

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 997 132**

51 Int. Cl.:

G01M 5/00 (2006.01)

G06V 10/75 (2012.01)

G06V 20/17 (2012.01)

G06V 20/10 (2012.01)

G05D 1/00 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.08.2021** **PCT/EP2021/073052**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.02.2022** **WO22038228**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.08.2021** **E 21762712 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2024** **EP 4200683**

54 Título: **Método y sistema de detección de objeto**

30 Prioridad:

20.08.2020 DE 102020210618

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.02.2025

73 Titular/es:

TOP SEVEN GMBH & CO. KG (100.00%)
Meglingerstraße 29
81477 München, DE

72 Inventor/es:

SENG, ULRICH;
NEUBAUER, OLIVER y
STOCKER, HERBERT

74 Agente/Representante:

RUÍZ GALLEGOS, Natalia

ES 2 997 132 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

Método y sistema de detección de objetos

5 Campo técnico

La presente divulgación se refiere a métodos y sistemas de detección de objetos. Las realizaciones se refieren a métodos y sistemas para generar datos de calibración para la determinación automática de la posición o la generación de puntos de recorrido para vuelos autónomos de un vehículo aéreo no tripulado (VANT), en preparación de un método para determinar un recorrido a lo largo de un objeto, por ejemplo, un aerogenerador.

Antecedentes de la invención

Aparte de las centrales solares e hidroeléctricas, los aerogeneradores son una de las fuentes más importantes de energía renovable. El mantenimiento y la inspección periódicos son indispensables para un funcionamiento seguro y sin fallos de las instalaciones.

Los enfoques convencionales implican equipos de escalada que examinan las instalaciones. Aparte del riesgo inherente para los escaladores, un enfoque de este tipo es poco práctico por el gran número de instalaciones. La disponibilidad de los equipos de escalada y su velocidad de trabajo son insuficientes para una monitorización suficientemente estrecha.

Los enfoques más recientes usan drones para examinar los aerogeneradores. Sin embargo, incluso estos enfoques suelen requerir que un piloto humano experimentado tome imágenes de la turbina, usando el dron, que se analizan más adelante. Esto, a su vez, requiere personal especialmente formado, lo que limita la disponibilidad y ocasiona costes.

Adicionalmente, se conoce un enfoque a partir de "Shihavuddin, A. S. M., *et al.* "Wind turbine maintenance cost reduction by deep learning aided drone inspection analysis." (2019)". Los autores tratan sobre el sistema automatizado de sugerencia de daños basado en aprendizaje profundo para el posterior análisis de imágenes de inspección de drones. Aquí se usan métodos de ampliación de datos.

Además, se conocen métodos para grabar automáticamente datos de control visual mediante drones. El documento WO 2018/166645 A1, por ejemplo, describe un método en el que un dron vuela de forma automática y/o autónoma a lo largo de un aerogenerador usando puntos de recorrido precalculados y genera datos para su evaluación.

Uno de los problemas de tales métodos es la generación de los datos de calibración necesarios para determinar los recorridos de vuelo de un dron. Frecuentemente, los datos del fabricante y los datos de posición de las instalaciones no son suficientes o son demasiado imprecisos. En muchos casos, no existe un modelo fiable, por ejemplo, modelo CAD de la planta o unas especificaciones detalladas disponibles, con el que se puede calcular una ruta de vuelo o puntos de recorrido para un dron.

45 Sumario de la invención

El objeto de la presente divulgación es proporcionar un método y un sistema que permitan la detección de objetos en un tiempo reducido y con buena calidad, que se puede usar, por ejemplo, para una inspección rápida y segura de los aerogeneradores.

Este objeto se consigue mediante un método de acuerdo con la reivindicación 1 y mediante un sistema de acuerdo con la reivindicación 15.

Realizaciones de la presente divulgación proporcionan un método para detectar un objeto que se puede describir por una pluralidad de elementos predeterminados. El método comprende volar a lo largo del objeto y detectar varias partes del objeto usando al menos una unidad de grabación. Por tanto, cada una de las partes se detecta varias veces desde distintas posiciones de la unidad de grabación para generar un conjunto de imágenes. Por tanto, la información sobre la posición y la ubicación de la unidad de grabación se asocia a cada imagen al generar la imagen. Adicionalmente, el método comprende la detección de elementos en los conjuntos de imágenes y la determinación de las posiciones, por ejemplo, coordenadas y/o ubicaciones de los elementos, usando la información sobre la posición y la ubicación de las imágenes que contienen los elementos.

De acuerdo con las realizaciones, un objeto puede ser un aerogenerador, una grúa o un poste para línea de energía eléctrica. Un objeto de este tipo se puede describir usando geometrías o elementos característicos. En el caso de los aerogeneradores, los elementos incluyen las puntas de la pala de rotor y las bridas de la pala de rotor, por ejemplo.

Un poste para línea de energía eléctrica, por ejemplo, se describe por sus aguilonos, el centro de la torre y la parte superior de la torre. Cuando se conocen las posiciones y las ubicaciones de los elementos, se puede conformar un modelo del objeto. La unidad de grabación puede ser un dron que tiene una unidad de detección o un módulo correspondiente para un dron. La unidad de detección puede, por ejemplo, estar configurada para permitir la detección por medio de láser. Adicionalmente, la unidad de detección puede ser una cámara. La unidad de grabación puede comprender adicionalmente una pluralidad de drones, como un enjambre de drones. La detección puede comprender una pluralidad de etapas de optimización, por ejemplo, para mejorar los efectos de contraluz al grabar una imagen. La información sobre la posición y la ubicación, como el emplazamiento y la orientación, por ejemplo, de la unidad de grabación asociada a cada imagen puede estar en un sistema de coordenadas absolutas, por ejemplo, coordenadas mundiales, o un sistema de coordenadas relativas con respecto a una referencia. La detección de elementos en los conjuntos de imágenes se puede realizar automáticamente, por ejemplo, mediante IA (inteligencia artificial), o manualmente por un ser humano.

Realizaciones adicionales de la presente divulgación proporcionan un sistema para detectar un objeto que se puede describir por una pluralidad de elementos predeterminados. El sistema comprende un dispositivo de medición que forma una unidad de grabación solo o junto con un dron. El dispositivo de medición está, por ejemplo, configurado para volar a lo largo del objeto y detectar varias partes del objeto desde diferentes posiciones para generar un conjunto de imágenes, en donde la información sobre la posición y la ubicación del dispositivo de medición se asocia a cada imagen. Adicionalmente, el sistema comprende un dispositivo de evaluación configurado para detectar elementos en los conjuntos de imágenes y determinar posiciones, como coordenadas, y/o ubicaciones de los elementos usando la información sobre la posición y la ubicación de las imágenes que contienen los elementos.

De acuerdo con las realizaciones, el dispositivo de medición es un módulo para un dron. El módulo puede comprender un dispositivo para detectar, o para un dron, que ya está equipado con una unidad de detección, solo una unidad de cálculo o de procesamiento de datos. El módulo puede comprender un componente de control del dron y permitir el vuelo automático del dron. Adicionalmente, el módulo puede estar configurado para comunicarse con el dispositivo de evaluación. El dispositivo de evaluación puede comprender adicionalmente una calculadora o el software correspondiente en un ordenador. También es posible un dispositivo de evaluación basado en la nube. Correspondientemente, el dispositivo de evaluación y el dispositivo de medición también pueden actuar localmente por separado el uno del otro. En términos de tiempo, la unidad de grabación puede generar primero los conjuntos de imágenes y a continuación transmitirlos al dispositivo de evaluación. La evaluación puede tener lugar inmediatamente o con retraso temporal.

De acuerdo con la presente divulgación, se detecta un objeto determinando posiciones y/o ubicaciones de elementos predeterminados mediante los cuales se puede describir el objeto. La determinación de las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos en el presente documento se realiza usando información sobre la posición y la ubicación de conjuntos de imágenes que contienen los elementos. En el presente documento, una unidad de grabación pasa volando hacia y a lo largo del objeto que se debe detectar. La unidad de grabación detecta varias partes del objeto múltiples veces desde diferentes posiciones. El resultado son varios conjuntos de imágenes. La información sobre la posición y la ubicación de la unidad de grabación se asocia a cada imagen al generar la imagen. Posteriormente, se reconocen los elementos predeterminados en los conjuntos de imágenes. Debido a la información conocida sobre la posición y la ubicación de las imágenes, se pueden extraer conclusiones sobre las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos predeterminados. Al grabar partes del objeto varias veces, se puede generar información sobre profundidad, como la distancia del elemento identificado desde la unidad de grabación. Adicionalmente, se habilita una evaluación estadística mediante la evaluación de conjuntos de imágenes que, por un lado, mejora la precisión de la información sobre la posición y la ubicación y, por otro lado, también puede permitir hacer manifestaciones sobre la calidad de la información sobre la posición y la ubicación, como en forma de desviaciones. Por consiguiente, en el caso de alta calidad de la información sobre la posición y la ubicación, se pueden establecer distancias más pequeñas entre un dron y un objeto que se deba inspeccionar sin riesgo de colisión.

