de la estación de base 21 para su retransmisión a uno o más dispositivos (tales como el vehículo autónomo 1 y/o el servidor remoto 3).

25 En algunas realizaciones, la estación de base 2 (p. ej., utilizando el sistema sensor de posición 23) puede estar configurada para determinar una señal diferencial que se emite como al menos parte de los datos de posición de la estación de base (p. ej., para el uso por el vehículo autónomo 1 como se describe en el presente documento).

30 La estación de base 2 puede incluir una fuente de alimentación de la estación de base 24. En algunas realizaciones, la fuente de alimentación de la estación de base 24 puede ser una fuente de energía eléctrica y la fuente de alimentación de la estación de base 24 puede estar conectada a uno o más del sistema de comunicación de la estación de base 21, el ordenador de la estación de base 22 y el sistema sensor de posición 23 para suministrarles energía eléctrica.

35 En algunas realizaciones, la fuente de alimentación de la estación de base 24 incluye una o más de una batería, una conexión a una red de alimentación de energía eléctrica, un generador eléctrico (que puede incluir un motor de combustión interna) y un alternador de un vehículo (por ejemplo, un vehículo de apoyo utilizado para transportar el vehículo autónomo 1 al área operativa).

40 Una combinación del vehículo autónomo 1 y la estación de base 2 puede definirse, por ejemplo, como un sistema de vehículo autónomo 100 (véase, por ejemplo, la figura 5). No obstante, como se describe en otro punto, en algunas realizaciones no necesita incorporarse necesariamente la estación de base 2.

45 En algunas realizaciones, el sistema de vehículo autónomo 100 puede incluir un dispositivo de interfaz de operador 4 (véase, por ejemplo, la figura 4). En tales realizaciones, el sistema de vehículo autónomo 100 puede no incluir la estación de base 2, de tal modo que el sistema de vehículo autónomo 100 incluye el sistema de vehículo autónomo 100 y el dispositivo de interfaz de operador 4. En algunas realizaciones, el sistema de vehículo autónomo 100 incluye el vehículo autónomo 1, la estación de base 2 y el dispositivo de interfaz de operador 4. En tales realizaciones, el sistema de vehículo autónomo 100 puede incluir también el servidor remoto 3.

50 En algunas realizaciones, el dispositivo de interfaz de operador 4 incluye un dispositivo de computación 41 que está programado para proporcionar a un operador una interfaz 42 que permite al operador controlar uno o más aspectos del funcionamiento del vehículo autónomo 1.

55 El dispositivo de computación 41 puede ser un dispositivo de computación móvil como un teléfono móvil, una tableta o un ordenador portátil. Como tal, el dispositivo de computación 41 puede incluir una fuente de alimentación 43 como por ejemplo una batería.

El dispositivo de interfaz de operador 4 incluye un sistema de comunicación del dispositivo de computación 44 que está configurado para comunicarse con la estación de base 2 (p. ej., con el sistema de comunicación de la estación de base 21 y/o el vehículo autónomo 1 (p. ej., el sistema de comunicación 18 de este). En

consecuencia, el sistema de comunicación del dispositivo de computación 44 puede ser un sistema de comunicación cableado o inalámbrico que puede estar configurado para utilizar una interfaz de comunicación que se corresponde con las interfaces de comunicación 181, 211 que aquí se describen. En algunas realizaciones, el sistema de comunicación del dispositivo de computación 44 incluye una pluralidad de tales interfaces de comunicación y utiliza esas diferentes interfaces para comunicarse con la estación de base 21 y el vehículo autónomo 1.

En algunas realizaciones, la estación de base 2 y el dispositivo de interfaz de operador 4 son un mismo dispositivo 2,4.

El vehículo autónomo 1 (y el sistema de vehículo autónomo 100) puede estar configurado para inspeccionar otro objeto o volumen 5. Ese otro objeto o volumen 5 puede ser, por ejemplo, uno o más de una turbina eólica, células fotovoltaicas, estructuras externas de aeronaves (tales como alas, tren de aterrizaje, motores, cola y fuselaje), una obra de construcción, un rascacielos, una embarcación, un dique, un puente, una línea eléctrica, una tubería, un malecón, un muro portuario, defensas contra inundaciones, una línea ferroviaria, un puerto (para la calidad del aire), una ciudad (para la calidad del aire), un edificio, un tanque, un reactor nuclear o elementos asociados de una central nuclear, una carbonera, un cable (submarino o aéreo) y similares.

Como se apreciará, el uno o más sensores de inspección 191 incorporados como parte del vehículo autónomo 1 pueden seleccionarse en función de la naturaleza de la tarea de inspección que deberá desempeñar el vehículo autónomo 1.

Las realizaciones se describen con referencia específica a la inspección de una turbina eólica como el otro objeto 5 (esto es, el objeto de la tarea de inspección); no obstante, se apreciará que esta descripción se aplica igualmente a la inspección de otros objetos y volúmenes, tales como los aquí mencionados.

Como se pondrá de manifiesto, los diversos componentes del sistema de vehículo autónomo 100 aquí descritos se comunican entre sí utilizando sus respectivos sistemas de comunicación 18,21,44. Estas comunicaciones pueden tener lugar, por ejemplo, a través de cualquier de los canales de comunicación cableados o inalámbricos descritos en relación con estos sistemas 18,21,44.

En algunas realizaciones, la estación de base 2, si está presente, puede actuar como estación repetidora entre el dispositivo de interfaz de operador 4 y el vehículo autónomo 1, de manera que las comunicaciones entre el dispositivo de interfaz de operador 4 y el vehículo autónomo 1 son canalizadas a través de la estación de base 2, la cual puede actuar como un repetidor de señal y/o puede recibir las comunicaciones a través de un canal de comunicación y retransmitirlas por otro canal de comunicación (diferente).

El uso de la estación de base 2 como repetidor para comunicaciones puede reducir la potencia de transmisión requerida de los sistemas de comunicación 18,44 del vehículo autónomo 1 y del dispositivo de interfaz de operador 4.

En algunas realizaciones, la estación de base 2 puede actuar como repetidor para comunicaciones al servidor remoto 3, de manera que los datos enviados desde el vehículo autónomo 1 y/o el dispositivo de interfaz de operador 4 para el servidor remoto 3 se envían en primer lugar a la estación de base 2, la cual a continuación retransmite los datos al servidor remoto 3 (p. ej., utilizando una interfaz de comunicación diferente, por ejemplo una interfaz de comunicación de largo alcance).

El funcionamiento del vehículo autónomo 1, de la estación de base 2 y del dispositivo de interfaz de operador 4 (y del servidor remoto 3) es controlado por el uno o más programas informáticos ejecutados por el ordenador de control de vuelo y/o el ordenador de navegación y/o el ordenador del sistema de inspección y/o el ordenador de la estación de base 22 y/o el dispositivo de computación 41 y/o el servidor remoto 3. Como se apreciará, el funcionamiento de dichos ordenadores puede combinarse y/o distribuirse de la manera deseada para conseguir el control requerido. La presente descripción presenta una o más disposiciones de los programas informáticos, pero no debe entenderse como limitativa de la divulgación en su conjunto.

El ordenador de control de vuelo está configurado para ejecutar un programa de control de vuelo. El programa de control de vuelo está configurado para recibir instrucciones de control de vuelo que comprenden los movimientos deseados del vehículo autónomo 1 dentro de un volumen, esto es, del área operativa. El programa de control de vuelo puede estar configurado para recibir datos de entrada procedentes del sistema sensor 17 (p. ej., del uno o más sensores 171) que proporcionan al programa de control de vuelo datos de sensor que permiten al programa de control de vuelo intentar controlar el vehículo autónomo 1 conforme a las instrucciones de control de vuelo. El programa de control de vuelo puede, por ejemplo, no estar configurado para determinar un movimiento deseado del vehículo autónomo 1 sino que, en su lugar, recibe los movimientos deseados (en forma de las instrucciones de control de vuelo) y a continuación intenta ejecutar esos movimientos deseados.

Por consiguiente, el programa de control de vuelo puede estar configurado para controlar el funcionamiento del sistema de propulsión 12 para intentar ejecutar los movimientos deseados, y esto puede incluir controlar el movimiento del o de cada elemento de propulsión 13 y otro actuador (que puede ser una forma de elemento de propulsión 13 como se ha descrito). Como se apreciará, el programa de control de vuelo puede ser

sustancialmente exclusivo de un vehículo autónomo 1 o tipo de vehículo autónomo 1 concreto, puesto que las configuraciones de tales vehículos pueden diferir en gran medida entre sí.

El dispositivo de computación 41 del dispositivo de interfaz de operador 4 puede incluir una interfaz 42 a través de la cual el operador puede generar instrucciones de control de vuelo para su transmisión al programa de control de vuelo para controlar manualmente el funcionamiento del vehículo autónomo 1. Puede aludirse a estas instrucciones de control de vuelo como, por ejemplo, la información de control de vuelo directo, ya que son instrucciones que no han sido generadas por el programa de navegación. Esta interfaz 42 puede formar parte de un programa de control del operador que está configurado para ser ejecutado por el dispositivo de computación 41 del dispositivo de interfaz de operador 4.

10 En consecuencia, el dispositivo de interfaz de operador 4 puede utilizarse para el control manual del vehículo autónomo 1 si fuera necesario.

El ordenador de navegación está configurado para ejecutar un programa de navegación que está configurado para proporcionar la una o más instrucciones de control de vuelo al programa de control de vuelo. El ordenador de navegación también puede recibir datos de entrada procedentes del sistema sensor 17 (p. ej., del uno o más sensores 171) y también puede recibir datos de entrada procedentes del sistema de inspección 19 y/o del sistema de guía visual 20.

Es el programa de navegación el que determina un plan de vuelo (esto es, una ruta de vuelo deseada) para el vehículo autónomo 1 en el uso normal, imparte las instrucciones de control de vuelo a fin de conseguir dicha ruta de vuelo y monitoriza el cumplimiento de dicha ruta de vuelo (y adopta las medidas correctivas necesarias).

20 El programa de navegación puede estar conectado comunicativamente a un programa de configuración inicial que se utiliza para proporcionar al programa de navegación información inicial para establecer el plan de vuelo.

Por lo tanto, el programa de configuración inicial puede estar configurado para recibir uno o más parámetros de configuración inicial para el programa de navegación. El programa de configuración inicial puede estar configurado para ser ejecutado por el dispositivo de interfaz de operador 4 y, en particular, por el dispositivo de computación 41 de este. Por lo tanto, el operador puede tener la posibilidad de introducir uno o más de los parámetros de configuración inicial utilizando la interfaz 42 del dispositivo de interfaz de operador 4. En algunas realizaciones, uno o más de estos parámetros de configuración inicial pueden obtenerse del servidor remoto 3, tras haber sido introducidos y a continuación almacenados en el servidor remoto 3 para su uso futuro. En algunas realizaciones, el programa de configuración inicial puede ser ejecutado por el ordenador de la estación de base 22, y el ordenador de la estación de base 22 puede proporcionar al dispositivo de interfaz de operador 4 una interfaz para permitir que las entradas por el operador sean recibidas a través del dispositivo de interfaz de operador 4.

Más específicamente, el programa de configuración inicial puede recibir uno o más parámetros de configuración inicial que pueden incluir uno o más de:

35 el tipo de objeto 5 que debe inspeccionarse;

una ubicación aproximada del objeto 5 (p. ej., en un radio de 100 m alrededor de la ubicación real o en un radio de 50 m alrededor de la ubicación real, y/o con un error de ubicación de al menos 1 m, o 5 m, o 10 m, o 20 m, o 30 m);

40 una ubicación exacta del objeto 5 (p. ej., con un error de ubicación de menos de 5 m, o de 1 m, y en cualquier caso con un error de ubicación inferior al error de ubicación de una ubicación aproximada del objeto 5);

un modelo del objeto 5;

una o más características físicas del objeto 5;

una dirección aproximada del objeto 5 desde el vehículo autónomo 1; y

una posición de una o más partes del objeto 5.

45 En el ejemplo del objeto 5 siendo una turbina eólica, el tipo de objeto 5 puede ser una indicación de que el objeto es una turbina eólica. Esta información puede ser necesaria si el programa de configuración inicial y/o el programa de navegación están configurados para el uso en la inspección de múltiples tipos diferentes de objetos (o de un volumen que se considerará otra forma de objeto). No obstante, en algunas realizaciones, el programa de configuración inicial y/o el programa de navegación están configurados para el uso en la inspección únicamente de turbinas eólicas. Por consiguiente, esta información puede proporcionarse ya dentro del programa de configuración inicial y/o el programa de navegación.

Una ubicación aproximada del objeto 5 puede incluir una longitud y latitud aproximadas del objeto 5; dicho de otro modo, una ubicación geográfica aproximada. Esta información puede ser útil para determinar una ruta de vuelo inicial del vehículo autónomo 1 y/o para registrar los datos de inspección contra la ubicación para referencia futura.

De manera similar, la ubicación exacta del objeto 5 puede ser una ubicación geográfica más exacta del objeto 5. Esta información puede no estar disponible para todos los objetos 5 y es posible que pueda proporcionarse la ubicación geográfica aproximada pero no la ubicación exacta. De nuevo, esta información puede utilizarse de manera muy similar a la información sobre ubicación exacta anteriormente mencionada.

5 En el caso de una turbina eólica, un modelo del objeto 5 puede ser el modelo (p. ej., el tipo en contraposición a una representación) de la turbina eólica, y puede incluir un fabricante. Si bien existirá cierta variación entre instancias específicas de un modelo concreto de un objeto, como por ejemplo una turbina eólica, probablemente todos los modelos compartirán ciertas características. Por consiguiente, puede utilizarse esta información para consultar —p. ej., utilizando una base de datos del programa de configuración inicial o del programa de navegación u obtenida desde el servidor remoto 3— una o más características del objeto 5. Tales características pueden incluir, en el caso de una turbina eólica como ejemplo, una altura de la torre, un tamaño de la góndola, un tamaño del buje, un tamaño de las palas, un número de palas y similares. De nuevo, esta información es útil para determinar la ruta de vuelo inicial y para registrar contra un registro para la inspección.

10 Una o más características físicas del objeto 5 pueden incluir los mismos tipos de información que pueden obtenerse utilizando el modelo del objeto 5, y de este modo pueden introducirse manualmente si se conocen, por ejemplo.

15 Una dirección aproximada del objeto 5 desde el vehículo autónomo 1 puede ser, por ejemplo, que el objeto 5 se encuentra al norte/sur/este/oeste del vehículo autónomo 1. Como se desprenderá claramente de la presente descripción, como parte de la ruta de vuelo inicial el vehículo autónomo 1 se mueve para confirmar la ubicación del objeto 5. Una dirección aproximada del objeto 5 desde el vehículo autónomo 1 al iniciarse el vuelo del vehículo autónomo 1 ayudará a asegurar que el vehículo autónomo 1 encuentre el objeto 5 con relativa rapidez y éxito (y/o que se encuentre el objeto 5 correcto, lo cual puede ser una cuestión especialmente importante en caso de funcionamiento del vehículo autónomo 1 en la proximidad inmediata de múltiples objetos 5 similares (por ejemplo, en un parque eólico)).

20 Una posición de una o más partes del objeto 5 puede ser, por ejemplo, la posición de una o más palas de una turbina eólica con respecto a la torre de la turbina eólica. De nuevo, esto puede ayudar en la planificación de la ruta de vuelo inicial.

25 En algunas realizaciones, el programa de configuración inicial está configurado para mostrar al operador un mapa o una fotografía aérea a través del dispositivo de interfaz de operador 4 (p. ej., la interfaz 42). El programa de configuración inicial puede ser capaz de recibir una entrada por un usuario (a través de la interfaz 42) de la ubicación actual del vehículo autónomo 1 con respecto al objeto 5 (que puede mostrarse en el mapa o la fotografía aérea). El programa de configuración inicial puede estar configurado para utilizar esta información para determinar, por ejemplo, la ubicación aproximada del vehículo autónomo 1 y/o la dirección aproximada del objeto 5 desde el vehículo autónomo 1.

30 35 El programa de configuración inicial puede, alternativa o adicionalmente, mostrar al operador —a través del dispositivo de interfaz de operador 4 (p. ej., la interfaz 42)— un formulario con uno o más campos de introducción de datos asociados mediante el cual pueda introducirse cualquier o toda la información anteriormente mencionada.

40 45 En algunas realizaciones, puede haber una ubicación inicial específica para el vehículo autónomo 1 con respecto al objeto 5, como por ejemplo una plataforma de lanzamiento u otro marcador. Por consiguiente, el operador puede localizar el vehículo autónomo 1 en la ubicación inicial específica y a continuación utilizar el dispositivo de interfaz de operador 4 para proporcionar al programa de configuración inicial una indicación de que el vehículo autónomo 1 está en la ubicación inicial específica para inspeccionar ese objeto 5.

50 55 En algunas realizaciones, el operador puede orientar el vehículo autónomo 1 de tal manera que la orientación del vehículo autónomo 1 con respecto al objeto 5 esté predeterminada, proporcionando así la dirección aproximada del objeto 5 con respecto al vehículo autónomo 1. El vehículo autónomo 1 puede ser provisto de un indicador visual a este respecto para que el operador lo alinee con el objeto 5.

En algunas realizaciones, el operador puede tener que posicionar el vehículo autónomo 1 en una orientación predeterminada con respecto al objeto 5. En el caso de una turbina eólica, por ejemplo, puede orientarse de modo que el vehículo autónomo 1 esté frente al buje y las palas (con respecto a la torre). Esto puede ayudar a proporcionar al programa de configuración inicial y/o al programa de navegación información sobre la posición de partes del objeto 5 con respecto al vehículo autónomo 1.

Con algunos o todos estos datos iniciales proporcionados al programa de configuración inicial, el programa de configuración inicial puede transmitir estos datos al programa de navegación. En algunos casos, el programa de navegación es ejecutado sustancialmente íntegramente por el ordenador de navegación (que puede estar montado en el bastidor 11 del vehículo autónomo 1); no obstante, en algunas realizaciones al menos parte de ese programa de navegación es ejecutado por el dispositivo de interfaz de operador 4 y/o el ordenador de la estación de base 22.

El programa de navegación también puede recibir una o más entradas procedentes del sistema sensor 17 del vehículo autónomo 1, p. ej., datos de sensor procedentes del uno o más sensores 171. Estos datos de sensor pueden incluir, por ejemplo, información de ubicación determinada por el uno o más sensores 171 para la ubicación geográfica del vehículo autónomo 1 y/o su orientación (p. ej., con respecto al campo magnético terrestre utilizando un sensor 171 en forma de un magnetómetro).

El programa de navegación utiliza algunos o todos los datos proporcionados por el programa de configuración inicial (y/o la información predeterminada como resultado de requisitos definidos para que el operador localice el vehículo autónomo 1 con respecto al objeto 5, como se ha descrito anteriormente) para determinar una ubicación aproximada del objeto 5 desde el vehículo autónomo 1 y planificar una ruta de vuelo inicial.

El programa de navegación puede estar configurado para generar una representación visual de la ubicación aproximada y la configuración del objeto 5 y del vehículo autónomo 1 junto con una representación visual de la ruta de vuelo inicial con respecto a estos datos. Esto puede enviarse al dispositivo de interfaz de operador 4 para su visualización y confirmación por el operador.

La ruta de vuelo inicial puede definirse dentro de un marco de referencia del sistema de navegación, que puede alinearse con un marco de referencia global utilizando, por ejemplo, información de ubicación geográfica procedente del uno o más sensores 171 (que puede refinarse utilizando, por ejemplo, los datos de ubicación de la estación de base).

El plan de vuelo inicial es un plan de vuelo que mueve el vehículo autónomo 1 a una o más ubicaciones de inspección donde puede utilizarse el sistema de inspección 19 del vehículo autónomo 1 para llevar a cabo una inspección del objeto 5. Esto puede incluir, por ejemplo, capturar una imagen de al menos parte del objeto 5 utilizando la cámara 191a y/o utilizar uno o más de los otros sensores de inspección 191 si están presentes.

Por consiguiente, las ubicaciones de inspección son ubicaciones que debe alcanzar el vehículo autónomo 1. Sin embargo, por ejemplo, el desplazamiento entre estas ubicaciones expone al vehículo autónomo 1 a numerosos riesgos potenciales. Un riesgo principal es el riesgo de impactar contra el objeto 5. Por lo tanto, existe la necesidad de definir una ruta de vuelo segura entre la(s) ubicación(es) de inspección y/o las ubicaciones inicial y final (en las que el vehículo autónomo 1 inicia y finaliza su vuelo).

En algunas realizaciones, esto puede conseguirse mediante una o más ubicaciones de transición definidas por el programa de navegación. Las ubicaciones de transición son ubicaciones por las cuales debe pasar el vehículo autónomo 1.

El programa de navegación también puede estar configurado para definir una secuencia de ubicación(es) de inspección y ubicación(es) de transición para proporcionar la ruta y el plan de vuelo.

Por consiguiente, el plan de vuelo puede comprender una secuencia de ubicaciones (o "puntos") que incluyen la una o más ubicaciones de inspección (o "puntos") y una o más ubicaciones de transición (o "puntos"). La secuencia también incluye una ubicación inicial (o "punto") y una ubicación final (o "punto"). Las ubicaciones inicial y final pueden ser la misma, en cuyo caso puede denominarse ubicación base, que puede ser, por ejemplo, una ubicación base específica a ese vuelo en algunas realizaciones.

En algunas realizaciones, una ubicación de transición es una ubicación en un plano o en un lugar geométrico que está definido como un plano o un lugar geométrico seguro.

Puede haber una orientación del vehículo autónomo 1 y/o del sistema de inspección 19 con respecto al objeto 5 asociado a cada ubicación de inspección y/o ubicación de transición dentro del plan de vuelo, para asegurar que el sistema de inspección 19 esté correctamente posicionado para inspeccionar el objeto 5.

El vehículo autónomo 1 puede, siguiendo instrucciones del programa de navegación, iniciar una rutina de encendido que incluye una o más de la comprobación del sistema sensor 17, comprobación del sistema de comunicación 18, comprobación del sistema de inspección 18 y comprobación del sistema de propulsión 12.

En algunas realizaciones, el programa de navegación está configurado para estimar, por ejemplo, los requisitos de energía para completar la ruta de vuelo inicial. Esto puede compararse con una disponibilidad de energía de la fuente de alimentación 14 (p. ej., un nivel de carga de la batería) para determinar si puede completarse el vuelo con la energía disponible.

Si se completa con éxito la rutina de encendido, el vehículo autónomo 1 puede pasar a un estado operativo. El estado operativo puede indicarse al operador a través del dispositivo de interfaz de operador 4. Si no se completa con éxito la rutina de encendido —p. ej., porque no se ha superado una o más de las comprobaciones—, el vehículo autónomo 1 puede permanecer en un estado no operativo, que también puede indicarse al operador a través del dispositivo de interfaz de operador 4 (p. ej., junto con una indicación de la comprobación no superada).

Con el vehículo autónomo 1 en estado operativo, el operador puede activar el funcionamiento del vehículo autónomo 1 conforme al plan de vuelo inicial a través del dispositivo de interfaz de operador 4, p. ej., a través de la interfaz 41.

En el caso ejemplar de una aeronave como vehículo autónomo 1, la puesta en funcionamiento del vehículo 1 puede incluir un ciclo de aceleración (durante el cual el o cada elemento de propulsión 13 es acelerado hasta una velocidad requerida por el sistema de propulsión 12) seguido de una secuencia de despegue (durante la cual el vehículo autónomo 1 despegue).

5 Durante el movimiento (esto es, el vuelo en el ejemplo) del vehículo autónomo 1, el programa de navegación (p. ej., ejecutándose en el ordenador de navegación del sistema de navegación 16) transmite instrucciones de control de vuelo al programa de control de vuelo (que se está ejecutando en el ordenador de control de vuelo del sistema de control de vuelo 15).

10 Como se apreciará, el programa de navegación tiene una ruta de vuelo definida que está basada en un modelo (esto es, una representación simplificada) del objeto 5 y la ubicación inicial del vehículo autónomo 1 con respecto al objeto 5 y a la/s ubicación(es) de transición e inspección.

No obstante, la ubicación inicial del vehículo autónomo 1 con respecto al objeto 5 puede ser una aproximación y, aunque sea relativamente exacta, puede no ser aún lo suficientemente exacta como para posibilitar una inspección.

15 Por consiguiente, el programa de navegación está configurado para reevaluar la ubicación del objeto 5 con respecto al vehículo autónomo 1 durante el vuelo del vehículo autónomo 1, esto es, mientras el vehículo 1 lleva a cabo su inspección. Dicho de otro modo, la ubicación del objeto 5 con respecto al vehículo autónomo 1 se refina durante el funcionamiento del vehículo autónomo 1.

20 La reevaluación y refinación de la ubicación del objeto 5 con respecto al vehículo autónomo 1 pueden obligar a alterar la ruta de vuelo. Como se entenderá, una alteración básica sería modificar la ruta de vuelo en el espacio a medida que se refinan las ubicaciones relativas. No obstante, esto por sí solo puede ser insuficiente para garantizar el funcionamiento seguro del vehículo autónomo 1 y la compleción con éxito de la tarea de inspección.

25 Por ejemplo, la refinación de la ubicación del objeto 5 con respecto al vehículo autónomo 1 puede incluir la ubicación de parte de dicho objeto 5 con respecto al vehículo autónomo 1 y esa parte puede ser móvil con respecto a otra parte. En el caso de una turbina eólica, la posición rotatoria de las palas de la turbina con respecto a la torre (alrededor de un eje de la torre) y/o con respecto a la góndola (alrededor de un eje de la góndola) puede refinarse de manera que, por ejemplo, se determine que la ubicación real es diferente en comparación con la información inicial proporcionada por el programa de configuración inicial.

30 Las refinaciones de este tipo pueden significar que la ruta de vuelo, en caso de seguirse, llevaría al vehículo autónomo 1 a impactar contra una parte del objeto 5 y/o puede significar que el sistema de inspección 19 no inspeccione la parte correcta del objeto (p. ej., puede que la cámara 191a fotografíe únicamente el aire en lugar de una pala de la turbina eólica).

35 En consecuencia, el programa de navegación está configurado para redefinir el plan de vuelo (formar un plan de vuelo redefinido) durante el funcionamiento del vehículo autónomo 1 a medida que se determina nueva información sobre la posición relativa del objeto 5 con respecto al vehículo autónomo 1.

40 Además de redefinir el plan de vuelo sobre la base de la información proporcionada sobre la ubicación relativa inicial, tales planes de vuelo presuponen típicamente condiciones operativas ideales, en las que el vehículo autónomo 1 puede seguir y sigue la ruta de vuelo establecida en el plan. No obstante, en la práctica, el vehículo autónomo 1 está expuesto a fuerzas externas que son impredecibles y difíciles de compensar. En el caso de una aeronave, esto puede incluir el efecto del viento sobre el vehículo autónomo 1 (pero en el caso de las naves acuáticas surgen dificultades similares debido a las corrientes, y con los vehículos terrestres a causa de superficies inestables o resbaladizas, por ejemplo).

45 Si, al verse expuesto a tales fuerzas y desplazado respecto de la ruta de vuelo deseada, el vehículo autónomo 1 intenta volver a la ruta de vuelo originalmente deseada, puede que ya no sea una ruta de vuelo ideal y que exista una ruta de vuelo mejor como resultado del movimiento no intencionado. De nuevo, para identificar una nueva ruta de vuelo ideal es necesario que el programa de navegación redefina el plan de vuelo durante el funcionamiento del vehículo autónomo 1.

50 Como se apreciará, redefinir el plan de vuelo durante el funcionamiento del vehículo autónomo 1 es una tarea compleja, que debe ser ejecutada con rapidez y precisión para posibilitar el funcionamiento seguro y eficiente del vehículo autónomo 1.

Por consiguiente, existe una necesidad de proporcionar mejores técnicas de planificación de vuelo.

La planificación de vuelo implementada por realizaciones se basa en un modelo del objeto 5, y este modelo puede ser refinado durante el funcionamiento del vehículo 1.

55 En la figura 12 se muestra una vista de conjunto de la refinación del modelo que puede ser implementada por las realizaciones. Dicha vista de conjunto es un ejemplo y debería tenerse en cuenta (como se explica aquí) que pueden utilizarse más o menos sensores y que pueden generarse más o menos modelos. El modelo

refinado puede utilizarse posteriormente en la planificación del vuelo, y cada refinación del modelo puede dar lugar al reprocesamiento del plan de vuelo y revisiones de este durante el vuelo (esto es, durante el funcionamiento del vehículo 1). Este proceso puede ser sustancialmente continuo durante el funcionamiento del vehículo 1 (p. ej., durante el vuelo).

5 Observando la figura 12, puede determinarse un modelo inicial (p. ej., representación simplificada del objeto 5), y esto puede ser ejecutado por el programa de navegación. Este modelo puede determinarse, por ejemplo, sobre la base de los parámetros de configuración inicial. No obstante, puede determinarse el modelo empleando otros métodos.

10 Este modelo es del objeto 5 o al menos parte de este, y puede incluir uno o más de otros objetos (o partes de estos), esto es, distintos al objeto 5 que se debe inspeccionar. Este modelo inicial, junto con una posición del objeto 5 en relación con el vehículo autónomo 1 (p. ej., el sistema de inspección 19) forman las entradas preliminares sobre las cuales se basa la navegación. Como se apreciará, la posición puede adoptar la forma de información de ubicación, la cual puede formar parte del propio modelo inicial.

15 El programa de navegación está configurado para recibir datos procedentes del sistema sensor 17, p. ej., de uno o más sensores 171. Como se muestra en la figura 12 a modo de ejemplo, los datos procedentes de un sensor 171 pueden utilizarse de manera independiente (por ejemplo, los datos procedentes del "Sensor A" en el lado izquierdo de la figura) o pueden combinarse los datos procedentes de más de un sensor (por ejemplo, los datos procedentes del "Sensor A" y del "Sensor B" en el lado derecho de la figura).

20 Los datos son analizados por el programa de navegación para agrupar dichos datos formando objetos y/u objetos parciales representados por los datos recibidos desde el sistema sensor 17.

Como se apreciará, esto puede incluir la combinación de datos procedentes de múltiples sensores 171 antes de agruparlos (véase, por ejemplo, el lado derecho de la figura 12).

25 El programa de navegación puede entonces utilizar los objetos u objetos parciales identificados a partir de los datos proporcionados por el sistema sensor 17, junto con el modelo inicial, para hacer coincidir el objeto o los objetos parciales en los datos procedentes del sistema sensor 17 con el modelo inicial o con partes de este. Esto puede incluir el uso de información de ubicación procedente del modelo inicial, así como información de ubicación generada a partir de los datos de sensor.

Este posibilita la identificación cruzada de partes del modelo inicial con los datos procedentes del sistema sensor 17.

30 Como se apreciará, los datos de sensor combinados procedentes de un sensor 171 o de un conjunto de sensores 171 pueden ser, por varios posibles motivos, más o menos exactos que los datos de sensor procedentes de otro sensor 171 o de un conjunto de sensores 171.

35 Por consiguiente, el programa de navegación puede generar uno o más modelos revisados potenciales basados en los datos de sensor (los cuales pueden incluir información de ubicación), en el modelo inicial (el cual puede incluir información de ubicación) y en los resultados de la identificación cruzada.

El programa de navegación puede estar configurado para combinar dos o más modelos revisados potenciales para derivar un modelo fusionado que posteriormente se utiliza para actualizar el modelo inicial (incluida nueva información de ubicación).

40 Este proceso puede repetirse, de manera que entonces se actualice el propio modelo inicial actualizado (p. ej., se convierta en el modelo inicial indicado en la parte superior de la figura 12). Esto puede ser un proceso iterativo.

Además de para la actualización del modelo, el programa de navegación también puede estar configurado para determinar y actualizar un plan de vuelo, incluida una ruta de vuelo. Cada vez que se actualice el modelo, también debe comprobarse y en caso necesario actualizarse el plan de vuelo sobre la base del nuevo modelo.

45 De nuevo, esto puede ser un proceso iterativo.

Este proceso general ejecutado por el programa de navegación se comenta con mayor detalle más adelante. Puede determinarse por lo menos un plan de vuelo inicial utilizando el modelo inicial. Por lo tanto, el debate más adelante se inicia con un debate del modelo, seguido de cómo puede determinarse el plan de vuelo. A continuación, se comenta sobre cómo puede actualizarse el modelo (véanse los procesos de mapeo y localización).

Como se ha mencionado anteriormente, el programa de navegación utiliza un modelo inicial del objeto 5 o de sus partes.

El modelo puede comprender una serie de formas geométricas u objetos que proporcionan una representación simplificada del objeto 5.

55 En el ejemplo de una turbina eólica como el otro objeto 5 (y también en relación con otros objetos 5), el modelo puede comprender uno o más cilindros. Por ejemplo, la torre de la turbina eólica puede estar representada por

un cilindro, la góndola puede estar representada por otro, y cada una de las tres palas puede estar representada por un cilindro respectivo.

En algunas realizaciones, la o cada forma geométrica puede ser un sólido convexo que puede ser muestreado por un conjunto de polígonos convexos apilados en paralelo a lo largo de una de sus dimensiones. En algunas

5 realizaciones, la pila puede no ser una pila paralela, de modo que lados adyacentes de dos polígonos estén angulados entre sí, lo cual puede ser particularmente útil, por ejemplo, para modelar objetos 5 curvados o partes de estos. Cada polígono convexo puede formar una losa con un grosor, y el grosor de cada losa puede (o no) ser el mismo que el de las demás. En algunas realizaciones, el ángulo subtendido entre tres puntos adyacentes (esto es, esquinas) cualesquiera del o de cada polígono puede ser <180 grados.