De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, detectar varias partes del objeto es una detección óptica. En el caso de la detección óptica, la unidad de detección se puede configurar para que sea una cámara. Muchos drones ya están equipados con cámaras, de modo que esta es una forma particularmente barata de proporcionar una unidad de grabación para el método de acuerdo con la divulgación, por ejemplo. Además, se conoce una pluralidad de métodos de optimización para los procesos de detección óptica, aumentando de este modo la calidad de la imagen detectada, por ejemplo, para mejorar la evaluación posterior.

De acuerdo con realizaciones de la presente invención, determinar las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos además comprende establecer una pluralidad de construcciones geométricas auxiliares, como rayos o rectas (líneas rectas) o vectores de dirección, en donde las construcciones geométricas auxiliares para cada imagen que contiene un elemento se conforman entre:

- la posición de la unidad de grabación asociada a cada imagen y la posición de un elemento identificado en la imagen, o
- las posiciones de varios elementos identificados en una imagen, en un sistema de coordenadas.

Es más, las construcciones geométricas auxiliares se evalúan por pares, por ejemplo, para obtener una cantidad de resultados para la posición y/o la ubicación, como el emplazamiento y/o la orientación del elemento o un elemento derivado de varios elementos. La cantidad de resultados se puede evaluar además estadísticamente.

5

Las construcciones geométricas auxiliares pueden incluir rectas desde cuyos puntos de intersección se puede determinar la posición del elemento. Por tanto, las construcciones geométricas auxiliares pueden no tenerse en cuenta explícitamente, por ejemplo, al reconocer que se habían identificado incorrectamente.

- 10 Debido a las construcciones auxiliares, se puede limitar el esfuerzo computacional necesario para la evaluación, ya que la información pertinente relativa a la posición y la ubicación de un elemento se puede describir mediante la construcción auxiliar y no es necesario procesar toda la información sobre la imagen. De acuerdo con las realizaciones, se pueden determinar las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos derivados. Un objeto puede comprender elementos cuyas posiciones y/o ubicaciones son difíciles de identificar o reconocer mediante una evaluación óptica, por ejemplo. Un elemento de este tipo puede estar relacionado con elementos que se pueden identificar mejor del objeto a través de relaciones geométricas conocidas. A modo de ejemplo, la identificación directa del centro de una brida del rotor de un aerogenerador puede ser difícil o imposible de determinar usando un conjunto de imágenes, ya que el centro de la brida se sitúa dentro de una región oscurecida por la pala de rotor montada. Sacar conclusiones sobre la posición del centro usando puntos vecinos, por ejemplo, simétricamente alrededor del centro, en un círculo circunscrito alrededor del centro de la brida, por otra parte, puede ser mucho más fácil.

- 25 De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el método además comprende la determinación de una orientación, como información sobre ubicación u orientación, del objeto evaluando una posición de referencia del objeto y la información sobre la posición de la unidad de grabación, en donde la unidad de grabación se coloca en correspondencia con la orientación del objeto en el momento de grabar la información sobre la posición.

La orientación que se determine podrá, por ejemplo, ser la orientación de un aerogenerador. La unidad de grabación puede ser un dron.

- 30 Este tipo de determinación de la orientación se puede realizar rápidamente y no requiere equipos de medición adicionales, sino solo la unidad de grabación. En particular, se pueden detectar rápidamente datos suficientemente precisos, con los que se puede realizar un vuelo autónomo posterior del dron mediante, por ejemplo, una determinación aproximada de la orientación.

- 35 De acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación, el método además comprende la determinación de la posición de referencia, como centro del objeto, evaluando una cantidad de información sobre la posición de la unidad de grabación, en donde la cantidad de información sobre la posición se deriva de una trayectoria de movimiento, por ejemplo, rodeando el objeto, de la unidad de grabación.

- 40 La posición de referencia puede ser el centro de la torre de un aerogenerador. Esto lo puede determinar la unidad de grabación, como un dron. La trayectoria de movimiento se puede originar al rodear al menos parcialmente el aerogenerador, por ejemplo, a lo largo de la pared exterior de la torre del aerogenerador.

- 45 Incluso cuando no hay ningún dato de referencia del objeto, esto divulga una posibilidad rápida de determinar una posición de referencia. La trayectoria de movimiento puede ser un recorrido circular o una parte de un recorrido circular alrededor del objeto.

- 50 De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el método además comprende la determinación de al menos una dimensión del objeto, evaluando un punto de referencia del objeto y la posición de uno o más de los elementos.

La dimensión del objeto puede ser la altura del buje de un aerogenerador. La altura del buje se puede determinar o verificar en correspondencia con el método de acuerdo con la divulgación, por ejemplo, si ya se dispone de información sobre la altura del buje. Esto permite una determinación rápida y automatizada de las geometrías del objeto.

- 55 De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el método además comprende la determinación del punto de referencia, como una altura como un punto cero, del objeto colocando la unidad de grabación en el punto de referencia y evaluando posteriormente la información sobre la posición de la unidad de grabación.

- 60 El punto de referencia puede ser un punto del espacio bidimensional o tridimensional, y también una cantidad escalar, como una altura sobre el nivel del mar. Esto permite, por ejemplo, determinar rápidamente el punto de referencia basándose únicamente en la información sobre la posición de la unidad de grabación, sin dispositivos de medición adicionales.

De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, la unidad de grabación es un dron o un dispositivo de

medición junto con un dron, configurado para generar los conjuntos de imágenes y asociar a cada imagen la información sobre la posición y la ubicación de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen respectiva.

- 5 Usando un dron, las regiones de un objeto de difícil acceso se pueden detectar rápidamente y sin poner en peligro a una persona.

De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, las posiciones de la unidad de grabación y los elementos comprenden coordenadas de un sistema de coordenadas predeterminado.

- 10 De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el método además comprende el empleo de cinemática en tiempo real, RTK, para corregir la información sobre la posición y la ubicación de la unidad de grabación.

- 15 La precisión de la determinación de la posición se puede mejorar con el sistema cinemático en tiempo real. A modo de ejemplo, se puede lograr una mejora de la precisión de 2 cm en lo que respecta a la información sobre la altura y una mejora de la precisión de 1 cm a 2,5 cm en lo que respecta a las demás dimensiones. Esto también proporciona una forma barata de generar datos de posición y ubicación suficientemente precisos, por ejemplo, mediante los cuales se puede detectar el objeto, sin tener que integrar una tecnología complicada, cara y pesada para determinar con precisión la posición en la unidad de grabación. En el presente documento, el vuelo de calibración puede comprender volar a lo largo del objeto y detectar varias partes del objeto. Adicionalmente, se puede usar un sistema de
20 coordenadas autónomo local, como Preziwave, para no tener que usar un dispositivo GPS.

De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, la etapa de volar a lo largo del objeto comprende volar a lo largo del objeto de una manera automatizada y/o autónoma.

- 25 El vuelo automatizado puede proporcionar una detección rápida y sencilla del objeto. Por ejemplo, se puede prescindir de un piloto de dron entrenado para vuelos manuales. Con la eliminación de la intervención humana de control, también se puede reducir la probabilidad de colisiones o incidentes.

- 30 De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, la etapa de reconocimiento de los elementos en los conjuntos de imágenes es un reconocimiento automatizado de los elementos en los conjuntos de imágenes y/o la etapa de determinación de las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos es una determinación automatizada de las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos.

- 35 Los costes de inspección de un objeto se pueden reducir gracias a un alto grado de automatización del método, por ejemplo, por la rapidez del rendimiento o la reducción de los costes de personal. Además, se pueden evitar los errores humanos en la evaluación.

- 40 De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el objeto es un aerogenerador, por ejemplo, una central eólica, planta de energía eólica o rueda eólica, en donde el aerogenerador comprende una torre, una góndola, un buje, bridas de la pala de rotor y palas de rotor y un eje de rotación común de las palas de rotor. Por tanto, el método además comprende la determinación de uno o más parámetros del aerogenerador en función de las posiciones, como coordenadas y/o ubicaciones de los elementos.

- 45 Debido a las numerosas zonas de difícil acceso de un aerogenerador, un método de acuerdo con la divulgación, por ejemplo, para el uso posterior los datos recogidos o parámetros para un vuelo de inspección posterior, puede ofrecer grandes ventajas, en particular, en lo que respecta a la duración de tal recogida o medición de datos, por ejemplo. Además, el uso de un método automatizado de acuerdo con la divulgación puede ahorrar costes de formación de personal, tales como escaladores y, en particular, reducir significativamente la probabilidad de accidentes laborales, ya que ya no hay que usar escaladores para la inspección, por ejemplo.
50

De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el al menos un parámetro determinado comprende una deformación y/o flexión de las palas de rotor. Esto está determinado, por ejemplo, mediante una aproximación del recorrido de las palas de rotor por una función matemática, como lineal, exponencial o logarítmica.

- 55 Al determinar la deformación y/o la flexión de las placas de rotor, las desviaciones críticas de las geometrías estándar se pueden reconocer antes de que se produzca el fallo de la instalación. La aproximación mediante una función matemática, por ejemplo, basándose en determinadas posiciones y/o ubicaciones características de los elementos, como la posición de las puntas de la pala de rotor y la posición y/o la ubicación de las bridas de la pala de rotor, puede formar una forma rápida y, por ejemplo, poco intensiva desde el punto de vista computacional de generar un modelo suficientemente preciso del recorrido de las palas de rotor. La información sobre la deformación y/o la flexión de las
60 palas de rotor se puede usar adicionalmente para obtener un modelo para la generación de puntos de recorrido para un vuelo de inspección posterior, por ejemplo, de modo que un dron pueda volar muy cerca de un aerogenerador de manera automatizada gracias al modelo para tomar imágenes de alta resolución, sin riesgo de colisión.