10 Por consiguiente, el modelo puede incluir una o más formas convexas que pueden abarcar el objeto 5. No obstante, el modelo puede utilizar una o más otras formas para abarcar el objeto 5 (además de o en lugar de formas convexas).

De hecho, en algunas realizaciones, el modelo podría incluir una nube de puntos, donde los puntos representen 15 ubicaciones de la superficie en el objeto 5. No obstante, en algunas realizaciones, el modelo está formado exclusivamente por formas convexas. En algunas realizaciones, la o cada forma convexa es una forma convexa tridimensional. En algunas realizaciones, el modelo puede incluir una o más mallas de formas bidimensionales, tales como una malla de formas triangular o cuadrada o rectangular formando el modelo.

20 El modelo puede estar formado por una o más formas, de tal manera que un objetivo de inspección pueda estar definido en un borde de la o de cada forma y una ubicación de inspección puede estar identificada por una proyección desde allí sobre el objetivo de inspección, siendo una forma convexa un ejemplo de ello.

El programa de navegación puede estar configurado para determinar el modelo o puede proporcionarse con el 25 modelo (p. ej., desde el servidor remoto 3). El modelo representa o describe el objeto 5.

El modelo es una representación del objeto 5 (o una parte de este) y puede tener una forma nominal en función 30 del tipo de objeto 5 (p. ej., una turbina eólica puede estar representada en el modelo por formas para la torre, la góndola y cada pala).

El modelo puede ser proporcionado al programa de navegación como un modelo nominal no parametrizado, esto es, una representación relativamente genérica del objeto 5. Por consiguiente, el modelo puede incluir uno o más parámetros configurables.

35 Estos uno o más parámetros configurables pueden situar el modelo nominal en relación con el vehículo autónomo 1 (p. ej., con el sistema de inspección 19) y/o con la posición desde la que se lanzará el vehículo autónomo 1. Estos uno o más parámetros configurables pueden incluir una altura asociada a al menos parte del objeto 5 —por ejemplo, una altura de la góndola de una turbina eólica— en relación con el vehículo autónomo 1 (p. ej., con el sistema de inspección 19) y/o con la posición desde la que se lanzará el vehículo autónomo 1. El uno o más parámetros configurables pueden incluir al menos una posición relativa de una parte 40 del objeto 5 con respecto a otra parte, como por ejemplo la ubicación de una pala de la turbina eólica (esta puede ser, por ejemplo, una posición en relación con la torre). La al menos una posición relativa puede incluir la orientación de la turbina eólica y esta puede estar en relación con, por ejemplo, el norte. La al menos una posición relativa puede incluir la posición de la góndola o del centro de la pala en relación con la torre; alternativamente, este puede ser un parámetro aparte en relación con el vehículo autónomo 1 (p. ej., con el sistema de inspección 19) y/o con la posición desde la que se lanzará el vehículo autónomo 1.

En algunas realizaciones, el modelo puede ser parametrizado (esto es, completado mediante la determinación de los parámetros asociados al modelo) en primera instancia por el programa de configuración inicial. Alternativamente, el programa de configuración inicial puede proporcionar información relativa al objeto 5, que posteriormente es utilizada por el programa de navegación para parametrizar el modelo.

45 A fin de determinar un plan de vuelo inicial, el programa de navegación puede tomar en consideración las características operativas del sistema de inspección 19.

El programa de navegación puede estar configurado para recibir —o puede estar preprogramado con— 50 información sobre las características operativas del sistema de inspección 19 (p. ej., el o cada sensor de inspección 191). En algunas realizaciones, el sistema de inspección 19 está configurado para proporcionar esta información al programa de navegación (p. ej., el ordenador del sistema de inspección 192). En algunas realizaciones, el programa de navegación puede obtener la información desde el servidor remoto 3 o puede tener ya la información como parte del programa de navegación.

Las características operativas del sistema de inspección 19 pueden incluir, por ejemplo, uno o más de:

una distancia máxima a la que el sistema de inspección 19 puede estar del objeto 5 para una inspección precisa (p. ej., con una resolución mínima deseada),

55 una distancia mínima a la que el sistema de inspección 19 puede estar del objeto 5 para una inspección precisa,

un campo de visión del sistema de inspección 19 (que puede estar vinculado a una distancia entre el sistema de inspección 19 y el objeto 5),

una resolución del sistema de inspección 19,

una variación en la resolución del sistema de inspección 19 con respecto a un ángulo entre el sistema de inspección 19 y el objetivo de inspección, tomando en consideración cualquier curvatura del objeto 5 en el objetivo de inspección (que, por lo tanto, puede influir en un campo de visión efectivo del sistema de inspección 19),

5 un tiempo de configuración mínimo para una operación de inspección (esto es, un tiempo mínimo durante el cual el sistema de inspección 19 debe estar en la ubicación de inspección antes de que pueda tener lugar una operación de inspección),

10 un tiempo de operación de inspección mínimo para una operación de inspección (esto es, un tiempo mínimo durante el cual el sistema de inspección 19 debe estar en la ubicación de inspección para que pueda tener lugar una operación de inspección),

15 un rango de movimientos (p. ej., cambios de orientación) del campo de visión (o campo de visión efectivo) del sistema de inspección 19 con respecto al vehículo 1 (en algunas realizaciones, el o cada sensor de inspección 191 puede tener cambios de orientación restringidos con respecto al vehículo 1), y

20 un tiempo de desconfiguración mínimo (esto es, una cantidad de tiempo mínima para que el sistema de inspección 19 adopte un modo de funcionamiento adecuado para el movimiento del vehículo autónomo 1, que puede incluir, por ejemplo, cubrir un sensor de inspección 191 (p. ej., para evitar la contaminación durante el vuelo) y puede que esto solo sea aplicable a algunas inspecciones).

25 El campo de visión (o campo de visión efectivo) del sistema de inspección 19 puede incluir un área o volumen que pueden ser cubiertos por el sistema de inspección 19 desde una ubicación de inspección (p. ej., a una distancia concreta respecto del sistema de inspección 19) y puede incluir un rango de profundidad. Por ejemplo, un sensor de inspección 191 puede tener un campo de visión (o campo de visión efectivo) asociado a una distancia concreta entre el sensor de inspección 191 y el objeto 5, pero ese campo de visión puede abarcar variaciones en esa distancia (esto es, profundidad) dentro de un rango predeterminado. Un ejemplo sería una cámara 191a que puede enfocarse a una distancia concreta, pero partes del objeto 5 que están a esa distancia o dentro de un rango dado de variación de esa distancia (esto es, variación de profundidad) respecto de la cámara 191a también estarán suficientemente enfocadas para la operación de inspección.

30 Estas características operativas pueden estar presentes para el sistema de inspección 19 en su conjunto o en relación con el o cada respectivo sensor de inspección 191.

A fin de determinar un plan de vuelo inicial, el programa de navegación puede tomar en consideración las características operativas del vehículo 1 (además o en lugar de las características operativas del sistema de inspección 19.).

35 El programa de navegación puede estar configurado para recibir —o puede estar preprogramado con— información sobre las características operativas del vehículo 1). En algunas realizaciones, el sistema de control de vuelo 15 está configurado para proporcionar esta información al programa de navegación. En algunas realizaciones, el programa de navegación puede obtener la información desde el servidor remoto 3 o puede tener ya la información como parte del programa de navegación.

40 Las características operativas del vehículo 1 pueden incluir, por ejemplo, uno o más de:

posibles grados de libertad de movimiento del vehículo 1;

uno o más costes asociados a uno o más movimientos del vehículo 1;

una altitud máxima del vehículo 1 (u otro rango máximo del vehículo 1); y una capacidad de energía del vehículo 1.

45 El programa de navegación puede estar configurado para determinar uno o más objetivos de inspección en relación con el modelo (esto es, la representación) del objeto 5 utilizando una o más de las características operativas del sistema de inspección 19 —véase la figura 6, por ejemplo, que muestra una serie de objetivos de inspección— y/o una o más características operativas del vehículo 1.

Un objetivo de inspección puede ser un punto situado en una superficie del modelo que será el objetivo de una operación de inspección por el sistema de inspección 19 del vehículo autónomo 1.

50 El o cada objetivo de inspección puede estar basado al menos en parte en, por ejemplo, uno o más de: los parámetros de configuración inicial, una finalidad de inspeccionar sustancialmente una superficie entera del objeto 5 o una parte del objeto 5 (por ejemplo, las palas de una turbina eólica), objetivos de inspección definidos por el operador (p. ej., identificados por el operador utilizando la interfaz de operador 42 que puede mostrar

una representación gráfica del modelo), y una o más inspecciones previas del objeto 5 (esta información puede ser proporcionada, por ejemplo, por el servidor remoto 3).

El o cada objetivo de inspección puede ser determinado utilizando la una o más características operativas del sistema de inspección 19 para, por ejemplo, asegurar la cobertura deseada de la inspección (p. ej., mediante la combinación de operaciones de inspección (si bien puede haber solo una en algunas realizaciones)). En consecuencia, el o cada objetivo de inspección puede seleccionarse para garantizar que una o más de las operaciones de inspección tengan cobertura solapada en por lo menos un borde. En algunas realizaciones, puede ser necesario para la operación de inspección un espaciado no solapado deseado de objetivos de inspección (esto es, solapamiento negativo o distancia/espaciado negativos). Este puede ser el caso, por ejemplo, en relación con operaciones de inspección que comprendan inspecciones localizadas.

Por ejemplo, el programa de navegación puede estar configurado para utilizar la característica del campo de visión (o campo de visión efectivo) para definir una serie de objetivos de inspección de manera que una porción predefinida (que puede ser la totalidad) del objeto 5 esté cubierta por las operaciones de inspección con solapamientos entre los datos de inspección, para permitir combinar los datos de inspección procedentes de

una operación de inspección con los datos de inspección de otra operación de inspección. Por supuesto, esto puede implicar la captura (como datos de inspección) de una serie de imágenes (utilizando la cámara 191a) de manera que puedan fusionarse entre sí para formar una imagen más grande. Esta misma técnica (esto es, fusión de datos) puede utilizarse con otras formas de datos de inspección.

En algunas realizaciones, el programa de navegación puede estar configurado para definir operaciones de inspección que presenten un grado de solapamiento que depende, al menos en parte, de un ángulo y/o distancia del sistema de inspección 19 (p. ej., un sensor de inspección 191) con respecto al objeto 5 dentro del área de solapamiento. Como se apreciará, la resolución de la operación de inspección 19 puede variar en función de esta información, y por lo tanto puede existir una necesidad de un mayor solapamiento entre las operaciones de inspección si cada operación tiene una resolución relativamente baja en el área del solapamiento. Los datos de inspección para operaciones de inspección solapadas pueden combinarse para mejorar la resolución efectiva de los datos de inspección en el área del solapamiento.

El programa de navegación puede estar configurado para determinar una o más ubicaciones de inspección y puede estar configurado para determinar al menos una ubicación de transición sobre la base de los objetivos de inspección y del modelo (esto es, la representación) del objeto 5. Dicho de otro modo, el programa de navegación está configurado para determinar el plan de vuelo.

El programa de navegación puede estar configurado para determinar múltiples planes de vuelo diferentes, y puede intentar determinar un plan de vuelo óptimo sobre la base de una o más funciones de coste/operaciones.

El programa de navegación puede estar configurado para determinar el o cada plan de vuelo basándose, al menos en parte, en una o más restricciones operativas. La o cada restricción operativa puede venir predeterminada, puede formar parte de los parámetros de configuración inicial, puede obtenerse desde el servidor remoto 3 o puede ser introducida por un operador (p. ej., utilizando la interfaz 42).

Un primer ejemplo de una restricción operativa es una restricción de distancia. La restricción de distancia puede determinar lo cerca que el vehículo autónomo 1 puede estar del objeto 5 durante el vuelo (conforme al plan de vuelo). Por consiguiente, esta restricción de distancia forma en la práctica una pared invisible entre el vehículo autónomo 1 y el objeto 5, cuyo cometido es reducir o eliminar sustancialmente el riesgo de que el vehículo autónomo 1 impacte contra el objeto 5.

La restricción de distancia puede ser una distancia (o alcance) mínima desde cualquier parte del modelo del objeto 5. Por lo tanto, el vehículo autónomo 1 puede moverse alrededor del objeto 5 mientras se mantenga esta distancia mínima. Esto puede denominarse una restricción de distancia constante.

La restricción de distancia podría definirse como un plano en relación con el objeto 5 (dicho de otro modo, un plano virtual que es una distancia predeterminada desde la parte más cercana del modelo hasta el vehículo autónomo 1 y que no es traspasado por ninguna parte del objeto 5 (y, en algunas realizaciones, desde el cual no hay ninguna parte del objeto 5 que esté dentro de una distancia mínima)). Esto puede denominarse una restricción de distancia plana.

En algunas realizaciones, la restricción de distancia está definida como una distancia predeterminada desde un objetivo de inspección, una pluralidad de objetivos de inspección o todos los objetivos de inspección. Esta distancia puede definir, por lo tanto, un lugar geométrico esférico al cual está constreñido o debe constreñirse el vehículo 1. Este lugar geométrico esférico puede estar dentro de una distancia predeterminada de otro objetivo de inspección y una restricción de distancia puede, por lo tanto, estar determinada por una agrupación o una pluralidad de lugares geométricos. Como se entenderá, este lugar geométrico puede entrecruzarse con el propio objeto 5 en una o varias ubicaciones, y el programa de navegación puede estar configurado — utilizando los procesos aquí descritos — para descartar ubicaciones de inspección de tales partes del lugar geométrico.

Como se apreciará, la restricción de distancia puede seleccionarse sobre la base, al menos en parte, de las características operativas del sistema de inspección 19 (al menos de manera que el sistema de inspección 19 pueda ejecutar la operación de inspección en relación con el objeto 5 a la distancia mínima respecto del objeto 5 determinada por la restricción de distancia (o a una distancia menor)).

5 En algunas realizaciones pueden aplicarse dos restricciones de distancia, por ejemplo, una a cada uno de dos lados opuestos del objeto 5. Así pues, el programa de navegación puede estar configurado para definir una ruta de vuelo que mueva el vehículo autónomo 1 más allá de al menos parte del objeto 5 desde una restricción de distancia hasta otra restricción de distancia. Estas dos restricciones de distancia puede ser restricciones de distancia planas. Estas dos restricciones de distancia pueden proporcionar efectivamente una primera restricción de distancia asociada a un primer lado de un objeto 5 y una segunda restricción de distancia asociada a un segundo lado de un objeto 5, donde los dos lados pueden ser lados opuestos (p. ej., los lados delantero y posterior del objeto 5).

Como se apreciará, en algunas realizaciones, el programa de navegación puede intentar mantener una proximidad relativamente estrecha al rango determinado por la restricción del rango, para intentar asegurar una operación de inspección efectiva. En consecuencia, la forma de restricción de distancia que se utilice puede influir en las ubicaciones de inspección en relación con los objetivos de inspección. En algunas realizaciones, la o cada restricción de distancia puede seleccionarse sobre la base de uno o más aspectos de la operación de inspección y/o las características operativas del sistema de inspección 19, p. ej., para garantizar que se complete con éxito la operación de inspección.

10 20 En algunas realizaciones, la o cada restricción de distancia define una zona operativa en la que se permite funcionar al vehículo 1 o en la que se permite al programa de navegación definir la ruta de vuelo. En algunas realizaciones, esta zona es un plano (que puede ser un plano curvo) o un lugar geométrico (p. ej., al cual la ruta de vuelo está restringida o debe ser restringida por el programa de navegación).

25 Como se entenderá, la relación geométrica predeterminada puede determinarse utilizando una distancia desde la ubicación de inspección hasta el objetivo de inspección y un ángulo de incidencia (de un eje de inspección del sistema de inspección 19) sobre la superficie curva desde la ubicación de inspección. El programa de navegación debe equilibrar entre sí estos dos factores. En particular, para mejorar la resolución de inspección utilizando un ángulo de incidencia diferente es necesario, típicamente, que el sistema de inspección 19 esté más lejos del objetivo de inspección a lo largo del plano de restricción de distancia. Por consiguiente, el 30 programa de navegación puede intentar optimizar la pérdida de resolución debido a este incremento de la distancia al objetivo de inspección con el incremento de la resolución gracias al ángulo de incidencia mejorado. El eje de inspección puede definirse como el eje central del campo de visión del sistema de inspección 19 (y el/los sensor(es) de inspección 191), que se extiende desde el sistema de inspección 19 (y el/los sensor(es) de inspección 191) hasta el objetivo de inspección.

35 35 También pueden existir otras restricciones, que pueden incluir distancias mínimas a otros objetos (distintos al objeto 5 que está siendo inspeccionado) o a otras partes del objeto 5 que está siendo inspeccionado).

Como se pondrá de manifiesto, la distancia del vehículo autónomo 1 al objeto 5 (y, en algunas realizaciones, a cualquier otro objeto) puede ser determinada por el sistema sensor 17.