De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el al menos un parámetro determinado comprende una posición, como la ubicación de la punta de una pala de rotor. La determinación de la posición de la punta de la pala de rotor comprende la determinación de una recta entre la posición de la punta de la pala de rotor identificada en una imagen y la posición respectiva de la unidad de grabación. Adicionalmente, para determinar la recta, aparte de la posición de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen y la posición identificada de la punta de la pala de rotor, también se tienen en cuenta la ubicación, como la orientación o alineación de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen, y las características de la unidad de grabación, como el ángulo de apertura y el número de píxeles de una cámara de la unidad de grabación. Adicionalmente, se determina una pluralidad de rectas y se evalúa por pares para un conjunto de imágenes de la punta de la pala de rotor. Se calcula un punto de intersección para cada par de rectas y se calcula la posición de la punta de la pala de rotor a partir de la cantidad de pares de rectas.

El cálculo de la punta de la pala de rotor puede comprender una evaluación estadística de los puntos de intersección calculados. La evaluación puede comprender también el cálculo de la calidad del resultado. Al usar la calidad, se puede indicar una medida de la precisión de un modelo establecido del aerogenerador, por ejemplo. Además, los pares de rectas desfavorables para el cálculo de la posición de la punta de la pala de rotor se pueden descartar antes de evaluar la cantidad de puntos de intersección para obtener un resultado más preciso. La detección de tales pares de rectas desfavorables se podría realizar de tal manera que un punto de intersección calculado de un par de rectas se encuentre fuera de una región de imagen determinada en la que se ha identificado la punta de la pala de rotor del elemento, por ejemplo.

Un resultado para la posición de la punta de una pala de rotor se puede calcular mediante este procedimiento de acuerdo con la divulgación usando métodos matemáticos sencillos, como con poca complejidad de cálculo. Esto permite una evaluación *in situ*, por ejemplo, con la potencia de cálculo de una unidad informática móvil.

De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el al menos un parámetro determinado comprende una posición, como el centro de la brida de la pala de rotor. La determinación de la posición de la brida de la pala de rotor comprende la determinación de una primera recta entre la posición de un primer punto de la brida de la pala de rotor identificado en una imagen y la posición de la unidad de grabación y una segunda recta entre la posición de un segundo punto de la brida de la pala de rotor, frente al primer punto, identificado en la misma imagen, y la posición, por ejemplo, las coordenadas, de la unidad de grabación.

Para determinar la primera y segunda rectas, además de la posición, como el emplazamiento de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen y las posiciones identificadas de los puntos de las bridas de la pala de rotor, también se tienen en cuenta la ubicación, como la orientación o alineación de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen, y las características de la unidad de grabación, como el ángulo de apertura y/o el número de píxeles de una cámara de la unidad de grabación. Es más, se determina otra recta, que discurre por el centro entre la primera y la segunda rectas. Adicionalmente, se determina una pluralidad de rectas adicionales para un conjunto de imágenes de la brida de la pala de rotor. La posición de la brida de la pala de rotor se determina a partir de la pluralidad de rectas adicionales.

La determinación de la posición de la brida de la pala de rotor puede incluir la evaluación estadística de la pluralidad de rectas adicionales. La calidad de los resultados se puede calcular a partir de la evaluación estadística.

En el método de acuerdo con la divulgación, la posición de la brida de la pala de rotor se puede determinar a partir de una evaluación. Una evaluación directa de la posición de la brida de la pala de rotor puede ser imprecisa o imposible debido a la pala de rotor montada. Este problema tiene solución, por ejemplo, mediante la evaluación rápida y poco compleja desde el punto de vista computacional de dos puntos, que son fáciles de identificar por una máquina, de la brida de la pala de rotor por imagen de acuerdo con el método descrito.

En ejemplos de acuerdo con la presente divulgación, el al menos un parámetro determinado comprende la ubicación de una brida de la pala de rotor. La determinación de la ubicación de la brida de la pala de rotor comprende la identificación de dos puntos opuestos de la brida de la pala de rotor en una imagen. Por tanto, se determina un vector de dirección de una recta de conexión entre las posiciones de los dos puntos opuestos de la brida de la pala de rotor. Adicionalmente, se determina una pluralidad de vectores de dirección de rectas de conexión para un conjunto de imágenes de la brida de la pala de rotor. Una cantidad de posibles vectores normales de la brida de la pala de rotor se calcula a partir de la pluralidad de vectores de dirección de las rectas de conexión formando el producto vectorial de los vectores de dirección de las rectas de conexión por pares. Adicionalmente, un vector normal de la brida de la pala de rotor se calcula a partir de la cantidad de vectores normales posibles.

El cálculo del vector normal de la brida de la pala de rotor puede comprender la evaluación estadística de la cantidad de vectores normales posibles y el cálculo de una calidad de resultado para el vector normal. Mediante la determinación de la ubicación de las bridas de la pala de rotor y, por tanto, una rotación del rotor, un método de acuerdo con la divulgación no depende de una colocación predefinida de las palas de rotor del aerogenerador. No es

necesario el atornillamiento, como en la posición de las 6 en punto de una de las palas de rotor, por ejemplo, para permitir los vuelos autónomos del dron. Esto ahorra tiempo y esfuerzo adicional para alinear el aerogenerador.

De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el al menos un parámetro determinado comprende el centro de la torre, como la posición de la torre. Determinar el centro de la torre comprende rodear la torre a lo largo de la pared exterior de la torre por la unidad de grabación, como a una distancia lo más equidistante posible de la pared de la torre, y grabar las posiciones de la unidad de grabación al rodear la torre. Adicionalmente, se forman los subconjuntos de posición a partir de tres puntos cada uno, en donde los tres puntos están a una distancia predeterminada entre sí.

Adicionalmente, se puede determinar una cantidad de centros de gravedad de triángulos a partir de una pluralidad de subconjuntos de posición, en donde cada triángulo está formado por los tres puntos de un subconjunto de posición. El centro de la torre se calcula a partir de la media de los centros de gravedad. El centro de la torre se calcula a partir de la media de los centros de gravedad. Como alternativa o adicionalmente, se puede determinar una cantidad de centros de círculo a partir de una pluralidad de subconjuntos de posición, en donde se determina cada centro de círculo a partir de los tres puntos de un subconjunto de posición, usando la ecuación general del círculo. Por tanto, el centro de la torre se calcula a partir de la cantidad de centros de círculo. Como alternativa o adicionalmente, se puede determinar un conjunto de centros de círculo circunscrito a partir de una pluralidad de los subconjuntos de posición, en donde cada centro de círculo circunscrito es el centro de un círculo circunscrito de un triángulo que se forma a partir de los tres puntos de un subconjunto de posición. Por tanto, el centro de la torre se calcula a partir de la cantidad de centros del círculo circunscrito. Los triángulos pueden ser, por ejemplo, triángulos equiláteros o isósceles.

El cálculo de los centros de las torres puede comprender una evaluación estadística y el cálculo de la calidad de los resultados. Esto proporciona una manera de determinar la posición, como en forma del centro de la planta, basándose en la información sobre la posición de la unidad de grabación, sin información geográfica *a priori*, en una etapa. Es decir, el método no depende de información precisa sobre la posición conocida. Al tener un centro de la torre conocido, un dron puede volar de forma autónoma hasta el aerogenerador para detectarlo. Cuando se conocen las posiciones de varios aerogeneradores de un parque eólico, un dron puede detectar de forma autónoma varias ruedas eólicas una tras otra.

De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el método además comprende la determinación de uno o más de los siguientes parámetros:

- la altura del buje, como la altura del eje de rotación,
- la inclinación del eje de rotación,
- el diámetro del buje,
- la orientación, como el rumbo, acimut o ángulo acimutal del aerogenerador,
- los centros de las bridas de la pala de rotor,
- el diámetro de las bridas de la pala de rotor,
- la longitud de las palas de rotor,
- la inclinación de las palas de rotor,
- la colocación, como la rotación de las palas de rotor, por ejemplo, con respecto a la rotación,
- el ángulo de inclinación (ángulo de cabeceo) de las palas de rotor,
- el grosor de la pala de rotor, y
- la anchura de la pala de rotor.

Por tanto, la determinación de uno o más de los parámetros puede comprender:

- calcular un primer vector normal de un primer plano abarcado por las posiciones de las bridas de la pala de rotor, como centros de la brida,
- calcular un segundo vector normal de un segundo plano abarcado por las posiciones de las puntas de la pala de rotor,
- determinar un primer centro de un círculo cuyo recorrido circular viene determinado por las posiciones de las bridas de la pala de rotor, como centros de la brida, y
- determinar un segundo centro de un círculo cuyo recorrido circular viene determinado por las posiciones de las puntas de la pala de rotor.

La orientación de la instalación y la inclinación del eje de rotación del aerogenerador se pueden determinar evaluando uno o ambos vectores normales.