40 El programa de navegación también puede determinar, como parte de la generación del plan de vuelo, una orientación del sistema de inspección 19 y, en particular, el uno o más sensores de inspección 191 con respecto al objeto 5. Puede ocurrir que al menos uno de los uno o más sensores de inspección 191 no sea omnidireccional y deba dirigirse (esto es, apuntar o posicionar u orientar) hacia el objeto 5 y, en particular, hacia el objeto de inspección. Este puede ser el caso, por ejemplo, en relación con una cámara 191a.

45 En consecuencia, el programa de navegación puede asociar la o cada ubicación de inspección a una orientación del sistema de inspección (como puede apreciarse, por ejemplo, en la figura 7). En algunos casos, el sistema de inspección 19 (o por lo menos uno o más de los sensores de inspección 191) puede tener una orientación fija con respecto al bastidor 11 y, por consiguiente, la orientación del sistema de inspección puede ser una orientación requerida del vehículo autónomo 1 con respecto al objeto 5 en esa ubicación de inspección (p. ej., para apuntar el o cada sensor de inspección 191 hacia el objetivo de inspección). En algunas 50 realizaciones, al menos uno de los uno o más sensores de inspección 191 puede estar configurado para moverse con respecto al bastidor 11 para cambiar su orientación relativa con respecto al mismo. Por consiguiente, en algunas realizaciones, la orientación del sistema de inspección puede incluir (además o en lugar de una orientación del vehículo autónomo 1 con respecto al objeto 5) una orientación del o de cada sensor de inspección 191 con respecto al objetivo de inspección y/o al bastidor 11, y esta puede ser proporcionada 55 por el programa de navegación al ordenador del sistema de inspección 192 para que el ordenador del sistema de inspección 192 la utilice para controlar un movimiento del o de cada sensor de inspección 191 con respecto al objeto 5 y/o al bastidor 11 al ejecutarse el plan de vuelo.

60 En algunas realizaciones, el programa de navegación está igualmente configurado para utilizar otros datos de ubicación de inspección (siendo la orientación un ejemplo) que pueden ser utilizados por el sistema de inspección 19 de la manera aquí descrita. En síntesis, dichos datos de ubicación de inspección pueden ser

utilizados por el sistema de inspección 19 para configurar el o cada sensor de inspección 191 para ejecutar su operación de inspección (y pueden incluir, por ejemplo, una distancia al objeto 5 desde el sistema de inspección 191 al vehículo autónomo 1 en la ubicación de inspección). Esto permite, por ejemplo, optimizar el sistema de inspección 19 durante el vuelo conforme al plan de vuelo (véanse más detalles más adelante).

5 El programa de navegación puede, por lo tanto, estar configurado para empezar a determinar el plan de vuelo como una nube de puntos que comprende al menos una ubicación de inspección (y, en algunas realizaciones, al menos una ubicación de transición). Probablemente, el plan de vuelo también incluirá un punto inicial y un punto final (que pueden ser una misma ubicación, la cual puede denominarse ubicación base y puede ser la ubicación en la que el operador ha situado el vehículo autónomo 1).

10 El programa de navegación puede estar configurado para ejecutar tres operaciones en relación con el plan de vuelo:

- (i) una evaluación de seguridad de la ubicación;
- (ii) una evaluación de efectividad; y
- (iii) una evaluación de seguridad del movimiento.

15 En algunas realizaciones, estas tres operaciones pueden ejecutarse en relación con la o cada ubicación de inspección (y pueden ejecutarse en relación o una o más ubicaciones de transición).

En la evaluación de seguridad de la ubicación, el programa de navegación puede estar configurado para determinar si una ubicación concreta es una ubicación segura para la presencia del vehículo autónomo 1. Esto puede incluir, por ejemplo, la evaluación de la una o más restricciones anteriormente mencionadas. En algunas 20 realizaciones, esta evaluación se basa en uno o más factores ambientales (tales como la velocidad del viento, la dirección del viento, la velocidad actual, la dirección actual, el ángulo de pendiente donde está situado el vehículo autónomo 1, etc.). En particular, una distancia segura respecto de un objeto concreto (ya sea el objeto 5 a inspeccionar u otro objeto) puede ser menor en condiciones de velocidad del viento baja (en comparación con condiciones de velocidad del viento elevada) y las distancias seguras pueden variar 25 dependiendo de la dirección del viento.

Si se determina que una ubicación (de inspección o de transición) no supera (es decir, suspende) la evaluación de seguridad de la ubicación, el programa de navegación puede suprimir o mover (esto es, rechazar) dicha ubicación.

30 En algunas realizaciones, la evaluación de seguridad de la ubicación puede incluir asignar a una ubicación una puntuación de seguridad de la ubicación basada en una o más restricciones y/o factores ambientales, y dicha puntuación de seguridad de la ubicación indica el riesgo de seguridad percibido de esa ubicación.

La evaluación de efectividad se lleva a cabo al menos en relación con la o cada ubicación de inspección. Conforme a esta evaluación, el programa de navegación está configurado para determinar si es probable que 35 el objetivo de inspección en cuestión sea inspeccionable por el o cada sensor de inspección 191 del sistema de inspección 19 desde esa ubicación de inspección (p. ej., con una resolución mínima requerida y sin obstrucción). En relación con algunos objetos 5, como por ejemplo una turbina eólica, la posición de una parte del objeto 5 (p. ej., una pala) con respecto a otras (p. ej., una torre) puede determinar si una parte de ese 40 objeto 5 estará entre el objetivo de inspección y la ubicación de inspección (esto es, si bloqueará el objetivo de inspección). Esto puede suponer un problema especialmente en caso de turbinas eólicas, al inspeccionar una pala situada adyacente y sustancialmente paralela a la torre (limitando así el acceso a una parte de la pala más cercana a la torre).

45 A fin de llevar a cabo la evaluación de efectividad, el programa de navegación puede estar configurado para proyectar (p. ej., mediante trazado de rayos) el campo de visión del o de cada sensor de inspección 191 sobre el objeto 5 (esto es, el modelo del objeto 5). En algunas realizaciones, el programa de navegación puede estar configurado para ejecutar esta proyección sobre la superficie del modelo del objeto 5 que interese, y puede 50 excluir una o más (o todas las) porciones del campo de visión del o de cada sensor de inspección 191 que se extiendan más allá de esta área de interés. Esto puede ayudar a reducir el rechazo de ubicaciones de inspección por lo demás adecuadas debido, por ejemplo, al bloqueo de una porción no requerida del campo de visión del o de cada sensor de inspección 191 que se extiendan más allá de esta área de interés. En consecuencia, las ubicaciones que no superen (es decir, suspendan) la evaluación de efectividad son suprimidas o movidas (esto es, rechazadas) por el programa de navegación. En algunas realizaciones, la evaluación de efectividad puede incluir la asignación de una puntuación de efectividad basada en la efectividad percibida de la operación de inspección desde esa ubicación de inspección.

55 La evaluación de seguridad de movimiento es llevada a cabo por el programa de navegación para determinar si es seguro aproximarse a y alejarse de una ubicación (que puede ser una ubicación de inspección pero que en algunas realizaciones puede ser una ubicación de transición). Esto puede incluir la evaluación de las restricciones anteriormente mencionadas. De nuevo, en algunas realizaciones, la evaluación de seguridad de movimiento puede incluir la asignación de una puntuación de seguridad de movimiento basada en un riesgo de

seguridad percibido asociado al movimiento. Una o más ubicaciones de transición pueden añadirse al plan de vuelo como parte de la evaluación de seguridad de movimiento para garantizar que el movimiento sea seguro para una ubicación dada.

A fin de ayudar en una o más de estas tres operaciones, el programa de navegación puede utilizar uno o más modelos adicionales del objeto 5 que pueden adoptar diferentes formas.

Por consiguiente, el programa de navegación puede estar configurado para generar una nube de puntos que incluye una pluralidad de ubicaciones de inspección y que puede incluir una o más ubicaciones de transición. En esta fase de algunas realizaciones, el programa de navegación aún no ha secuenciado las ubicaciones para crear un plan de vuelo.

10 Como se entenderá, a partir de la nube de puntos de ubicaciones (que puede ser únicamente ubicaciones de inspección pero puede incluir una o más ubicaciones de transición) podrían determinarse un gran número de planes de vuelo posibles. Típicamente, cada uno de estos planes de vuelo incluiría ubicaciones de transición adicionales, por ejemplo, para definir la ruta de vuelo entre las ubicaciones de inspección.

15 La nube de puntos es evaluada por el programa de navegación para seleccionar uno de entre la multitud de planes de vuelo posible. Puede aludirse a este proceso como el proceso de selección del plan de vuelo.

El proceso de selección del plan de vuelo puede utilizar uno o más de una serie de métodos diferentes.

20 El proceso de selección del plan de vuelo puede incluir una búsqueda de diferentes rutas de vuelo posibles. Para ello puede utilizarse un algoritmo de búsqueda adecuado, como por ejemplo una búsqueda en anchura, una búsqueda en profundidad, un algoritmo voraz, el algoritmo de Dijkstra, un algoritmo de búsqueda A* y/o cualquier técnica de búsqueda en gráficas adecuada. En algunas realizaciones, el proceso de selección del plan de vuelo incluye una selección, por parte del operador, de una o más porciones de la ruta de vuelo (que puede introducirse mediante el dispositivo de interfaz de operador 4).

25 Por consiguiente, las rutas de vuelo que son determinadas por el programa de navegación pueden incluir una o más ubicaciones de transición que son determinadas por el proceso de selección del plan de vuelo, y una o más ubicaciones de inspección (y pueden incluir una o más ubicaciones de transición predeterminadas).

Sobre la base de un criterio de costes, se calcula el coste de las diferentes rutas de vuelo posibles determinadas por el programa de navegación utilizando un enfoque de búsqueda y se ordenan conforme a dicho criterio de coste.

30 El proceso del cálculo de costes del programa de navegación puede basarse en uno o más criterios de coste posibles, tales como distancia, tiempo, consumo de energía (de la fuente de alimentación 14), y similares. En algunas realizaciones, el proceso de cálculo de costes puede ordenar las diferentes rutas de vuelo posibles basándose en el tiempo (esto es, tiempo de vuelo o de desplazamiento).

35 En algunas realizaciones, uno o más criterios de costes se convierten en costes en diferentes criterios comunes, tales como consumo de energía o distancia. En algunas realizaciones, por ejemplo, uno o más criterios de costes no relacionados con el tiempo se convierten en criterios de coste basados en tiempo para su evaluación en el proceso de cálculo de costes. En algunas realizaciones, puede incluirse en el proceso de cálculo de costes una distancia desde el vehículo autónomo 1 hasta el objeto 5 (incluida, por ejemplo, una velocidad prevista del vehículo autónomo 1). En algunas realizaciones, puede incluirse en el proceso de cálculo de costes una desviación angular entre una posición angular del vehículo autónomo 1 y la posición angular de uno o más de los sensores de inspección 191 (incluida, por ejemplo, una velocidad angular del vehículo autónomo 1 o del dispositivo de montaje del sistema de inspección 19). En algunas realizaciones, puede aplicarse una penalización de tiempo para transiciones entre movimiento para inspeccionar una parte del objeto 5 con respecto a otra (p. ej., las palas con respecto a la torre y/o una parte delantera del objeto 5 con respecto a una parte posterior del objeto 5).

45 El proceso de cálculo de costes puede estar configurado para seleccionar la ruta de vuelo con el menor coste de entre las diferentes rutas de vuelo.

El proceso de cálculo de costes puede tener en cuenta la puntuación de seguridad de la ubicación y/o la puntuación de efectividad y/o la puntuación de seguridad de movimiento, si se han determinado (véase arriba).

50 El proceso de cálculo de costes puede tener en cuenta (particularmente para una restricción de distancia plana) el equilibrio entre la distancia desde el objetivo de inspección y el ángulo de incidencia, como se ha descrito anteriormente. Como se apreciará, una mayor distancia desde el objetivo de inspección puede proporcionar un campo de visión efectivo más amplio del sistema de inspección 19, lo cual puede significar que sean necesarias menos operaciones de inspección pero que cada operación de inspección puede incluir datos de inspección de menor resolución en relación con el objetivo de inspección. Por lo tanto, puede que se necesiten más operaciones de inspección para proporcionar el solapamiento requerido para mejorar la resolución efectiva de los datos de inspección. El programa de navegación puede estar configurado para utilizar estos factores en el proceso de cálculo de costes.

En algunas realizaciones, el programa de navegación puede estar configurado además para ejecutar un proceso de seguridad de la ruta de vuelo seleccionada. Conforme a este proceso de seguridad, el programa de navegación puede estar configurado para confirmar que la ruta de vuelo cumple una o más reglas de seguridad. La o cada regla de seguridad puede incluir, por ejemplo, una distancia mínima desde el objeto 5 y/u otro objeto (distinto al objeto 5). El proceso de seguridad puede incluir análisis de la o cada ubicación de transición (que pueden ser, por ejemplo, solo aquellos puntos de transición determinados por el proceso de selección del plan de vuelo).

Conforme a este proceso de seguridad, el programa de navegación puede utilizar técnicas de trazado de rayos para considerar la ruta entre ubicaciones secuenciales en la ruta de vuelo (ya sea, por ejemplo, entre dos ubicaciones de transición, una ubicación de transición y una ubicación de inspección o entre dos ubicaciones de inspección). El programa de navegación puede estar configurado para determinar si esa ruta de vuelo (tal como está representada en la técnica de trazado de rayos) se intercruzaría con el objeto 5 (u otro objeto) o pasaría dentro de la distancia mínima del objeto 5 (u otro objeto) o pasaría al interior de una geovalla restringida o saldría de una geovalla permitida. En este caso, el programa de navegación puede estar configurado para mover una o más ubicaciones de transición (determinadas, por ejemplo, en el proceso de selección de plan de vuelo), para suprimir una o más de tales ubicaciones de transición, y/o para añadir una o más ubicaciones de transición adicionales, todo ello con objeto de reducir el riesgo de que el vehículo autónomo 1 impacte contra el objeto 5 (u otro objeto). Por ejemplo, cualquier ubicación de transición movida o ruta de vuelo alterada de otro modo puede ser reevaluada por el programa de navegación utilizando las evaluaciones anteriormente mencionadas. Además o alternativamente, cualquier nueva ruta de vuelo puede ser comparada de nuevo con otros planes de vuelo (p. ej., utilizando el cálculo de coste aquí descrito) para determinar si todavía debe seguirse la ruta de vuelo seleccionada o si debería adoptarse una ruta (y, por ende, un plan) diferente.

El programa de navegación puede estar configurado para registrar y almacenar información sobre el funcionamiento del vehículo 1 durante la implementación de un plan de vuelo, esto es, mientras el vehículo 1 se mueve a lo largo de la ruta de vuelo ejecutando operaciones de inspección. Esta información puede almacenarse, por ejemplo, en forma de bitácora, y puede enviarse al sistema de comunicación 18, por ejemplo, para su transmisión y almacenamiento remoto respecto del vehículo 1. Este almacenamiento remoto puede tener lugar, por ejemplo, en la estación de base 2 y/o en el servidor remoto 3.

En algunas realizaciones, el programa de navegación puede estar configurado para reanudar un plan de vuelo interrumpido. Por ejemplo, el programa de navegación puede estar configurado (p. ej., siguiendo instrucciones del operador impartidas a través del dispositivo de interfaz de operador 4) para seleccionar información almacenada sobre un plan de vuelo parcialmente completado. El programa de navegación puede estar configurado para reanudar su plan de vuelo parcialmente completado y puede intentar evitar la reinspección de cualquier ubicación de inspección que ya haya sido objeto de una operación de inspección (durante la completación parcial del plan de vuelo).

Esto puede, por ejemplo, permitir que se complete de forma eficiente un plan de vuelo que haya sido cancelado o suspendido en pleno vuelo. Una cancelación o suspensión en pleno vuelo puede deberse, por ejemplo, a restricciones de energía o de tiempo o a un problema de seguridad identificado.

En algunas realizaciones, el programa de navegación puede estar configurado para reanudar el plan de vuelo sin recalcular el plan de vuelo, más allá de la nueva porción del plan de vuelo requerida para mover el vehículo 1 a la que será la ubicación inicial del plan de vuelo reanudado.

En otras realizaciones, el programa de navegación puede estar configurado para recalcular el plan de vuelo para los objetivos de inspección que no fueron objeto de operaciones de inspección durante el plan de vuelo cancelado o suspendido. Como se apreciará, el programa de navegación puede estar configurado para determinar nuevas ubicaciones de inspección y/o, como resultado, un nuevo plan de vuelo, y esto puede tomar en consideración un posible cambio en el objeto 5, como por ejemplo un movimiento de una parte de este con respecto a otra parte. El programa de navegación puede determinar cambios en el objeto como parte de la actualización del modelo, como aquí se discute.