La determinación de la altura del buje del aerogenerador se puede realizar evaluando uno o ambos centros y el punto de referencia.

La determinación de la colocación de las palas de rotor, por ejemplo, con respecto a un eje de rotación común, por ejemplo, que difiere de la posición de las 6 en punto, por ejemplo, se puede realizar comparando las posiciones de una o más puntas de la pala de rotor y/o una o más bridas de la pala de rotor con las posiciones del primer y/o segundo

centros calculados. Como alternativa o adicionalmente, la determinación de la colocación de las palas de rotor se puede realizar usando los vectores normales de las bridas de la pala de rotor.

5 El cálculo del diámetro del buje o la estimación del diámetro del buje del aerogenerador, por ejemplo, se puede realizar usando la distancia de las posiciones de las bridas de la pala de rotor.

Al determinar los parámetros, se puede formar un modelo del aerogenerador, que se puede usar para realizar vuelos de inspección totalmente automatizados o autónomos. Es más, las desviaciones de las geometrías nominales o estándar se pueden reconocer determinando los parámetros.

10 De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el método comprende adicionalmente la generación o modificación de un modelo o la parametrización de un modelo genérico, como un modelo CAD (diseño asistido por ordenador), del objeto usando la información sobre la posición y/o la ubicación de los elementos, por ejemplo, para determinar los puntos de recorrido del vuelo autónomo. Al configurar o ajustar un modelo del aerogenerador, se puede realizar un vuelo autónomo de inspección posterior, por ejemplo, basándose en el modelo. Adicionalmente, un modelo también proporciona una forma rápida y barata de incorporar un cambio conocido en la orientación del aerogenerador, por ejemplo, sin que tenga que volver a detectar el objeto.

20 Realizaciones de acuerdo con la presente divulgación proporcionan un método para inspeccionar un objeto, que comprende volar a lo largo del objeto siguiendo un recorrido y detectar una o más partes del objeto durante el vuelo. El recorrido se basa en una representación del objeto mediante los elementos o parámetros obtenidos por uno o más de los métodos descritos anteriormente.

25 Esto permite una inspección automatizada del objeto. Debido al recorrido predeterminado, el piloto del dron, por ejemplo, se puede centrar por completo en la monitorización del vuelo del dron y no tiene que tomar el control del dron.

30 De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el dispositivo de evaluación forma parte de la unidad de grabación. La unidad de grabación puede, por ejemplo, ser un dron que realiza una evaluación por sí mismo o en una unidad de evaluación que forma parte de él, como un módulo de cálculo. Esto significa que se puede omitir una transmisión adicional de datos para la evaluación, o un dispositivo de evaluación externo, lo que simplifica el sistema.

35 De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, el dispositivo de evaluación está configurado para reconocer automáticamente los elementos en los conjuntos de imágenes y/o determinar automáticamente las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos. Gracias a un alto grado de automatización, se puede realizar un método de acuerdo con la divulgación de forma rápida y económica. Esto también puede reducir el número de errores humanos.

40 De acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación, el dispositivo de medición está configurado para detectar ópticamente varias partes del objeto desde diferentes posiciones. La detección óptica se puede implementar de manera rentable mediante una cámara y permite usar una pluralidad de métodos de optimización bien conocidos para mejorar la calidad de la grabación, con respecto al contraluz, por ejemplo.

Breve descripción de las figuras

45 Los ejemplos de acuerdo con la presente divulgación se considerarán con más detalle a continuación haciendo referencia a los dibujos adjuntos. Con respecto a las figuras esquemáticas ilustradas, se señala que los bloques funcionales ilustrados se deben interpretar como componentes o elementos de un dispositivo de acuerdo con la divulgación o el sistema de acuerdo con la divulgación y las etapas correspondientes del método del método de acuerdo con la divulgación y las etapas correspondientes del método del método de acuerdo con la divulgación se pueden derivar de los mismos.

La figura 1 es un diagrama de flujo de la detección de un objeto de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

55 la figura 2 es un diagrama de flujo de la detección de un objeto con etapas opcionales adicionales de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

la figura 3 es un diagrama de flujo de la detección de un aerogenerador de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

60 la figura 4 es una vista lateral esquemática de un aerogenerador con una vista superior esquemática de una sección del aerogenerador y una trayectoria de movimiento de la unidad de grabación de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

- la figura 5 es una vista lateral esquemática de un aerogenerador con una vista superior esquemática de una sección del aerogenerador de acuerdo con una realización de la presente divulgación;
- 5 la figura 6 es una vista superior esquemática de un aerogenerador de acuerdo con una realización de la presente divulgación;
- la figura 7 es una ilustración esquemática de un flujo ilustrativo de información entre el sistema cinemático en tiempo real, la unidad de grabación, el dispositivo de evaluación y la unidad de comunicación de acuerdo con una realización de la presente divulgación;
- 10 la figura 8 es una vista lateral esquemática de un aerogenerador con un orden de detección ilustrativo de la unidad de grabación de acuerdo con una realización de la presente divulgación;
- 15 la figura 9 es una vista lateral esquemática de un aerogenerador con elementos ilustrativos de acuerdo con una realización de la presente divulgación; y
- la figura 10 es una vista lateral esquemática de una grúa con elementos ilustrativos de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

20 Descripción detallada de ejemplos de acuerdo con las figuras

Antes de tratar a continuación con más detalle ejemplos de la presente invención que hacen referencia a los dibujos, se señala que componentes, objetos y/o estructuras idénticos o aquellos con una función igual o un efecto igual se proporcionan con números de referencia iguales o similares en las diferentes figuras, de modo que la descripción de estos elementos ilustrados en diferentes ejemplos sea mutuamente intercambiable o mutuamente aplicable.

La figura 1 muestra un diagrama de flujo de la detección de un objeto de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La figura 1 muestra la etapa 110, que comprende volar a lo largo del objeto y detectar varias partes del objeto usando al menos una unidad de grabación, en donde cada una de las partes se detecta varias veces desde distintas posiciones de la unidad de grabación con el fin de generar un conjunto de imágenes, en donde la información sobre la posición y la ubicación de la unidad de grabación se asocia a cada imagen. Posteriormente, en la etapa 120, tiene lugar el reconocimiento de elementos en los conjuntos de imágenes y, en la etapa 130, la determinación de las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos usando la información sobre la posición y la ubicación de las imágenes que contienen los elementos.

Por tanto, el vuelo a lo largo del objeto se puede realizar manualmente, por ejemplo, por un piloto de dron, o de manera automatizada, como de forma autónoma. Las partes del objeto pueden ser piezas del objeto, que comprenden elementos característicos. La información sobre la posición y la ubicación puede comprender información sobre las coordenadas y/o el emplazamiento o información sobre la alineación y/o la orientación. También se puede asociar información adicional a la imagen, como el ángulo de apertura de la unidad de grabación o el número de píxeles, por ejemplo. El reconocimiento de elementos se puede hacer de manera automatizada o manual. Se puede usar la inteligencia artificial (IA), por ejemplo, u otro enfoque del campo del aprendizaje automático. El reconocimiento de los elementos se puede realizar mediante un dispositivo de evaluación. Se puede tratar de una calculadora adicional o de una estructura de cálculo basada en la nube. La evaluación se puede realizar directamente después o durante el vuelo, o también desplazarse en tiempo y posición.

Al determinar las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos a partir de la información sobre la posición y la ubicación de las imágenes que contienen los elementos, se puede detectar un objeto de difícil acceso a detectar con poco esfuerzo de tiempo y con, por ejemplo, un riesgo mínimo para los seres humanos. En lugar de escaladores, un dron puede tomar las imágenes con las que se puede conformar un modelo del objeto. Basado en el modelo, posteriormente se pueden realizar vuelos de inspección totalmente automatizados o autónomos. Al grabar un conjunto de imágenes, se pueden aplicar métodos de evaluación de imágenes, por ejemplo, para generar información sobre la profundidad. Adicionalmente, una evaluación estadística de los resultados resultantes de la evaluación de imágenes individuales permite indicar las calidades de los resultados, con lo que se puede proporcionar una medida de la precisión del modelo, por ejemplo. Esto permite decidir a qué distancia tiene que volar un dron hasta el objeto con el fin de evitar la colisión con la mayor seguridad posible. Cuanto mejor sea la calidad del modelo, más se podría acercar automáticamente un dron con el fin de tomar imágenes del objeto con una resolución particularmente alta, con lo que se puede llevar a cabo una evaluación exhaustiva, por ejemplo, en lo que respecta a las microfisuras.

La figura 2 muestra un diagrama de flujo de la detección de un objeto con etapas opcionales adicionales de acuerdo con una realización de la presente divulgación. Las etapas necesarias en la figura 2 corresponden, por tanto, a las etapas de la figura 1.

La figura 2 muestra adicionalmente la etapa 210, que comprende el empleo de un sistema cinemático en tiempo real

(RTK) para corregir la información sobre la posición y la ubicación de la unidad de grabación. El sistema RTK permite mejorar la precisión de la determinación de la posición, sin integrar en la unidad de grabación una tecnología complicada para determinar la posición.

5 La etapa 220 comprende la determinación de una posición de referencia del objeto. La posición de referencia se determina evaluando una cantidad de información sobre la posición de la unidad de grabación, derivándose la cantidad de información sobre la posición de una trayectoria de movimiento de la unidad de grabación. La posición de referencia puede, por ejemplo, ser el centro del objeto. Esto permite que la unidad de grabación vuele hasta la posición del objeto de manera automatizada, por ejemplo, para detectarlo ópticamente.

10 La etapa 230 comprende la determinación de la orientación del objeto. La orientación se determina mediante una evaluación de la posición de referencia, por ejemplo, determinada previamente, del objeto y la información sobre la posición de la unidad de grabación, estando la unidad de grabación colocada en correspondencia con la orientación del objeto en el momento de registrar la información sobre la posición. La unidad de grabación se puede colocar en una línea de conexión entre la unidad de grabación y la posición de referencia, por ejemplo, el centro del objeto, que está en ángulo recto con el lado frontal del objeto, y la orientación, como la ubicación o la alineación del objeto, se pueden calcular a partir de la posición de referencia y de la posición de la unidad de grabación. Determinar la orientación puede ser importante en el caso de objetos móviles, como un aerogenerador o una grúa, ya que puede haber cambiado entre dos inspecciones. Una ventaja de determinar la orientación de acuerdo con la divulgación es que no se realiza ningún esfuerzo adicional para adaptar la orientación del objeto. No es necesario poner la góndola de un aerogenerador, por ejemplo, en una determinada orientación primero por un método, por ejemplo. Una grúa en una zona residencial entre edificios altos, por ejemplo, no se puede desplazar estrictamente hacia el norte, porque ya hay un edificio u otra grúa, por ejemplo. Por tanto, el método de acuerdo con la divulgación puede ahorrar tiempo y recursos y, al mismo tiempo, ser adecuado para una amplia gama de aplicaciones.

25 Además, la etapa 240 comprende la determinación de un punto de referencia del objeto. Se realiza colocando la unidad de grabación en el punto de referencia y evaluando posteriormente la información sobre la posición de la unidad de grabación. El punto de referencia puede ser un punto del espacio bidimensional o tridimensional, y también una cantidad escalar, por ejemplo, una altura sobre el nivel del mar. Esto se puede usar para determinar una altura de referencia para volar posteriormente a lo largo del objeto con la unidad de grabación. La unidad de grabación puede, por ejemplo, colocarse en el punto más bajo del objeto para que vuele automáticamente a lo largo del objeto en toda su altura, cuando, por ejemplo, se conoce la altura del objeto.

35 Además, la etapa 250 comprende la determinación de al menos una dimensión del objeto. La dimensión se determina evaluando un punto de referencia del objeto y la posición de uno o más elementos. La altura del objeto se puede determinar evaluando la posición del punto más alto del objeto, usando el punto de referencia determinado anteriormente, en forma de altura de referencia, por ejemplo. Son concebibles aplicaciones adicionales de acuerdo con la divulgación. Por tanto, una dimensión lateral de un buque portacontenedores, por ejemplo, que se va a aprovechar, se puede determinar usando un dron y un punto de referencia, por ejemplo, en forma del punto más exterior de la proa y una determinación de la posición del punto más exterior de la popa del buque. Esto permite medir rápidamente un buque que tiene una eslora de varios cientos de metros, por ejemplo, para determinar los planos de corte ideales para el desmontaje.

45 Además, las etapas 110, que comprende volar a lo largo del objeto y detectar varias partes del objeto usando al menos una unidad de grabación, 120, que comprende el reconocimiento de elementos en los conjuntos de imágenes, y 130, que comprende la determinación de las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos, corresponden a las etapas de la figura 1. Para una descripción más detallada, se hace referencia por tanto en el presente documento a la descripción de la figura 1.

50 En realizaciones, la etapa 250 puede contener también las etapas 110, 120 y 130. Sin embargo, la etapa 250 también se puede realizar antes de realizar, o volver a realizar, las etapas 110, 120 y 130, con o sin estas etapas. La realización de las etapas 110, 120 y 130 puede, por ejemplo, ser una forma de determinar la posición de uno o más de los elementos de la etapa 250. Cuando se conoce la posición, también se puede omitir la realización de las etapas 110, 120 y 130 para determinar al menos una dimensión del objeto. Omitir las etapas 110, 120 y 130 para determinar la dimensión, sin embargo, no excluye la realización de las etapas para determinar las posiciones y/o las ubicaciones de otros elementos, por ejemplo.

60 Además, la etapa 260 comprende la generación o modificación de un modelo o la parametrización de un modelo genérico, como un modelo CAD del objeto, por ejemplo, para determinar los puntos de recorrido de un vuelo autónomo. El modelo se puede conformar usando la información sobre la posición y/o la ubicación de los elementos. Debido al modelo del objeto, posteriormente los vuelos de drones se pueden, por ejemplo, realizar de manera automatizada o autónoma. Por tanto, se puede ahorrar una cantidad considerable de tiempo al inspeccionar el objeto.

Las etapas mostradas, 210 a 250 y 260, se deben entender como opcionales. A modo de ejemplo, cuando se conoce

la posición de referencia, se puede omitir la etapa 220, pero la etapa 230, que es la determinación de una orientación del objeto, puede, no obstante, tener lugar usando la posición de referencia conocida. Al contrario, se puede omitir la determinación de la orientación mediante la etapa 230, pero se puede determinar la posición de referencia con la etapa 220.

5

La figura 3 muestra un diagrama de flujo de la detección de un aerogenerador de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La figura 3 muestra a modo de ejemplo un flujo de generación de un conjunto de datos de calibración de un aerogenerador para el vuelo autónomo de un dron a lo largo de un aerogenerador.

- 10 La etapa 310 comprende la determinación del centro de la torre del aerogenerador. Determinar el centro de la torre comprende rodear al menos parcialmente la torre a lo largo de la pared exterior de la torre usando la unidad de grabación y registrando las posiciones de la unidad de grabación al rodear la torre. Es más, se forman los subconjuntos de posición a partir de tres puntos cada uno, en donde los tres puntos comprenden una distancia predeterminada, por ejemplo, lo más igual posible, entre sí. Adicionalmente, se puede determinar un conjunto de centros de gravedad de triángulos a partir de una pluralidad de los subconjuntos de posición, en donde cada triángulo está formado a partir de los tres puntos de un subconjunto de posición. Por tanto, el centro de la torre se calcula a partir de la media de los centros de gravedad. Como alternativa o adicionalmente, se puede determinar una cantidad de centros de círculo a partir de una pluralidad de los subconjuntos de posición, en donde se determina cada centro de círculo a partir de los tres puntos de un subconjunto de posición, usando la ecuación general del círculo. Por tanto, el centro de la torre se calcula a partir de la cantidad de centros de círculo. Como alternativa o adicionalmente, se puede determinar un conjunto de centros de círculo circunscrito a partir de una pluralidad de subconjuntos de posición, en donde cada centro de círculo circunscrito es el centro de un círculo circunscrito de un triángulo que se forma a partir de los tres puntos de un subconjunto de posición. En este caso, el centro de la torre se calcula a partir de la cantidad de centros del círculo circunscrito.

25

En otras palabras, se puede determinar el centro de la torre por la unidad de grabación, como un dron, por ejemplo. Debido a que las coordenadas geográficas del aerogenerador se desconocen o solo se conocen de forma imprecisa, puede ser necesario determinar el centro de la torre del aerogenerador para calibrar un recorrido de vuelo del dron a lo largo del aerogenerador, por ejemplo, para un vuelo autónomo. El método de acuerdo con la divulgación se puede usar para determinar el centro de la torre con una precisión centimétrica, por ejemplo. Una sola órbita o vuelta alrededor de la torre por la unidad de grabación, por ejemplo, puede registrar la trayectoria de movimiento de la unidad de grabación. Por tanto, se puede seleccionar la distancia a la torre y la velocidad de giro, por ejemplo, para que sea lenta, de modo que haya una intensidad de señal suficiente, por ejemplo, entre el dron y un sistema cinemático en tiempo real para mejorar la precisión de la posición, o entre el dron y una unidad de comunicación, por ejemplo, una consola remota. En aerogeneradores, se puede dar vueltas sobre la base de cimentación, en donde, para el caso de aerogeneradores costa afuera, también se pueden dar vueltas sobre la pasarela del aerogenerador. Por tanto, a la hora de la evaluación, la diferencia de altura de la pasarela, por ejemplo, entre la pasarela y el borde superior de la cimentación o el nivel del agua, también se puede tener en cuenta. El centro de la torre se calcula a partir de una serie de informaciones sobre posición registradas, por ejemplo, posiciones, como puntos de apoyo GPS, por ejemplo. Se pueden seleccionar tres puntos a partir de la información sobre la posición de la trayectoria de movimiento, que comprenden una distancia predeterminada, como similar, o lo más próxima posible entre sí, de modo que los tres puntos formen un triángulo equilátero, por ejemplo. Entonces, el centro o centro de gravedad del triángulo se puede calcular a partir de estos tres puntos. El cálculo de los centros a partir de tres puntos con una distancia similar entre sí se puede realizar para varias, o todas, las informaciones sobre posición registradas, por ejemplo. La media se puede calcular a partir de los centros o centros de gravedad detectados con el fin de calcular el centro de la torre o centro. Como alternativa o adicionalmente a la determinación del centro de la torre usando los centros de gravedad de los triángulos, por ejemplo, se pueden determinar los centros de círculo a partir de los tres puntos respectivos para varias o todas las informaciones sobre posición registradas, a partir de la ecuación general del círculo basada en los tres puntos respectivos, o centros de círculo circunscrito a partir de las circunferencias de triángulos que se forman a partir de los tres puntos respectivos.