Dicho de otro modo, el programa de navegación puede estar configurado para generar un nuevo plan de vuelo basado, al menos en parte, en la información almacenada sobre un plan de vuelo previo parcialmente implementado (esto es, un plan de vuelo que un vehículo 1 empezó a seguir pero que el vehículo 1 no completó).

Como se ha descrito anteriormente, el programa de navegación puede estar configurado para (mediante el proceso de seguridad y/o el proceso de cálculo de coste) determinar y seleccionar un plan de vuelo. No obstante, este plan de vuelo puede estar basado inicialmente en información relativamente rudimentaria sobre la ubicación del vehículo autónomo 1 en relación con el objeto 5 y la configuración del objeto 5.

Dicho de otro modo, este plan de vuelo está basado inicialmente en un modelo (esto es, una representación simplificada) del objeto 5 y en información de ubicación relativa aproximada para el objeto 5 y el vehículo autónomo 1.

Por consiguiente, el programa de navegación puede estar configurado además para recibir información procedente del sistema sensor 17, a partir de la cual pueden actualizarse o refinarse una o más de la ubicación geográfica del vehículo autónomo 1, la ubicación geográfica del objeto 5, la ubicación relativa del vehículo autónomo 1 con respecto al objeto 5 y la configuración del objeto 5. Utilizando esta información, puede alterarse el modelo del objeto 5 utilizado para la planificación del vuelo y esto puede, a su vez, hacer que el programa de navegación revise el plan de vuelo utilizando los procesos aquí descritos para regenerar el plan de vuelo o una parte de este.

En consecuencia, el programa de navegación puede estar configurado para ejecutar un proceso de mapeo y/o un proceso de localización. Los procesos de mapeo y/o localización pueden ejecutarse durante el vuelo (esto es, el movimiento) del vehículo autónomo 1. Como se ha comentado, esto puede dar como resultado un nuevo modelo, que puede ser el mismo modelo nominal que el modelo inicial pero parametrizado con uno o más parámetros actualizados.

El proceso de mapeo puede incluir una o más de la determinación o la refinación de una configuración del objeto 5. El proceso de localización puede incluir la determinación de una ubicación relativa del vehículo autónomo 1 con respecto al objeto 5, lo cual puede incluir la determinación de una ubicación de un modelo del objeto 5 determinada en el proceso de mapeo (que puede ser una ubicación en relación con el vehículo 1 (p. ej., en relación con el sistema de inspección 19) y puede tomar en consideración la orientación del vehículo 1 (p. ej., guíñada, alabeo y cabeceo)). Estos procesos pueden ejecutarse en paralelo o de manera secuencial repetida durante el movimiento del vehículo autónomo 1.

En algunas realizaciones, los procesos de mapeo y/o localización pueden incluir los pasos de recibir datos de sensor procedentes del sistema sensor 17 (p. ej., de uno o más de los sensores 171). Estos datos de sensor pueden incluir información de ubicación e información procedente, por ejemplo, de un sensor de telemetría 171 o una cámara 171 del sistema sensor 17.

Los procesos de mapeo y/o localización pueden incluir el procesamiento de los datos de sensor recibidos para agrupar o dividir los datos en dos o más grupos o porciones, esto es, para formar datos de sensor agrupados.

Los datos de sensor agrupados pueden ser posteriormente analizados como parte del proceso de mapeo y/o localización, para identificar una o más partes del objeto 5 representadas por cada uno de los grupos o porciones en los datos de sensor agrupados.

El proceso de mapeo puede incluir la determinación de la posición relativa (que puede incluir una ubicación y/u orientación u otra configuración) de un grupo o porción el uno con respecto al otro. Esta posición relativa representa la posición relativa de la parte o partes identificadas correspondientes del objeto 5 la una con respecto a la otra. En consecuencia, el proceso de mapeo puede determinar información sobre la configuración del objeto 5. Esto puede incluir determinar una o más transformaciones para modificar el modelo inicial de modo que se corresponda con la información sobre la configuración del objeto 5. Esto puede incluir ajustes de uno o más de los parámetros del modelo inicial.

El proceso de localización puede incluir la determinación de la posición relativa (que puede incluir una ubicación y/u orientación u otra configuración) de un grupo o porción con respecto al vehículo 1 (p. ej., con respecto al sistema de inspección 19). En consecuencia, esta posición relativa representa la posición relativa del objeto 5 (o de parte de este) con respecto al vehículo 1 (p. ej., con respecto al sistema de inspección 19). La posición relativa puede determinarse en términos de un marco de referencia global y puede aludirse a ella, por ejemplo, como la ubicación del objeto. Esto puede incluir determinar una o más transformaciones para modificar el modelo inicial de modo que se corresponda con la información sobre la posición relativa del objeto 5. Esto puede incluir ajustes de uno o más de los parámetros del modelo inicial.

Por consiguiente, la configuración del objeto y la ubicación del objeto pueden formar un modelo del objeto 5. El programa de navegación puede estar configurado para generar múltiples modelos de este tipo utilizando diferentes combinaciones de datos de sensor y/o diferentes procesos de mapeo y/o localización.

El programa de navegación puede estar configurado para utilizar uno o más de estos modelos (que son modelos en vuelo) para actualizar el modelo inicial. Esto puede incluir la combinación de múltiples modelos en vuelo. La combinación de modelos en vuelo puede llevarse a cabo utilizando diversos métodos, por ejemplo, determinando un promedio (p. ej., media) de los modelos utilizando desviaciones estándar y métodos de valor umbral o similares.

El programa de navegación puede estar configurado para generar un modelo en vuelo para sustituir al modelo inicial para su uso para controlar el funcionamiento del vehículo 1. Este modelo en vuelo puede tener en cuenta uno o más de los modelos en vuelo que sean generados como resultado de los procesos de mapeo y/o localización. Por consiguiente, en algunas realizaciones, puede aludirse al modelo de sustitución como el modelo de sustitución o el modelo en vuelo determinado. Los modelos en vuelo que se utilizan para generar el modelo de sustitución pueden denominarse, por ejemplo, modelos en vuelo temporales o de trabajo.

El programa de navegación puede estar configurado para excluir datos de sensor procedentes de uno o más sensores 171 debido, por ejemplo, a haberse detectado un error en el sensor 171 o a que los datos de sensor

no se encuentran dentro de un rango predeterminado previsto o dentro de un rango especificado de otros datos de sensor. El programa de navegación puede estar configurado para llevar a cabo un proceso similar al nivel de modelo en vuelo, excluyendo uno o más modelos en vuelo que se generan sobre la base de datos de sensor procedentes de un sensor 171 en relación con los cuales se haya detectado un error, o sobre la base de un modelo que no se encuentre dentro de un rango especificado de otro modelo o modelos en vuelo.

5 Los procesos de agrupar los datos de sensor, analizar los datos de sensor agrupados y determinar conforme a los procesos de mapeo y localización pueden llevarse a cabo de diferentes maneras. Por ejemplo, cada uno de los grupos de datos de sensor puede ser aproximado a una forma apropiada que puede ser una forma en 2D o 3D dependiendo de la forma de los datos de sensor (por ejemplo, cilindro, elipse, círculo o similar); los datos de sensor en 3D pueden estar restringidos para proporcionar datos de sensor en 2D en algunas realizaciones, o pueden utilizarse datos de sensor en 3D o los datos de sensor pueden proporcionarse como datos de sensor en 2D. A continuación, las formas aproximadas pueden analizarse y compararse con el modelo inicial. Esto puede incluir, por ejemplo, analizar un perímetro de las formas aproximadas comparadas con partes del modelo inicial, o puede incluir analizar centroides de las formas aproximadas comparadas con centroides de partes del modelo inicial.

10 En algunas realizaciones, estos procesos pueden incluir el uso de regresión lineal y/o enfoques de punto más cercano iterativos.

15 En algunas realizaciones, los datos de sensor adoptan la forma de una nube de puntos o pueden convertirse en una nube de puntos para su procesamiento conforme a los procesos de mapeo y/o localización.

20 En algunas realizaciones, los datos de sensor pueden incluir una o más imágenes, que pueden ser imágenes de luz visible o imágenes de luz infrarroja o ultravioleta. Los procesos de mapeo y/o localización pueden llevarse a cabo en estos datos de sensor de manera similar, con partes de las imágenes identificadas como correspondientes a partes del modelo inicial. Posteriormente, esta información puede utilizarse de la manera anteriormente descrita durante los pasos de determinación de los procesos de mapeo y/o localización. Esto puede dar como resultado otro modelo en vuelo que puede combinarse con otros modelos y/o utilizarse para modificar el modelo inicial para su posterior uso por el programa de navegación.

25 Volviendo al proceso de mapeo, en algunas realizaciones el proceso de mapeo incluye el uso, por parte del programa de navegación, de información procedente del sistema sensor 17 para generar uno o más modelos (en el presente documento, un modelo en tiempo real o en vuelo) del objeto 5. El modelo o los modelos en vuelo pueden ser diferentes del modelo que puede utilizar el programa de navegación para determinar inicialmente el plan de vuelo (y/o puede ser el mismo modelo nominal pero con uno o más parámetros diferentes).

30 El programa de navegación puede utilizar información recibida del sistema sensor 17 (esto es, datos de sensor, los cuales pueden incluir información sobre distancia) que representa el objeto 5 y la posición del objeto 5 en relación con el vehículo 1 (p. ej., en relación con el sistema de inspección 19).

35 Los datos de sensor (que pueden ser datos combinados procedentes de múltiples sensores 171 o datos procedentes de un único sensor 171) pueden ser separados por el programa de navegación en datos de sensor relativos a diferentes partes del modelo inicial. Como se describe más adelante o en otro lugar, esto puede incluir la agrupación o división de los datos de sensor utilizando el modelo inicial para proporcionar restricciones espaciales.

40 El proceso de mapeo puede incluir la agrupación o división de los datos de sensor para obtener datos en relación con dos o más partes diferentes del objeto 5. Esto puede incluir, por ejemplo, dividir los datos de sensor en aquellos datos relacionados con una torre y aquellos datos relacionados con una o más palas.

45 La división de los datos del sensor puede llevarse a cabo de diferentes maneras. Por ejemplo, los datos de sensor (que pueden incluir datos de distancia y datos de posición) pueden utilizarse para generar una representación de nube de puntos del objeto 5, de parte de este y/o de cualesquiera otros objetos cercanos situados dentro del alcance efectivo del sensor o conjunto de sensores 171 utilizado.

50 Aplicando un enfoque K-medias o similar, puede agruparse la nube de puntos u otros datos de sensor, esto es, separarse en las partes que representen una o más partes del modelo inicial (p. ej., el modelo nominal) del objeto 5.

A continuación, el programa de navegación puede estimar un centroide u otro punto de referencia de al menos una parte del objeto 5 tal como está representada en los datos de sensor agrupados, p. ej., haciendo que cada parte del objeto 5 sea representada por una forma, p. ej. una elipse.

55 A continuación, el programa de navegación puede intentar una o más transformaciones para comparar la una o más partes del objeto en el modelo inicial del objeto 5 con la una o más partes de los datos de sensor agrupados. A este respecto, el programa de navegación puede determinar una o más transformaciones del/los centroide(s) y/u otro(s) punto(s) de referencia con los puntos correspondientes en el modelo inicial.

El programa de navegación puede estar configurado para determinar una transformación con el mejor ajuste para el objeto 5 tal como está representado en los datos de sensor con el objeto 5 tal como está representado por el modelo inicial. Para ello puede utilizarse un método de mejor ajuste de iterativo.

5 De manera similar, para el proceso de localización, el programa de navegación puede determinar una transformación con el mejor ajuste para la ubicación del objeto 5 en su conjunto (o de una parte estática de este, como la torre de una turbina eólica) en relación con el vehículo 1 (p. ej., en relación con el sistema de inspección 19). De nuevo, para ello puede utilizarse un método de mejor ajuste de iterativo.

10 A continuación, el programa de navegación puede generar un modelo inicial transformado del objeto 5 que esté basado en los datos de sensor. Este modelo inicial transformado puede ser el modelo en vuelo y puede ser una versión del modelo nominal utilizado para el modelo inicial pero con parámetros actualizados.

El proceso de mapeo puede llevarse a cabo con menor frecuencia que el proceso de localización si, por ejemplo, es improbable que cambie la configuración del objeto 5. Alternativamente, pueden llevarse a cabo ambos procesos de manera continuada y repetida.

15 En otra versión del proceso de mapeo, un centroide de una primera parte del objeto (p. ej., la torre) se considera un centro del objeto 5. En esta parte del proceso, puede utilizarse una media móvil para suavizar la estimación y acomodar mediciones erróneas. El programa de navegación puede estar configurado para ignorar la altura de partes del objeto 5 para generar una representación en 2D de los centroides de segundas partes (o subpartes) del objeto 5 (p. ej., las palas). El programa de navegación puede ejecutar una regresión lineal sobre estos puntos para estimar el ángulo de la segunda parte del objeto 5 con respecto a la primera parte del objeto 5 (por ejemplo), utilizando un gradiente de la o de cada línea generada como resultado de la representación en 2D. El programa de navegación puede estar configurado para agrupar los centroides de los datos de sensor relativos a la segunda parte del objeto 5 en 3 elementos aplicando un enfoque K-medias. El programa de navegación puede estar configurado para ejecutar una regresión lineal a cada uno de los grupos de los datos de sensor relativos a las segundas partes del objeto 5. El programa de navegación puede estar configurado para generar un punto de intersección promedio de las líneas resultantes que representan la segunda parte del objeto 5 para determinar una altura aproximada del objeto 5. Un gradiente de cada una de las líneas que representan la segunda parte del objeto 5 puede utilizarse para estimar la posición de la segunda parte con respecto a la primera parte (p. ej., posición de la pala con respecto a la torre). En consecuencia, puede determinarse la configuración del objeto 5 y puede actualizarse el modelo inicial para generar el modelo en vuelo. La localización puede llevarse a cabo de la manera anteriormente descrita.

30 Anteriormente se han debatido enfoques de mejor ajuste iterativos y de regresión lineal. No obstante, en algunas realizaciones, los procesos de mapeo y/o localización pueden utilizar otras técnicas para generar el modelo en vuelo.

35 Como se apreciará, el modelo del objeto 5 puede determinarse, por lo menos en parte, sobre la base de la información inicial, por ejemplo. Como se entenderá, los datos de sensor utilizados en este proceso pueden incluir datos de sensor generados por el o cada sensor 171 (que puede incluir información de distancia, p. ej., procedente de un sensor de LiDAR o de otro sensor de profundidad/distancia como aquí se describe).

40 Este proceso puede repetirse en vuelo, dando como resultado una refinación del modelo en vuelo (véase, por ejemplo, la figura 8, que muestra un modelo original sobre el cual se superpone una nueva representación de las palas de una turbina).

45 En algunas realizaciones, los procesos de mapeo y/o localización del programa de navegación pueden incluir el uso de una o más de tales técnicas para generar el modelo en vuelo. En realizaciones en las que se utilizan múltiples técnicas a continuación se pueden combinar los resultados, los cuales pueden utilizar desviaciones estándar, un promedio (p. ej., una media) y pueden ser una combinación ponderada basada en covarianza o en el estado del sensor del o de cada sensor 171 utilizado para generar los datos.

En algunas realizaciones, esto puede comprender la combinación de datos de sensor por parte del programa de navegación y el uso posterior de los datos de sensor combinados para generar el modelo en vuelo o el uso de los datos de sensor para generar múltiples modelos en vuelo y posteriormente combinar los modelos en vuelo.

50 En algunas realizaciones, se utiliza una red neuronal o un filtro de partículas o un filtro de Kalman para combinar una pluralidad de modelos en vuelo y/o datos de sensor. En algunas realizaciones, se utilizan los datos de sensor más recientes para generar el modelo en vuelo. En algunas realizaciones, se ponderan los datos de sensor conforme al sensor 171 que generó los datos de sensor. Esto puede incluir, por ejemplo, modificar la ponderación en vuelo durante el funcionamiento del vehículo autónomo 1.

55 El proceso de mapeo está configurado para generar el modelo en vuelo, que a continuación es utilizado por el proceso de localización, que posiciona ese modelo en vuelo dentro de un marco de referencia utilizado por el vehículo autónomo 1 y, en particular, por el programa de navegación.

En algunas realizaciones, los procesos de mapeo y/o localización se llevan a cabo utilizando múltiples modelos en vuelo que posteriormente se combinan —p. ej., utilizando un promedio (p. ej., una media) o cualquier otro método adecuado— para determinar la configuración y/o ubicación del vehículo autónomo 1.