50

La etapa 320 comprende la determinación de la altura de referencia o de la base (cimentación) del aerogenerador. La determinación se realiza colocando la unidad de grabación a la altura de referencia, por ejemplo, cualquier punto de la base o el punto de referencia, por ejemplo, y evaluando posteriormente la información sobre la posición de la unidad de grabación.

55

La determinación de la altura de referencia puede representar la segunda medida en el aerogenerador o rueda eólica. La altura de referencia puede ser un ejemplo de punto de referencia unidimensional. Por ejemplo, el punto de referencia es una altura sobre el nivel del mar, que forma una referencia de altura o altura de referencia para el aerogenerador. La determinación de la altura de referencia, por ejemplo, determinando la altura como nivel cero, se puede usar para determinar posteriormente la altura de la torre de la brida inferior o del borde de hormigón de la torre. La colocación de la unidad de grabación a la altura de referencia puede comprender la colocación de la unidad de grabación, por ejemplo, un dron, en el borde superior de la cimentación del aerogenerador. La colocación de la unidad de grabación puede tener lugar después una única vuelta, por ejemplo, anterior al borde superior de la cimentación.

60

La unidad de grabación puede comprender un GPS o un sistema de colocación, como Preciwave. En aerogeneradores costa afuera, la altura de referencia puede ser también la altura de la pasarela para formar la región entre la cimentación y la brida inferior de la torre. En otras palabras, en lugar del borde superior de la cimentación, la pasarela se puede usar para determinar la altura de referencia. En este caso, la diferencia de altura, por ejemplo, entre la pasarela y la cimentación, o entre la pasarela y la superficie del agua, se puede tener en cuenta para la altura de referencia o etapas posteriores que se basan en la altura de referencia.

Además, la etapa 330 comprende la determinación de la orientación del aerogenerador. La determinación de la orientación se realiza evaluando una posición de referencia, por ejemplo, el centro de la torre del aerogenerador, e información sobre la posición de la unidad de grabación, por ejemplo, un dron, en donde la unidad de grabación, en el momento de grabar la información sobre la posición, se coloca en correspondencia con la orientación del aerogenerador.

La determinación de la orientación del aerogenerador puede formar la tercera medición en el aerogenerador. La orientación del aerogenerador puede ser la orientación de la góndola del aerogenerador. La unidad de grabación se puede colocar delante del aerogenerador en correspondencia con la orientación de la góndola, es decir, por ejemplo, de modo que la línea de conexión entre el dron y la góndola esté dispuesta en ángulo recto con respecto a las palas de rotor. La orientación de la góndola se puede determinar a partir de una posición de referencia conocida del aerogenerador, como el centro de la torre, y la posición de la unidad de grabación, por ejemplo. La orientación puede ser el acimut o el rumbo de la góndola o aerogenerador, que se determina, por ejemplo, en relación con la dirección norte u otro punto de referencia. Si la orientación solo se tiene que determinar de forma aproximada, la determinación de la posición de la unidad de grabación se puede, por ejemplo, llevar a cabo a pie, en donde la unidad de grabación se puede estacionar brevemente delante del aerogenerador, en correspondencia con la orientación de la góndola, para determinar, por ejemplo, la posición GPS de la unidad de grabación. Después de determinar la orientación, puede seguir un vuelo de calibración.

Además, la etapa 340 comprende la determinación de la altura del buje del aerogenerador. La determinación de la altura del buje se realiza evaluando el punto de referencia, por ejemplo, la altura como punto cero, y la posición de uno o varios elementos.

En otras palabras, después de determinar el centro de la torre, la altura de referencia y la orientación del aerogenerador, por ejemplo, se puede determinar la altura del buje. Cuando se dispone de información *a priori* sobre la altura del buje, esta se puede verificar. La unidad de grabación, por ejemplo, dron, puede volar hasta el buje del aerogenerador y tomar fotografías de la punta del buje. La distancia entre la unidad de grabación y el aerogenerador puede ser inferior a un valor umbral fijo, por ejemplo, menos de 20 m. El vuelo de la unidad de grabación se puede realizar automáticamente, por ejemplo, determinando puntos de recorrido, cuando se conoce la altura aproximada del buje antes del vuelo. El vuelo de la unidad de grabación se puede realizar adicionalmente de forma manual, por ejemplo, a mano, de modo que la unidad de grabación vuele a la altura de la punta del buje mediante un o el control remoto de la unidad de grabación. La evaluación de las imágenes, o el reconocimiento de la altura del buje del elemento a partir de las imágenes, se puede realizar manualmente, por ejemplo, a mano, o de manera automatizada, por ejemplo, usando la inteligencia artificial (IA).

Además, la etapa 350 comprende la determinación de la posición de las bridas de la pala de rotor. La determinación de la posición de las bridas de la pala de rotor comprende la determinación de una primera recta entre la posición de un primer punto de la brida de la pala de rotor identificado en una imagen, en síntesis, punto de la brida, y la posición de la unidad de grabación y una segunda recta entre la posición de un segundo punto de la brida de la pala de rotor, frente al primer punto, identificado en la misma imagen, y la posición de la unidad de grabación. Por tanto, para determinar la primera y segunda rectas, aparte de la posición de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen y las posiciones identificadas de los puntos de las bridas de la pala de rotor, también se pueden tener en cuenta la ubicación de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen y las características de la unidad de grabación. Además, se determina una recta adicional, que está en el centro entre la primera y la segunda rectas. Se determina una pluralidad de rectas adicionales para un conjunto de imágenes de la brida de la pala de rotor y la posición, como el centro de la brida de la pala de rotor o, en síntesis, centro de la brida, se determina a partir de la pluralidad de rectas adicionales.

La etapa puede también comprender determinar la ubicación de las bridas de la pala de rotor. La determinación de la ubicación de las bridas de la pala de rotor comprende la identificación de dos puntos opuestos de la brida de la pala de rotor en una imagen, en donde se determina un vector de dirección de una recta de conexión entre las posiciones de los dos puntos opuestos de la brida de la pala de rotor. Por tanto, se determina una pluralidad de vectores de dirección de las rectas de conexión para un conjunto de imágenes de la brida de la pala de rotor y una cantidad de posibles vectores normales de la brida de la pala de rotor se calcula a partir de la pluralidad de vectores de dirección de las rectas de conexión formando el producto vectorial de los vectores de dirección de las rectas de conexión por pares. Un vector normal de la brida de la pala de rotor se calcula a partir de la cantidad de vectores normales posibles.

En otras palabras, para determinar la posición y la ubicación de las bridas de la pala de rotor, una brida de la pala de rotor o, en síntesis, brida, se puede considerar o parecer que es una estructura circular, como un círculo, que comprende una posición en el espacio, como un centro, y una ubicación en el espacio, como una orientación. El círculo se denominará posteriormente círculo de la brida. Para determinar la posición de la brida de la pala de rotor se puede
5 usar un método similar como para determinar la posición de las puntas de la pala de rotor. Dos rayos en el espacio, como líneas rectas matemáticas, se pueden calcular para cada imagen y brida. Estos tocan el círculo de la brida en dos puntos opuestos y se intersecan, por ejemplo, exactamente, en la posición de la unidad de grabación, como la cámara de la unidad de grabación. Se puede calcular un rayo, que pasa justamente por el centro de los dos rayos calculados anteriormente. Puede pasar por el centro del círculo de la brida. La posición del centro de la brida se puede
10 determinar a partir de estos rayos de centro por imagen y brida, de forma similar a la determinación de la posición de las puntas de la pala de rotor, o similares a las puntas de la pala, por ejemplo.

La determinación de la ubicación de las bridas en el espacio de acuerdo con la divulgación en realizaciones se basa en la idea de que la ubicación de un círculo en el espacio está determinada o se puede indicar por el vector normal
15 del plano circular. En el caso de las bridas, este vector normal puede ser también el vector de dirección en el que la pala de rotor, como un ala, sale del buje. Otra idea del método es el hecho de que se puede suponer que los dos puntos de la imagen, determinados por un usuario o una evaluación automatizada, por brida e imagen están en un plano paralelo al plano de la imagen. Al asumir cualquier plano de este tipo, por ejemplo, se puede calcular el vector de dirección de las rectas de conexión a través de los dos puntos. De tal manera que, como todos, los vectores de
20 dirección también están en el plano circular de la brida, a partir de esto se puede calcular el vector normal del plano circular. Los productos vectoriales por pares se pueden aplicar a los vectores de dirección y los resultados se pueden reducir a un único vector normal y a una calidad de resultado mediante métodos estadísticos.