Así pues, en algunas realizaciones, el modelo en vuelo es un aspecto importante del funcionamiento del programa de navegación. Por consiguiente, en algunas realizaciones, el programa de navegación puede incluir, como parte del plan de vuelo, una o más ubicaciones de transición cuyo cometido es guiar al vehículo autónomo 1 a lo largo de un segmento de mapeo inicial del plan de vuelo. En este segmento de mapeo inicial, el vehículo autónomo 1 puede moverse en relación con el objeto 5 (sobre la base del modelo del objeto utilizado en la generación del plan de vuelo, esto es, un modelo inicial) para posibilitar la ejecución de los procesos de mapeo y/o localización a fin de generar el modelo en vuelo. Este segmento de mapeo inicial puede incluir, por ejemplo, controlar el movimiento del vehículo autónomo 1 para desplazarse con respecto a por lo menos una porción del objeto 5 de modo que la por lo menos una porción del objeto 5 pueda ser detectada por el sistema sensor 17, p. ej., dentro del alcance del uno o más sensores de inspección 171.

Por consiguiente, el segmento de mapeo inicial puede estar configurado para causar el movimiento del vehículo autónomo 1 a lo largo de una longitud predeterminada del objeto 5. En algunas realizaciones, el segmento de mapeo inicial puede incluir, además del movimiento a lo largo de una longitud predeterminada del objeto, un movimiento adicional en la misma dirección. En particular, se entenderá que la longitud predeterminada se determina sobre la base del modelo del objeto 5 (antes de haberse generado el modelo en vuelo). Si el objeto 5 real se extiende más allá de esta longitud predeterminada, esta información puede ser útil para generar el modelo en vuelo. El movimiento adicional en la misma dirección puede incluir, por ejemplo, un movimiento en un 20 % adicional en comparación con la longitud predeterminada.

En caso de que el objeto 5 sea una turbina eólica, el segmento de mapeo inicial puede ser un movimiento del vehículo autónomo 1 a lo largo de una longitud de la torre de la turbina eólica, p. ej., con el vehículo autónomo 1 posicionado con respecto a la turbina eólica de manera que el sistema sensor 17 pueda detectar la torre de la turbina eólica. En algunas realizaciones, la distancia predeterminada puede ser una parte sustancial de la longitud de la torre. En algunas realizaciones, la distancia predeterminada puede ser una longitud superior de la torre. En algunas realizaciones, el movimiento adicional es un movimiento por encima de la parte superior de la torre (sobre la base del modelo utilizado). En algunas realizaciones, el movimiento adicional llevaría el vehículo autónomo 1 a una altura del 120 % de la altura de la torre (sobre la base del modelo utilizado). La figura 11 muestra un vehículo autónomo 1 ejecutando dicho movimiento a lo largo de una parte de la longitud de la torre. La figura 10 muestra un vehículo autónomo 1 aproximándose a la parte superior de la torre.

Por consiguiente, en algunas realizaciones, el proceso de mapeo puede tener lugar después de que el vehículo autónomo 1 se haya movido conforme al mapeo de segmento inicial del plan de vuelo.

En algunas realizaciones, el proceso de localización incluye la determinación, por parte del programa de navegación, de la ubicación relativa del vehículo autónomo 1 con respecto al modelo en vuelo. Dicho de otro modo, el proceso de localización puede incluir el posicionamiento del modelo en vuelo dentro de un marco de referencia del vehículo autónomo 1.

En algunas realizaciones, el proceso de localización utiliza información de ubicación (esto es, datos de sensor) proporcionados por el sistema sensor 17. La información de ubicación puede incluir información de ubicación general, que puede incluir datos de sensor procedentes de un sensor 171 que es un sensor de radionavegación. El proceso de localización puede incluir un paso de localización inicial en el que el modelo inicial (esto es, el utilizado para generar el plan de vuelo) se posiciona con un marco de referencia con respecto al vehículo autónomo 1 utilizando dicha información de ubicación general. En algunas realizaciones, el proceso de localización continúa durante el movimiento del vehículo autónomo 1 a lo largo del segmento de mapeo inicial del plan de vuelo. Durante esta parte, se determina la ubicación del modelo en vuelo dentro del marco de referencia del vehículo autónomo 1. Durante esta fase, puede utilizarse información de ubicación más específica procedente de uno o más sensores 171, como por ejemplo datos de sensor procedentes de un sensor de telemetría 171 conforme a lo aquí descrito.

El proceso de localización puede continuar durante la totalidad o parte del movimiento del vehículo autónomo 1 a lo largo de la ruta de vuelo bajo el control del programa de navegación.

Durante los procesos de mapeo y localización, el programa de navegación ajusta la ruta de vuelo de modo que esta coincida con el plan de vuelo inicial, pero ahora basada en el modelo en vuelo.

En consecuencia, como se apreciará, el plan de vuelo es generado por el programa de navegación sobre la base de un modelo inicial (esto es, una representación) del objeto 5. Este modelo puede utilizarse para determinar las ubicaciones de inspección y posteriormente la secuencia requerida de ubicaciones (de inspección y de transición) para definir la ruta y el plan de vuelo. El modelo está configurado para posibilitar la determinación de una posición angular del sistema de inspección 19 con respecto al objeto 5 para asegurar la correcta inspección del objeto 5. El vuelo inicial puede estar basado en este modelo y plan de vuelo. Posteriormente, durante el vuelo, puede utilizarse un modelo diferente o refinado para actualizar el plan de vuelo (esto es, el modelo en vuelo). Los requisitos de cada modelo son diferentes y el uso de un modelo

diferente durante el vuelo reduce, por ejemplo, el esfuerzo computacional asociado a la actualización del modelo original. Puede aludirse al modelo original como un primer modelo, un modelo original o un modelo inicial (por lo tanto, también puede aludirse al modelo en vuelo como el segundo modelo).

Como se ha mencionado anteriormente, la figura 12 muestra un ejemplo de diagrama de flujo de un proceso de generación de un modelo en vuelo a partir de la combinación de dos modelos generados utilizando diferentes datos, junto con el modelo inicial (que puede ser el modelo original). Este proceso puede ser implementado por el programa de navegación y puede incluir combinaciones de más de dos modelos (cada uno de los cuales puede generarse utilizando datos de sensor distintos a los mostrados en la figura). En algunas realizaciones, tales como las mostradas en el diagrama de la figura 12, el modelo en vuelo puede ser actualizado y también puede generarse nueva información de posición para el vehículo 1, lo cual puede tener lugar, por ejemplo, de forma alterna.

Los procesos de mapeo y/o localización pueden tener lugar en vuelo y pueden utilizar datos que no sean los datos de sensor más recientes obtenidos. En algunos casos, los procesos de mapeo y/o localización pueden utilizar datos históricos de un momento anterior del mismo vuelo. En algunas realizaciones, un vuelo puede ser revisado en un análisis postvuelo que incluye la compleción de los procesos de mapeo y/o localización utilizando datos de sensor procedentes del vuelo. Los resultados pueden utilizarse posteriormente en futuros vuelos, p. ej., para modificar el modelo original o inicial.

El modelo en vuelo (y el modelo original) pueden incluir representaciones de una o más de una ubicación central de la parte inferior del objeto (p. ej., una torre de la turbina eólica) en relación con la posición inicial del vehículo autónomo, una altura del objeto (p. ej., una altura de un centro de las palas de la turbina eólica) en relación con la posición inicial del vehículo autónomo, la posición de rotación (p. ej., en grados) de una primera parte del objeto 5 con respecto a otra parte (por ejemplo, una primera pala desde una posición vertical), una orientación desde la posición inicial del objeto 5 con respecto a la posición inicial del vehículo autónomo 1, y una posición central de la pala (p. ej., una distancia de un centro de la torre respecto del punto teórico donde se encuentran las palas).

Las realizaciones del programa de navegación pueden utilizar uno o más marcos de referencia diferentes durante su ejecución. Estos marcos de referencia pueden incluir marcos de referencia de una naturaleza geográficamente universal (p. ej., longitud y latitud) o marcos de referencia definidos localmente con respecto al vehículo autónomo 1 y/o al objeto 5 o a una parte de este.

Las operaciones y los procesos del programa de navegación pueden separarse generalmente en dos partes: (i) partes determinantes de la ubicación y (ii) partes de inspección. Las partes determinantes de la ubicación incluyen todos los procesos que determinan o refinan la ubicación y configuración del objeto 5 con respecto al vehículo autónomo 1. Las partes de inspección incluyen las partes que están involucradas en la inspección del objeto 5 (incluido el control del movimiento del vehículo autónomo 1). Al funcionamiento de estas partes del programa de navegación puede aludirse generalmente como la "misión". Aspectos del funcionamiento del vehículo autónomo 1 que no están directamente asociados a la misión pueden incluir procesos preparatorios (tales como la puesta en marcha del sistema de propulsión 12, el inicio de cualquiera de los ordenadores aquí descritos, la ejecución de las comprobaciones de seguridad iniciales previas al vuelo y la ejecución de cualquier acción de emergencia posterior a la misión o durante la misión. Como se entenderá, puede haber pausas en el funcionamiento de las partes de inspección del funcionamiento del programa de navegación después de ciclos de funcionamiento de las partes determinantes de la ubicación (p. ej., a medida que se identifican cambios).

El programa de navegación puede incluir un proceso de seguridad en vuelo. El proceso de seguridad en vuelo puede estar configurado para ejecutarse mientras el programa de navegación está controlando el movimiento del vehículo autónomo 1. El proceso de seguridad en vuelo puede estar configurado para determinar si existe algún motivo que impida continuar el vuelo. Si se determina la existencia de alguno de dichos motivos, pueden ejecutarse una o más acciones de emergencia.

Por consiguiente, el proceso de seguridad en vuelo puede comprobar una pluralidad de diferentes aspectos del funcionamiento de uno o más del propio programa de navegación, del vehículo autónomo 1, de la estación de base 2 y del dispositivo de interfaz de operador 4.

El proceso de seguridad en vuelo puede incluir la comprobación de uno o más de:

- si el sistema de sensor 17 está funcionando correctamente;
- si uno o más de los sensores 171 están funcionando correctamente (p. ej., un sensor 171 que indica una posición del vehículo autónomo 1 (p. ej., con respecto al objeto 5) que supera en un umbral predeterminado la indicada por otro sensor 171 (o un promedio de la posición determinado por múltiples otros sensores 171) puede desencadenar una acción de emergencia);
- si el sistema de inspección 19 está funcionando correctamente;
- si uno o más sensores de inspección 191 están funcionando correctamente;

- si la fuente de alimentación 14 tiene suficientes reservas de energía para completar el plan de vuelo;
- si la fuente de alimentación 14 comunica un fallo;
- si el sistema de control de vuelo 15 está funcionando correctamente;
- si el sistema de navegación 16 está funcionando correctamente;

5 - si el sistema de propulsión 12 está funcionando correctamente;

- si el sistema de guía visual 20 está funcionando correctamente; y
- si el sistema de comunicación 18 está funcionando correctamente y/o si están establecidas las comunicaciones con la estación de base 2 y/o el dispositivo de interfaz de operador 4 y/o el servidor remoto 3.

10 En caso de detectarse un fallo potencial, el proceso de seguridad en vuelo está configurado para determinar si el fallo afectará a la completación o la completación segura del plan de vuelo, y/o si afectará a la capacidad del vehículo autónomo 1 de volver a la ubicación de origen, y/o si afectará a la capacidad del vehículo autónomo 1 de aterrizar en otra ubicación (esto es, distinta a la ubicación de origen).

15 El proceso de seguridad en vuelo puede estar configurado para adoptar un curso de acción basado en esta evaluación. Si puede completarse el plan de vuelo pese al fallo detectado (y el fallo no afecta al funcionamiento del sistema de inspección 19), el proceso de seguridad en vuelo no puede interrumpir el funcionamiento del resto del programa de navegación. En algunas de tales realizaciones, puede emitirse una alerta para su visualización en el dispositivo de interfaz de operador 4 para notificar el fallo al operador.

20 Si no puede completarse el plan de vuelo debido al fallo, el proceso de seguridad en vuelo puede estar configurado para determinar un nuevo plan de vuelo para devolver el vehículo autónomo 1 a la ubicación de origen ("RTL": retorno al lanzamiento, por sus siglas en inglés). Este proceso puede incluir determinar una o más ubicaciones de transición. En algunas realizaciones, el proceso de seguridad en vuelo puede determinar si el nuevo plan de vuelo (un plan de vuelo de retorno de emergencia a la base) es una ruta de vuelo segura para el vehículo autónomo 1, esto es, si no es probable que la ruta lleve al vehículo autónomo 1 a impactar contra el objeto 5 o con otro objeto (distinto al objeto 5). Si es seguro completar la ruta de vuelo, el proceso de seguridad en vuelo puede llevar al vehículo autónomo 1 a desplazarse conforme al plan de vuelo de retorno de emergencia a la base y aterrizar en la ubicación de origen. En algunas de tales realizaciones, puede emitirse una alerta para su visualización en el dispositivo de interfaz de operador 4 para notificar al operador la acción ejecutada.

30 Si el proceso de seguridad en vuelo no puede determinar un plan de vuelo seguro para devolver el vehículo autónomo 1 a la ubicación de origen y/o si el proceso determina que el vehículo autónomo 1 no puede alcanzar la ubicación de origen (p. ej., debido a la insuficiencia de energía), el proceso de seguridad en vuelo puede determinar una nueva ruta de vuelo a una ubicación distinta (que no sea la ubicación de origen). Este proceso puede incluir determinar una o más ubicaciones de transición. En algunas realizaciones, el proceso de seguridad en vuelo puede determinar si el nuevo plan de vuelo (un plan de vuelo de aterrizaje de emergencia) es una ruta de vuelo segura para el vehículo autónomo 1, esto es, si no es probable que la ruta lleve al vehículo autónomo 1 a impactar contra el objeto 5 o con otro objeto (distinto al objeto 5). Si es seguro completar la ruta de vuelo, el proceso de seguridad en vuelo puede llevar al vehículo autónomo 1 a desplazarse conforme al plan de vuelo de aterrizaje de emergencia para aterrizar el vehículo autónomo 1 en la otra ubicación. En algunas de tales realizaciones, puede emitirse una alerta para su visualización en el dispositivo de interfaz de operador 4 para notificar al operador la acción ejecutada.

35 Si el proceso de seguridad en vuelo no puede causar el aterrizaje, o no puede causar el aterrizaje seguro del vehículo autónomo 1 en otra ubicación, el proceso de seguridad en vuelo puede emitir una alerta para su visualización en el dispositivo de interfaz de operador 4 para notificar al operador que debería utilizar el dispositivo de interfaz de operador 4 para tomar el control manual del vuelo del vehículo autónomo 1. A través de la interfaz 42, el operador puede introducir uno o más comandos que se transmiten al vehículo autónomo 1 (directamente o a través de la estación de base 2) y que posteriormente se utilizan para controlar el funcionamiento del sistema de propulsión 12 para controlar el movimiento del vehículo autónomo 1.

40 Conforme a algunas realizaciones, el dispositivo de interfaz de operador 4 está configurado para recibir un comando del operador (p. ej., a través de la interfaz 42) indicando que el operador asumirá el control manual del vehículo autónomo 1, de manera muy similar a la anteriormente descrita pero sin necesidad de que se detecte un fallo.

45 Como se apreciará, las referencias a un plan de vuelo o a una ruta de vuelo son referencias a un plan o a una ruta de navegación y, del mismo modo, son referencias a un plan de inspección o a una ruta de inspección.

50 Para facilitar la referencia, las operaciones del programa de navegación de algunas realizaciones se recogen en la figura 9, que muestra un diagrama de flujo.

55 Como se entenderá, el programa de navegación proporciona un modelo en vuelo actualizado que se utiliza durante el vuelo del vehículo autónomo 1 para controlar el vuelo del vehículo 1. El plan de vuelo propiamente

dicho puede no cambiar sustancialmente en algunas realizaciones, pero puede desplazarse en el espacio a medida que la ubicación real del objeto 5 se refina dentro del modelo. No obstante, como se apreciará, este desplazamiento del plan de vuelo no constituye un cambio del plan de vuelo ni en el modelo durante el vuelo.

Como se entenderá, el vehículo autónomo 1 sigue un plan de vuelo (que puede actualizarse durante el vuelo) que lleva al vehículo autónomo 1 a moverse entre al menos dos ubicaciones de inspección (una primera ubicación de inspección y una segunda ubicación de inspección). En cada ubicación de inspección se utiliza el sistema de inspección 19 para inspeccionar el objeto 5.

Puede proporcionarse al ordenador del sistema de inspección 192 información relativa a las ubicaciones de inspección. Esta información puede incluir una distancia entre el sistema de inspección 19 (y, en particular, el o cada sensor de inspección 191, como por ejemplo una cámara 191a). Por consiguiente, la información se denomina datos de ubicación de inspección.

El ordenador del sistema de inspección 192 puede estar configurado para controlar el funcionamiento del uno o más sensores de inspección 191 (por ejemplo, una cámara 191a) para asegurar que el objeto 5 sea inspeccionado de manera precisa por el o cada sensor de inspección 191. En algunas realizaciones, el ordenador del sistema de inspección 192 puede estar configurado para controlar el funcionamiento del uno o más sensores de inspección 191 sobre la base de los datos de ubicación de inspección.

En algunas realizaciones, este proceso incluye la determinación, por parte del ordenador del sistema de inspección 192, de uno o más parámetros del sistema de inspección sobre la base de los datos de ubicación de inspección. En algunos casos, no obstante, los datos de ubicación de inspección incluyen el uno o más parámetros del sistema de inspección. El uno o más parámetros del sistema de inspección incluyen parámetros que se utilizan para configurar al menos uno de los uno o más sensores de inspección 191. El o cada parámetro del sistema de inspección puede incluir, por ejemplo (p. ej., en el caso de una cámara 191a) un enfoque (por ejemplo, una distancia focal), una velocidad de obturación, un tamaño de apertura y similares.

Como se apreciará, los datos de ubicación de inspección pueden variar de una ubicación de inspección a otra. En particular, los datos de ubicación de inspección para la primera ubicación de inspección pueden diferir de los datos de ubicación de inspección para la segunda ubicación de inspección. Del mismo modo, puede haber más ubicaciones de inspección y cada una de ellas puede tener datos de ubicación de inspección diferentes a los de otra ubicación de inspección.

Las ubicaciones de inspección forman una secuencia conforme al plan de vuelo (y pueden estar intercaladas con ubicaciones de transición, como se describe aquí).

El ordenador del sistema de inspección 192 puede estar configurado para controlar el funcionamiento del o de cada sensor de inspección 191 utilizando los datos de ubicación de inspección (y el o cada parámetro del sistema de inspección) mientras el vehículo autónomo 1 se mueve entre ubicaciones de inspección. En particular, a medida que el vehículo autónomo 1 se mueve hacia una ubicación de inspección, el ordenador del sistema de inspección 192 puede controlar el o cada sensor de inspección 191 de manera que el o cada sensor de inspección 191 está configurado para llevar a cabo una operación de inspección del objeto 5 cuando el vehículo autónomo 1 llegue a esa ubicación de inspección. Dicho de otro modo, el ordenador del sistema de inspección 192 puede haber configurado el o cada sensor de inspección 191 para inspeccionar el objeto 5 en la primera ubicación de inspección utilizando los datos de la primera ubicación de inspección (y uno o más parámetros del sistema de la primera inspección). Una vez que el sistema de inspección 19 ha sido utilizado en una primera operación de inspección en la primera ubicación de inspección, el vehículo autónomo 1 inicia el movimiento hacia la segunda ubicación de inspección (p. ej., directamente o pasando por una o más ubicaciones de transición ("hacia" en este caso siendo conforme a la secuencia determinada por el plan de vuelo)). Una vez que el sistema de inspección 19 ha completado la primera operación de inspección, el ordenador del sistema de inspección 192 puede estar configurado para controlar el funcionamiento del o de cada sensor de inspección 191 para configurar el o de cada sensor de inspección 191 utilizando los datos de la segunda ubicación de inspección (y uno o más parámetros del sistema de la segunda inspección). Por consiguiente, cuando o antes de que el vehículo autónomo 1 llegue a la segunda ubicación de inspección, el o cada sensor de inspección 191 está configurado para una segunda operación de inspección en la segunda ubicación de inspección. Este proceso reduce la cantidad de tiempo que el vehículo autónomo 1 debe permanecer en cada ubicación de inspección.

En algunas realizaciones, el o cada parámetro del sistema de inspección puede ser refinado en la ubicación de inspección sobre la base de uno o más parámetros detectados en la ubicación de inspección (p. ej., detectados por uno o más de los sensores de inspección 191 y/o uno o más sensores 171 del sistema sensor 17). Así, por ejemplo, en la ubicación de inspección puede determinarse una distancia más precisa (o real) del vehículo autónomo 1 (y, por ende, del sensor de inspección 19) respecto del objeto 5. Como se apreciará, dado que esto puede ser un ajuste fino de la configuración del o de cada sensor de inspección 191, la mayor parte de cualquier configuración puede haber ocurrido mientras el vehículo autónomo 1 aún se estaba moviendo. Por lo tanto, este proceso aún puede reducir la cantidad de tiempo que el vehículo autónomo 1 debe permanecer en cada ubicación de inspección.

En algunas realizaciones, el sistema de inspección 19 está configurado para almacenar los datos de inspección (bajo el control del ordenador del sistema de inspección 192) en el medio de almacenamiento 192a después de la o de cada operación de inspección. En algunas realizaciones, el sistema de inspección 19 está configurado para enviar los datos de inspección al sistema de comunicación 18 (p. ej., a una o más de las 5 interfaces de comunicación 181) para su transmisión desde el vehículo autónomo 1 (p. ej., a la estación de base 2, al servidor remoto 3 y/o al dispositivo de interfaz de operador 4).

El ordenador del sistema de inspección 192 puede estar configurado para determinar si enviar o no los datos de inspección (p. ej., tras una operación de inspección en una ubicación de inspección) al sistema de comunicación 18 basándose, al menos en parte, en el plan de vuelo. En algunas realizaciones, el ordenador 10 del sistema de inspección 192 está configurado para determinar si enviar o no los datos de inspección sobre la base de uno o más del lapso de tiempo previsto para el desplazamiento hasta la siguiente ubicación de inspección, el volumen de datos de inspección recopilados en la última operación de inspección (y/o en cualesquiera otras operaciones de inspección para las cuales aún no se hayan enviado los datos de inspección), la velocidad de transmisión disponible utilizando el sistema de comunicación 18 (y, p. ej., una o 15 más de las interfaces de comunicación 181 para el uso en el envío de los datos de inspección) y la disponibilidad o la intensidad de señal de la una o más interfaces de comunicación 181 para el uso en el envío de los datos de inspección. En consecuencia, los datos de inspección 19 pueden ser enviados desde el vehículo autónomo 1 durante porciones apropiadas del vuelo del vehículo autónomo 1. Esto puede hacer un uso más eficiente de los recursos disponibles en el vehículo autónomo 1 y, por ejemplo, acortar el tiempo que de otro modo sería necesario para extraer los datos de inspección del vehículo autónomo 1.

En algunas realizaciones, el sistema de comunicación 18 está configurado para determinar si y cuándo enviar los datos de inspección desde el vehículo autónomo 1 —de la misma manera que se ha descrito anteriormente— y puede, por consiguiente, estar configurado para solicitar datos de inspección al sistema de inspección 19 cuando se requiera.

25 Como se apreciará, por lo tanto, en algunas realizaciones, el sistema de inspección 19 está configurado para ejecutar las siguientes operaciones:

una operación de configuración (para configurar el o cada sensor de inspección 191 para ejecutar la operación de inspección);

la operación de inspección (para capturar los datos de inspección); y

30 una operación de envío/almacenamiento (para enviar y/o almacenar los datos de inspección).

Como también se apreciará, la operación de configuración puede llevarse a cabo (al menos parcialmente, si no en su totalidad) durante el vuelo hacia una ubicación de inspección. La operación de inspección tiene lugar en la ubicación de inspección y la operación de envío/almacenamiento tiene lugar al menos parcialmente durante el vuelo hacia otra ubicación de inspección o transición. En algunas realizaciones, la operación de envío/almacenamiento tiene lugar al menos parcialmente mientras el vehículo autónomo 1 está en una 35 ubicación de inspección (y, por consiguiente, puede solaparse con la operación de inspección en términos de cuándo se ejecutan).

Las operaciones anteriormente mencionadas en relación con el ordenador del sistema de inspección 192 pueden ejecutarse conforme a un programa del sistema de inspección que puede estar configurado para su ejecución por el ordenador del sistema de inspección 192. En algunas realizaciones, este programa no tiene por qué ser ejecutado por el ordenador del sistema de inspección 192, sino que podría ser ejecutado por otro ordenador (p. ej., uno de los otros ordenadores aquí descritos).

El vehículo autónomo 1 puede ser una aeronave de alas giratorias, por ejemplo un helicóptero que puede ser un helicóptero multirrotor (p. ej., un helicóptero con dos o más rotores que proporcionan fuerzas de elevación y maniobra).

45 El vehículo autónomo 1 puede ser una aeronave de alas fijas (que puede ser un planeador o una aeronave propulsada). El vehículo autónomo 1 puede ser un aerostato (por ejemplo, un dirigible).

El vehículo autónomo 1 puede ser un vehículo terrestre que incluya al menos un elemento de contacto con el suelo —por ejemplo, una rueda o una oruga— y que esté configurado para ser conducido sobre una superficie terrestre.

50 El vehículo autónomo 1 puede ser una nave acuática, como por ejemplo un bote o submarino.

El vehículo autónomo 1 puede ser un vehículo anfibio, por ejemplo, que esté configurado para desplazarse por el agua y por una superficie terrestre, como por ejemplo un aerodeslizador.

Como se apreciará, las realizaciones de la presente invención son aplicables a diferentes tipos de vehículos, y las realizaciones anteriormente descritas podrían implementarse en relación con cualquiera de tales vehículos autónomos 1.

Los términos "comprende" y "comprendiendo" y sus variantes que se utilizan en esta especificación y reivindicaciones significa que las características, los pasos o elementos especificados están incluidos. No debe interpretarse el término como excluyente de la presencia de otras características, pasos o elementos.

REIVINDICACIONES

1. Un método de navegación para un vehículo autónomo (1), donde dicho método de navegación incluye:
recibir un modelo inicial de un objeto (5) para ser inspeccionado por el vehículo autónomo (1);
identificar un objetivo de inspección asociado al modelo inicial del objeto (5);
5 determinar una ubicación de inspección para el vehículo autónomo (1) desde la cual el objetivo de inspección sea inspeccionable por un sistema de inspección del vehículo autónomo (1), donde el modelo inicial incluye polígonos convexos apilados que representan el objeto (5), y cada polígono convexo permite una proyección desde la ubicación de inspección al objetivo de inspección que debe determinarse, de modo que el objetivo de inspección está definido en un borde de una forma convexa del modelo y la ubicación de inspección está 10 identificada por una proyección desde allí sobre el objetivo de inspección;
- 15 determinar un plan de inspección inicial para que el vehículo autónomo (1) inspeccione el objeto (5), sobre la base del modelo inicial del objeto (5), el plan de inspección inicial incluida la ubicación de inspección; y
llevar a cabo una evaluación de efectividad en relación con la ubicación de inspección para determinar si el objetivo de inspección es inspeccionable por un sensor de inspección (191) de un sistema sensor (19) del vehículo autónomo (1) desde esa ubicación de inspección, y caracterizado porque la evaluación de efectividad incluye:
20 proyectar un campo de visión del sensor de inspección (191) sobre una superficie del modelo inicial del objeto (5) que sea de interés; y
excluir una o más porciones del campo de visión del sensor de inspección (191) que se extiendan más allá de dicha área de interés.
- 25 2. Un método de navegación conforme a la reivindicación 1, donde:
cada polígono convexo forma una losa con un grosor predeterminado; y/o
cada polígono convexo forma una losa y el grosor de una de la pluralidad de losas difiere del grosor de otra de la pluralidad de losas; y/o
cada polígono convexo es paralelo a un polígono convexo adyacente o está angulado con respecto a, y no paralelo a, un polígono convexo adyacente; y/o
la representación del objeto (5) en el modelo inicial incluye solo formas convexas.
- 30 3. Un método de navegación conforme a las reivindicaciones 1 o 2, que incluye además la determinación de una pluralidad de ubicaciones de inspección desde las cuales sea inspeccionable el objetivo de inspección.
- 35 4. Un método de navegación conforme a las reivindicaciones 1 a la 3, que incluye además la determinación de una o más ubicaciones de inspección para el vehículo autónomo (1) desde las cuales uno o más objetivos de inspección adicionales sean inspeccionables por el sistema de inspección.
- 40 5. Un método de navegación conforme a la reivindicación 4, que incluye además la determinación de una pluralidad de planes de inspección en los que se inspeccione cada objetivo de inspección, opcionalmente incluyendo además la comprobación de que cada uno de los planes de inspección no infrinja una o más restricciones, y/u opcionalmente incluyendo además la alteración de uno o más de los planes de inspección.
- 45 6. Un método de navegación conforme a la reivindicación 5, que incluye además un cálculo del coste de los planes de inspección en relación con un criterio de costes para determinar un plan de inspección con el menor coste.
7. Un método de navegación conforme a cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que incluye además:
controlar el movimiento del vehículo autónomo (1) conforme al plan de inspección inicial;
recibir datos de sensor procedentes de un sistema sensor durante el movimiento del vehículo autónomo (1) conforme al plan de inspección inicial;

generar un modelo en vuelo del objeto (5) sobre la base de los datos de sensor recibidos; y
 generar un plan de inspección actualizado utilizando el modelo en vuelo y el plan de inspección inicial.

5 8. Un método de navegación conforme a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde las ubicaciones de inspección que no superen la evaluación de efectividad son suprimidas o movidas.

9. Un programa informático de navegación para un vehículo autónomo (1) que, al ejecutarse, el programa de navegación cause el funcionamiento del método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a la 8.

10 10. Un sistema de navegación (16) para un vehículo autónomo (1), donde el sistema de navegación (16) está configurado para:
 recibir un modelo inicial de un objeto (5) para ser inspeccionado por el vehículo autónomo (1);
 identificar un objetivo de inspección asociado al modelo inicial del objeto (5);
 determinar una ubicación de inspección para el vehículo autónomo (1) desde la cual el objetivo de inspección sea inspeccionable por un sistema de inspección del vehículo autónomo (1), donde el modelo inicial incluye polígonos convexos apilados representando el objeto (5), y cada polígono convexo permite una proyección desde la ubicación de inspección al objetivo de inspección que debe determinarse, de modo que el sistema está configurado para definir un objetivo de inspección en un borde de una forma convexa del modelo y el sistema está configurado para identificar la ubicación de inspección por una proyección desde allí sobre el objetivo de inspección;
 determinar un plan de inspección inicial para que el vehículo autónomo (1) inspeccione el objeto (5), sobre la base del modelo inicial del objeto (5), el plan de inspección inicial incluida la ubicación de inspección; y
 15 llevar a cabo una evaluación de efectividad en relación con la ubicación de inspección para determinar si el objetivo de inspección es inspeccionable por un sensor de inspección (191) de un sistema sensor (19) del vehículo autónomo (1) desde esa ubicación de inspección, y caracterizado porque el sistema (16) está configurado además, como parte de la evaluación de efectividad, para:
 proyectar un campo de visión del sensor de inspección (191) sobre una superficie del modelo inicial del objeto (5) que sea de interés; y
 20 excluir una o más porciones del campo de visión del sensor de inspección (191) que se extiendan más allá de dicha área de interés.

25 11. Un sistema de navegación (16) conforme a la reivindicación 10, donde:
 cada polígono convexo forma una losa con un grosor predeterminado; y/o
 30 cada polígono convexo forma una losa y el grosor de una de la pluralidad de losas difiere del grosor de otra de la pluralidad de losas; y/o
 cada polígono convexo es paralelo a un polígono convexo adyacente o está angulado con respecto a, y no paralelo a, un polígono convexo adyacente; y/o
 la representación del objeto (5) en el modelo inicial incluye una o más formas convexas.

35 40 12. Un sistema de navegación (16) conforme a las reivindicaciones 10 u 11, configurado además para determinar una pluralidad de ubicaciones de inspección desde las cuales sea inspeccionable el objetivo de inspección.

45 13. Un sistema de navegación (16) conforme a las reivindicaciones 10 a 12, configurado además para determinar una o más ubicaciones de inspección para el vehículo autónomo (10) desde las cuales uno o más objetivos de inspección adicionales sean inspeccionable por el sistema de inspección.

14. Un sistema de navegación (16) conforme a la reivindicación 13, configurado además para:
 determinar una pluralidad de planes de inspección en los que se inspeccione cada objetivo de inspección; o

determinar una pluralidad de planes de inspección en los que se inspeccione cada objetivo de inspección, comprobar que cada uno de los planes de inspección no infrinja una o más restricciones, y opcionalmente realizar un cálculo del coste de los planes de inspección en relación con un criterio de coste para determinar un plan de inspección con el menor coste; o

5 determinar una pluralidad de planes de inspección en los que se inspeccione cada objetivo de inspección, comprobar que cada uno de los planes de inspección no infrinja una o más restricciones, alterar uno o más de los planes de inspección y opcionalmente realizar un cálculo del coste de los planes de inspección en relación con un criterio de coste para determinar un plan de inspección con el menor coste.

10 15. Un sistema de navegación (16) conforme a cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, configurado además para:

controlar el movimiento del vehículo autónomo (1) conforme al plan de inspección inicial;

recibir datos de sensor procedentes de un sistema sensor durante el movimiento del vehículo autónomo (1) conforme al plan de inspección inicial;

15 generar un modelo en vuelo del objeto (5) sobre la base de los datos de sensor recibidos; y generar un plan de inspección actualizado utilizando el modelo en vuelo y el plan de inspección inicial.

16- .Un sistema de navegación (16) conforme a cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, donde el sistema de navegación (16) está configurado además para: suprimir o mover las ubicaciones de inspección que no superen la evaluación de efectividad.

17- .Un vehículo autónomo (1) que incluye un programa de navegación conforme a la reivindicación 9 o un sistema de navegación (16) conforme a cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16.

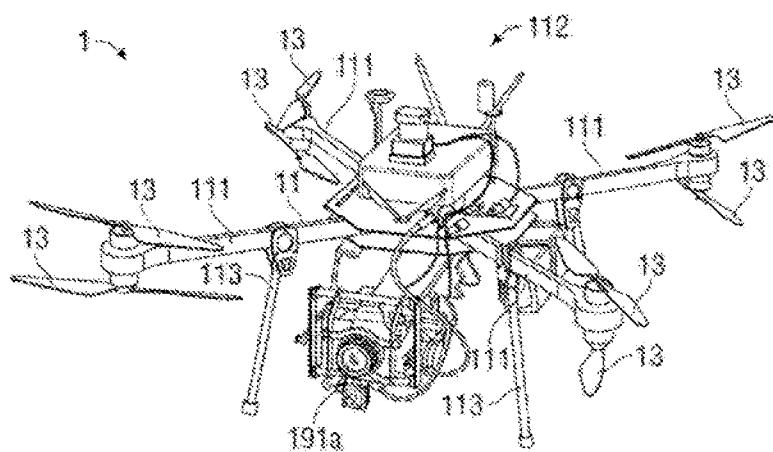


FIG. 1

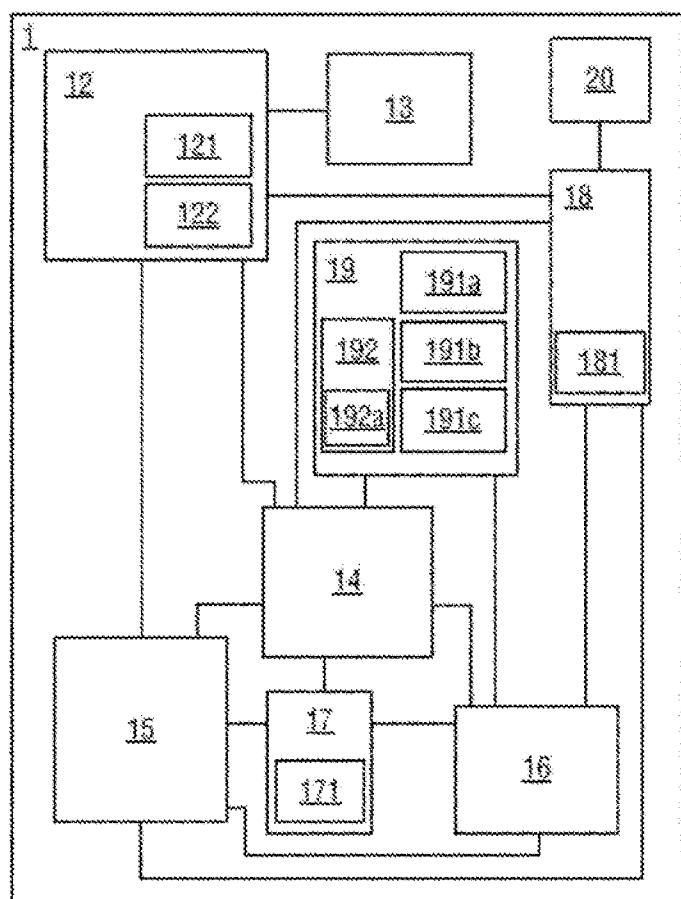


FIG. 2

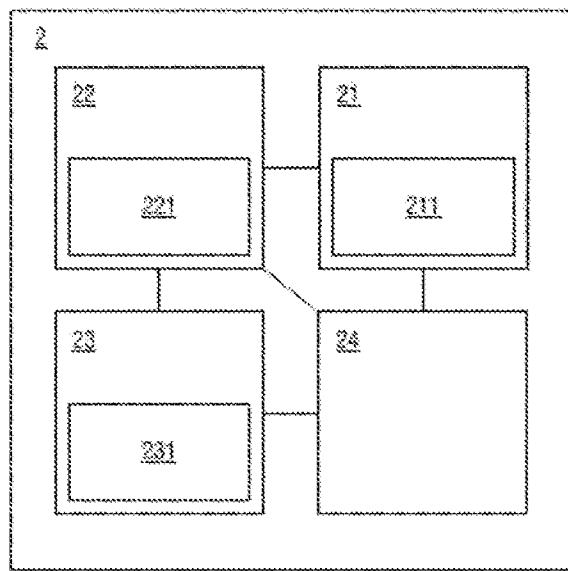


FIG. 3

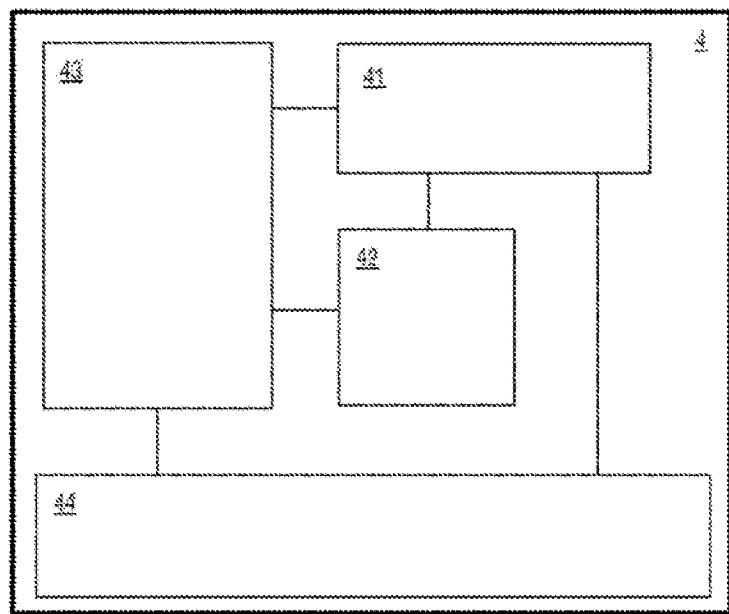


FIG. 4

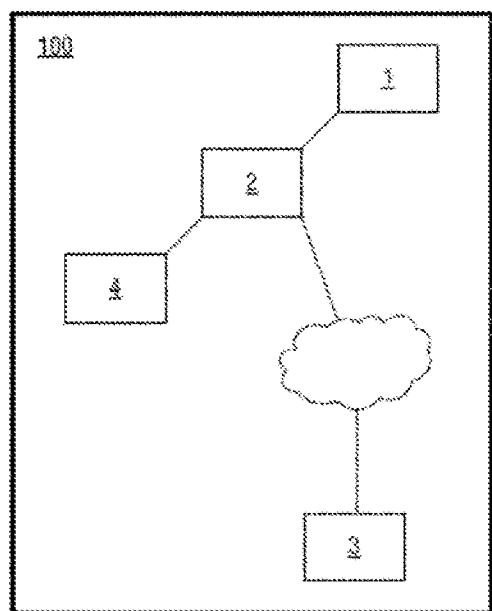


FIG. 5

ES 2 969 707 T3

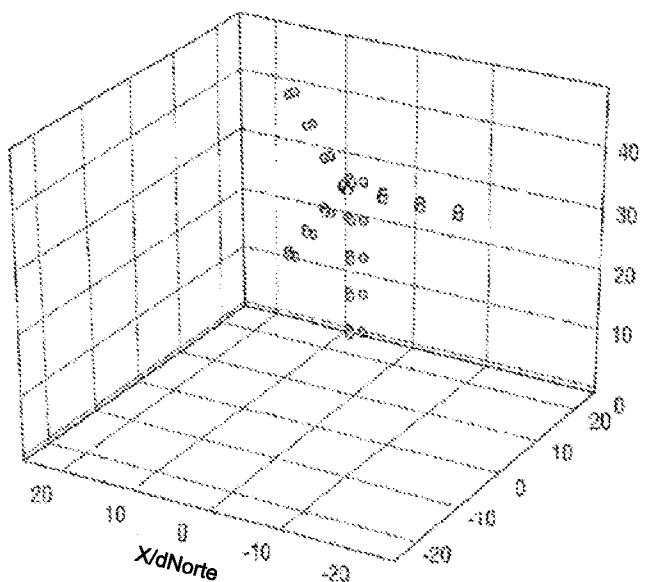


FIG. 6

ES 2 969 707 T3

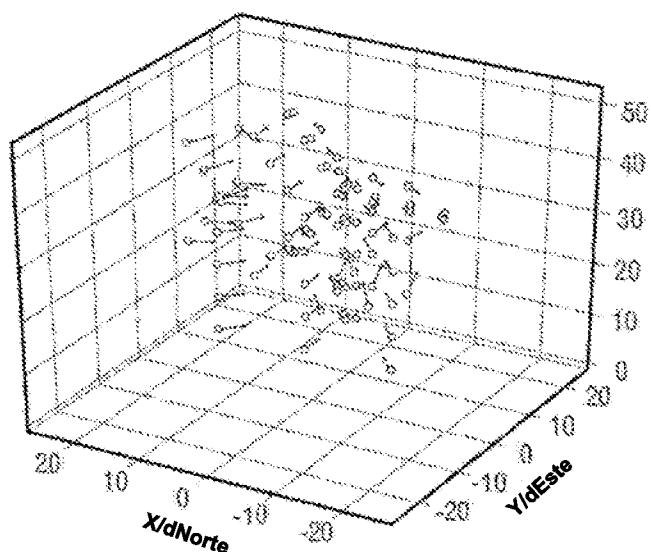


FIG. 7

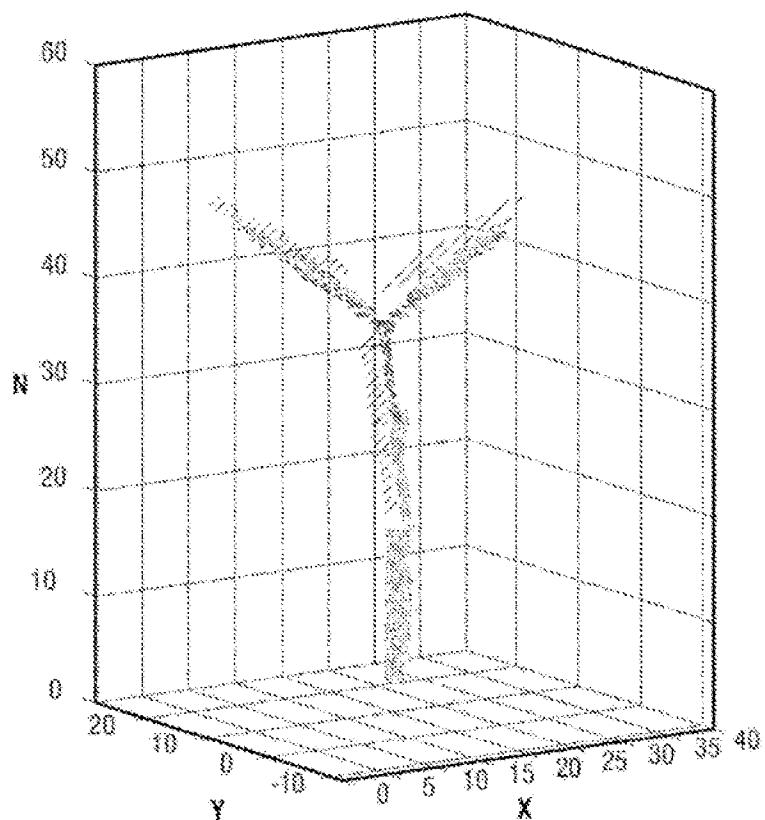
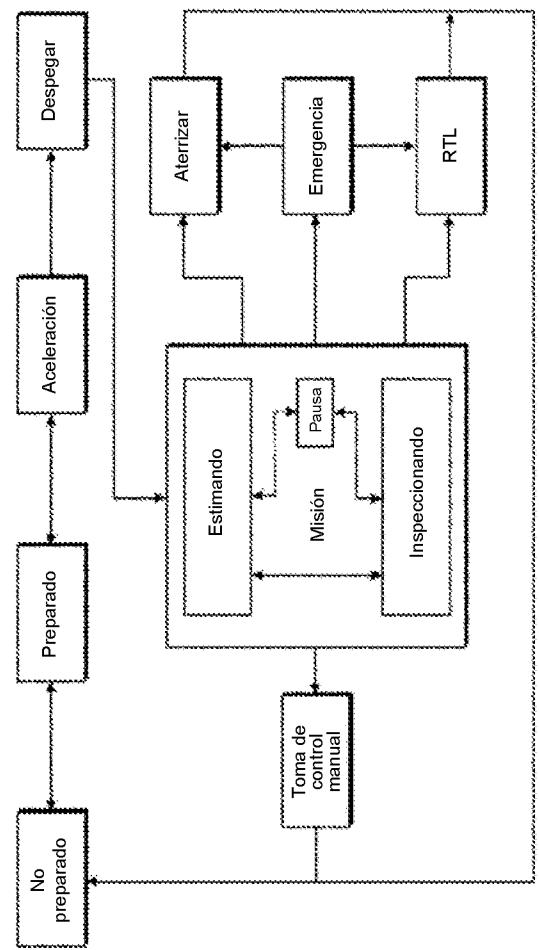


FIG. 8



三

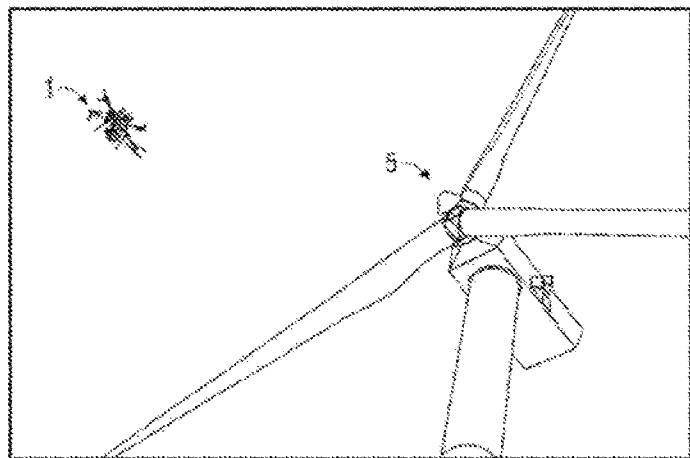


FIG. 10

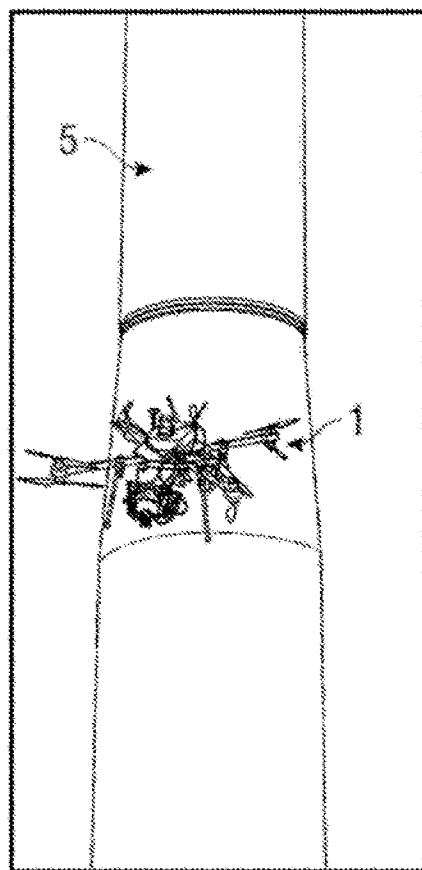


FIG. 11

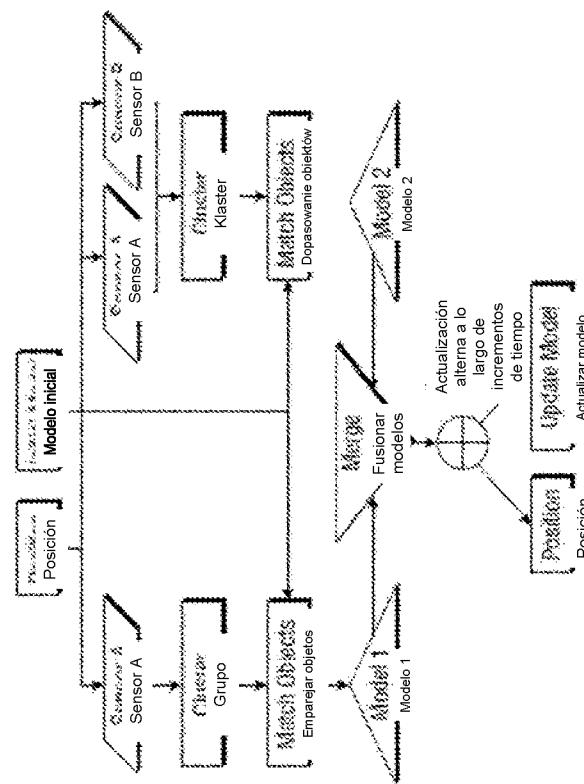


FIG. 12