Adicionalmente, en la etapa 350 se puede determinar el diámetro de la brida. Se puede determinar a partir del centro
25 de la brida, determinado anteriormente, por ejemplo, en qué plano paralelo al plano de la imagen se sitúan los dos puntos de la brida identificados. A partir de esto se puede calcular la distancia entre los dos puntos. La media del diámetro de la brida se puede calcular a partir de la distancia entre los dos puntos, el promediado se puede realizar, por ejemplo, usando una pluralidad de distancias de dos puntos respectivos de brida de la brida de la pala de rotor a partir de un conjunto de imágenes que comprenden la brida de la pala de rotor y en las que se han identificado dos puntos
30 respectivos de la brida de la pala de rotor.

En otras palabras, en resumen, determinar la posición de las bridas de la pala de rotor, como la raíz del ala del aerogenerador, puede comprender fotografiar las bridas. Además, aparte de la posición de las bridas de la pala de rotor, se puede determinar el tamaño y la anchura de la brida de la pala de rotor, como por el diámetro de la brida, y
35 la inclinación de la pala de rotor con respecto a la torre, como por los vectores normales de la brida de la pala de rotor.

La etapa 360 comprende la determinación de la posición de la punta de la pala de rotor o punta de la pala de rotor. La determinación de la posición de la punta de la pala de rotor comprende la determinación de una recta entre la posición de la punta de la pala de rotor, identificada en una imagen, y la posición respectiva de la unidad de grabación. Por
40 tanto, también se pueden tener en cuenta la ubicación de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen y las características de la unidad de grabación al determinar la recta, aparte de la posición de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen y la posición identificada de la punta de la pala de rotor. Además, se determina una pluralidad de rectas para un conjunto de imágenes de la punta de la pala de rotor y la pluralidad de rectas se evalúa por pares. Se calcula un punto de intersección para cada par de rectas y se calcula la posición de la punta de
45 la pala de rotor a partir de una cantidad de puntos de intersección de los pares de rectas.

En otras palabras, en esta etapa, la posición de la punta de la pala de rotor, como las puntas de la pala, o las puntas del ala se puede determinar o verificar en caso de que exista información sobre las posiciones de las puntas de la pala de rotor. La unidad de grabación, como el dron, puede volar hasta las puntas de la pala de rotor y tomar fotografías.
50 La distancia entre la unidad de grabación y el aerogenerador puede ser inferior a un valor umbral, como por debajo de 20 m. El vuelo hasta la unidad de grabación se puede realizar de manera automatizada o autónoma, por ejemplo, al conocer la altura del buje y la longitud de la pala de rotor, determinando la posición de la punta de la pala de rotor a la que se debe volar mediante un método de puntos de recorrido. El vuelo de la unidad de grabación también se puede realizar manualmente, como a mano, por ejemplo, en correspondencia con la etapa 340.

La determinación de las posiciones de las puntas de la pala de rotor, o de las puntas del ala, puede comprender el cálculo de un rayo, como de una recta matemática en el espacio para cada imagen. El cálculo del rayo se puede realizar usando la posición y orientación de la unidad de grabación, como de la cámara de la unidad de grabación, las características de la unidad de grabación, como el ángulo de apertura y el número de píxeles de una cámara de la
60 unidad de grabación y la posición identificada de la punta de la pala de rotor. Todos los rayos de la punta de una pala de rotor calculados a partir de estos datos se podrían encontrar en la misma posición, por ejemplo, en la misma ubicación, de la posición de la punta de la pala de rotor, en el caso de condiciones ideales, por ejemplo, en el caso de parámetros ópticos exactamente conocidos y posiciones identificadas sin errores de las puntas de la pala de rotor. Con el fin de permitir un buen cálculo de la posición de las puntas de la pala de rotor en el caso de condiciones no

ideales, de acuerdo con la presente divulgación, todos los rayos, por ejemplo, de la punta de una pala de rotor, se pueden comparar por pares. Un punto de intersección aproximado, como el centro de la línea de conexión más corta, por ejemplo, se puede calcular aquí. Los pares deficientes de rayos, como pares de rayos que no produzcan un resultado razonable para la posición de la punta de la pala de rotor, se pueden descartar, es decir, no se tienen en cuenta, por ejemplo. Una forma de reconocer pares deficientes de rayos puede ser comparar el punto de intersección con una imagen tomada. Si un par de rayos se interseca fuera de la región de la imagen, este punto de intersección se puede descartar, por ejemplo, cuando la punta de la pala de rotor se identificó correctamente dentro de la región de la imagen. Una nube de puntos, como una cantidad o pluralidad de puntos de intersección, se puede formar a partir de los puntos de intersección, a partir de los cuales se puede calcular un centro y una calidad de resultado mediante métodos estadísticos. El centro calculado puede describir la posición de la punta de la pala de rotor.

Como alternativa o adicionalmente, las posiciones de las puntas de la pala de rotor se pueden determinar del siguiente modo.

El punto de partida puede ser la cantidad de rectas, determinadas como se ha descrito anteriormente, entre la posición de la punta de la pala de rotor identificada en una imagen y la posición respectiva de la unidad de grabación en el espacio tridimensional, cuyo punto de intersección, por ejemplo, determina la posición de la punta de la pala de rotor. En palabras simples, da como resultado un número de rayos tridimensionales, cuyo "punto de intersección" se busca.

En una evaluación práctica, alguna o más de estas rectas o rayos pueden estar sesgados y, por tanto, no tener un punto de intersección común. Expresado de otra manera, los rayos pueden estar sesgados en realidad y no intersectarse en ningún punto. En su lugar, se puede buscar un punto P, que está más cerca de un "punto de intersección".

Aquí se pueden usar dos definiciones y llevar a cabo las etapas de procesamiento correspondientes, por ejemplo:

"Distancia mínima": la distancia mínima de un punto tridimensional a un rayo o recta, por ejemplo, es la longitud de la línea perpendicular entre el punto y el rayo o, por ejemplo, el punto y la línea recta.

"Suma de los cuadrados de las distancias mínimas": se calculan las distancias mínimas a un punto y se elevan al cuadrado para los rayos dados. La suma se forma a continuación sobre estas distancias elevadas al cuadrado.

El punto buscado es exactamente aquel punto que minimiza la suma de los cuadrados de las distancias mínimas.

Mediante el uso de un algoritmo de optimización, tal como el algoritmo "Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno con memoria limitada" (L-BFGS), se puede determinar el punto P, por ejemplo.

A su vez, el punto P se puede usar como resultado para la posición de la punta de la pala de rotor, por ejemplo.

Además, la etapa 370 comprende la determinación de la deformación y/o la flexión de las palas de rotor. La determinación de la deformación y/o la flexión de las palas de rotor se realiza mediante una aproximación del recorrido de las palas de rotor usando una función matemática, como lineal, exponencial o logarítmica.

En otras palabras, la determinación de la deformación y/o la flexión de las palas de rotor se puede realizar mediante un método matemático genérico. La deformación puede comprender una deformación a partir de la segunda mitad de la pala de rotor. Al determinar la posición de la brida de la pala de rotor, por ejemplo, de acuerdo con la etapa 350, y determinar la posición de la punta de la pala de rotor, por ejemplo, de acuerdo con 360, se puede aproximar el recorrido real de la pala de rotor o el ala.

Además, la etapa 380 comprende la determinación de las medidas o parámetros de la pala de rotor. La etapa puede comprender la determinación del mayor grosor de la pala de rotor y/o la determinación de la mayor anchura de la pala de rotor. El grosor de la pala de rotor y/o la anchura de la pala de rotor se pueden determinar mientras se determina simultáneamente la distancia desde la brida de la pala de rotor. Determinar las medidas de la pala de rotor puede, tras determinar la posición de las puntas de la pala de rotor y la posición de la brida de la pala de rotor y su diámetro, comprender además la determinación de cualesquiera posiciones, por ejemplo, de acuerdo con la etapa 360. Se pueden seleccionar dos puntos opuestos en los bordes de la pala de rotor, como bordes de la pala, de modo que la determinación de la distancia resultante dé como resultado la anchura de la pala. La posición y ubicación respectivas, por ejemplo, se pueden determinar a partir de esto.

Las etapas 310 a 380 pueden comprender adicionalmente el cálculo de los siguientes parámetros o elementos:
centro de la torre, como la posición exacta de la torre;
altura del buje, como la altura del eje de rotación;
inclinación de las palas de rotor;
orientación de las bridas de la pala de rotor sus centros;

- longitud de las palas de rotor;
- deformación y/o flexión de las palas de rotor;
- colocación, como rotación de las palas de rotor;
- ángulo de inclinación (ángulo de cabeceo) de las palas de rotor;
- 5 orientación del aerogenerador o del buje.

Estos parámetros pueden servir para corregir el cálculo de un punto de recorrido, por ejemplo, el cálculo de un punto de recorrido para un vuelo de inspección de un dron.

- 10 Además, la etapa 390 comprende la generación o modificación de un modelo o la parametrización de un modelo generado, como un modelo CAD del aerogenerador. El modelo se genera, modifica o parametriza usando la información sobre la posición y/o la ubicación de los elementos. El modelo se puede generar, modificar o parametrizar a partir de los datos de calibración, como los datos de las etapas 310 a 380. Además, a partir del mismo método se pueden establecer parámetros adicionales. Parámetros adicionales pueden comprender parámetros de las palas de rotor, como el grosor de la pala de rotor y la anchura de la pala de rotor, por ejemplo. Generar un modelo, por ejemplo, solo es necesario si no se dispone de un modelo del aerogenerador completo o de las palas de rotor, por ejemplo. Al usar los parámetros establecidos, se puede generar y/o modificar un modelo, como un modelo tridimensional del aerogenerador, que consiste en una torre y las palas de rotor, por ejemplo, para que se ajuste lo más justamente posible a la realidad, por ejemplo. Además, se puede parametrizar un modelo tridimensional genérico del aerogenerador, por ejemplo, mediante un método genérico. A continuación, se pueden calcular los puntos de recorrido para un vuelo autónomo a partir del modelo genérico, por ejemplo.

De acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación, se pueden conocer o derivar las siguientes cantidades de las etapas 310 a 380:

- 25 posición de las puntas de la pala de rotor,
- posición de los centros de la brida,
- ubicación, como orientación de los círculos de la brida en el espacio, como normales de los círculos de la brida,
- diámetro de la brida, y
- anchura de la pala de rotor y posición de la pala de rotor.

- 30 De estas cantidades se pueden derivar cantidades adicionales. Tanto las puntas de la pala de rotor como los centros de la brida pueden definir cada uno un plano al que se puede asociar un vector normal y calcular un centro respectivo, por ejemplo, como el centro de círculo. El vector normal en ambos casos corresponde a la orientación del buje, como del aerogenerador, o la dirección del eje de rotación, como del eje de rotación común de las palas giratorias, por ejemplo. La orientación, como el rumbo, y la inclinación hacia arriba del eje de rotación se pueden calcular a partir de esto. El centro calculado se sitúa en el eje de rotación y, usando el mismo, se puede determinar su altura, como la altura del buje. La rotación del aerogenerador, como la colocación de las palas de rotor (como la desviación de la colocación de las 6 en punto), se puede calcular a partir de la comparación de las puntas de la pala de rotor o de los centros de la brida de la pala de rotor, incluyendo su centro. Como alternativa o adicionalmente, la rotación también se puede calcular a partir de los vectores normales de los círculos de la brida. El diámetro del buje se puede calcular o estimar mediante la distancia de los centros de la brida de la pala de rotor. La desviación de la posición establecida de las puntas de la pala de rotor desde la posición esperada se puede usar para determinar la flexión de la pala de rotor. Un modelo CAD genérico, por ejemplo, se puede parametrizar mediante el cálculo de las anchuras y las posiciones del ala.

- 45 La figura 4 muestra una vista lateral esquemática de un aerogenerador con una vista superior esquemática de una sección del aerogenerador y una trayectoria de movimiento de la unidad de grabación de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La figura 4 muestra la etapa 310 de la figura 3, por ejemplo. La figura 4 muestra una vista superior esquemática de una sección de un aerogenerador y una vista lateral esquemática del aerogenerador.
- 50 El aerogenerador comprende una torre 420, una cimentación 430, una góndola 440 y unas palas 450 de rotor. El centro 460 de la torre está marcado en la vista 400 superior. Se muestra también una trayectoria de movimiento 480 de la unidad 470 de grabación en el borde superior de la cimentación. Las posiciones de la unidad 470 de grabación al rodear la torre 420 en la trayectoria de movimiento 480 se graban para determinar el centro 460 de la torre. Posteriormente, se forman los subconjuntos de posición a partir de tres puntos cada uno, en donde los tres puntos comprenden una distancia predeterminada, lo más igual posible, por ejemplo, entre sí. Es más, se puede determinar una cantidad de centros de gravedad de triángulos a partir de una pluralidad de los subconjuntos de posición, en donde cada triángulo está formado por los tres puntos de un subconjunto de posición y el centro 460 de la torre se calcula a partir de la media de los centros de gravedad. Como alternativa o adicionalmente, se puede determinar una cantidad de centros de círculo a partir de una pluralidad de los subconjuntos de posición, en donde se determina cada centro de círculo a partir de los tres puntos de un subconjunto de posición, usando la ecuación general del círculo. El centro 460 de la torre aquí se calcula a partir de la cantidad de centros de círculo. Como alternativa o adicionalmente, se puede determinar una cantidad de centros de círculo circunscrito a partir de una pluralidad de los subconjuntos de posición, en donde cada centro de círculo circunscrito es el centro de un círculo circunscrito de un triángulo que se forma a partir de los tres puntos de un subconjunto de posición. Por tanto, el centro 460 de la torre se calcula a partir

de la cantidad de centros de círculo circunscrito. Los triángulos pueden ser, por ejemplo, triángulos equiláteros o isósceles.

5 La figura 5 muestra una vista lateral esquemática de un aerogenerador con una vista superior esquemática de una sección del aerogenerador de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La figura 5 muestra la etapa 320 de la figura 3, por ejemplo. La figura 5 corresponde a la figura 4, excepto por la posición de la unidad de grabación y la escasez de trayectoria de movimiento. La figura 5, en comparación con la figura 4, muestra un punto 510 de referencia. La unidad de grabación se coloca en el punto de referencia para determinar el punto de referencia, como la altura de referencia o la altura como punto cero, del aerogenerador. Posteriormente, se evalúa la información sobre la posición de la unidad de grabación. Por tanto, se puede determinar una altura de referencia para el aerogenerador, mediante la cual se puede orientar la unidad de grabación, por ejemplo, para volar hasta las puntas de la pala de rotor o hasta el buje de manera automatizada. El punto de referencia puede ser una cantidad unidimensional, como una altura de referencia. En este caso, el punto de referencia puede ser cualquier punto con la misma altura relativa a la torre, en el borde superior de la cimentación.

15 La figura 6 muestra una vista superior esquemática de un aerogenerador de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La figura 6 muestra la etapa 330 de la figura 3, por ejemplo. La figura 6 muestra los componentes conocidos a partir de la figura 4 y la figura 5, y una orientación 610 del aerogenerador con respecto al centro 460 de la torre y un eje 620 de referencia, como un eje dirigido hacia el norte. La determinación de la orientación del aerogenerador comprende la evaluación del centro 460 de la torre y la información sobre la posición de la unidad 470 de grabación, en donde la unidad de grabación se coloca en correspondencia con la orientación 610 del aerogenerador en el momento de registrar la información sobre la posición. Por tanto, la orientación 610 del aerogenerador se puede determinar en poco tiempo y sin necesidad de dispositivos de medición adicionales, excepto la unidad 470 de grabación. Una recta, como el vector de dirección de una recta de conexión de los dos puntos, se puede determinar a partir del centro 460 de la torre y la posición de la unidad de grabación. El ángulo de este vector de dirección, como la recta al eje 620 de referencia, se puede usar para evaluar la orientación 610.

30 La figura 7 muestra una ilustración esquemática de un flujo de información ilustrativo entre un sistema cinemático en tiempo real, la unidad de grabación, el dispositivo de evaluación y la unidad de comunicación, como una consola remota, de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La figura 7 muestra la unidad 470 de grabación, un sistema 710 cinemático en tiempo real, como RTK, satélites 720, una unidad 730 de evaluación y una unidad 740 de comunicación. El sistema cinemático en tiempo real obtiene información sobre su propia posición a partir de los satélites 720, por ejemplo, el flujo de información se indica mediante flechas 750. La unidad 470 de grabación también puede obtener información sobre su propia posición a través de los satélites 720, el flujo de información se indica mediante flechas 760. El sistema cinemático en tiempo real se puede usar para mejorar los datos de posición de la unidad de grabación, que se indica con la flecha 770. La comunicación entre la unidad 470 de grabación y la unidad 730 de evaluación se realiza a través de la unidad 740 de comunicación, que se indica con las flechas 780. La comunicación, por ejemplo, entre la unidad de grabación y la unidad de comunicación, puede tener lugar de manera encriptada. La unidad de grabación puede comprender adicionalmente una unidad de control. Esto puede proporcionar una forma móvil y barata de generar información sobre la posición y la ubicación precisas del aerogenerador, sin integrar módulos GPS caros, complicados y, por ejemplo, pesados en la unidad 470 de grabación, para generar datos de posición suficientemente precisos.

45 La figura 8 es una vista lateral esquemática de un aerogenerador con un orden de detección ilustrativo de la unidad de grabación de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La figura 8 muestra los componentes conocidos de las figuras 4 y 5. Adicionalmente, un posible orden de vuelo de la unidad de grabación se indica mediante los números del 1 al 4. Una vez determinada la posición de referencia, el punto de referencia y la orientación del aerogenerador, al principio, se puede volar al buje (1.) de manera automática o autónoma, por ejemplo, para determinar la altura de la torre y, posteriormente, las puntas de la pala de rotor. Otras partes se pueden, por ejemplo, detectar ópticamente en el camino hacia las puntas de la pala de rotor. La colocación de las palas de rotor se debe mencionar a modo de ejemplo, es posible una orientación hacia la posición de las 6 en punto o hacia cualquier otra posición.

55 La figura 9 muestra una vista lateral esquemática de un aerogenerador con elementos ilustrativos de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La figura 9 muestra los componentes conocidos de las figuras 4 y 5. Los elementos cuya posición y/o ubicación se puede determinar usando el método de acuerdo con la divulgación se caracterizan de forma ilustrativa en forma de las bridas 910 de la pala de rotor, las puntas 920 de la pala de rotor y el buje 930. Una parte 940 del aerogenerador que puede ser detectada por la unidad de grabación, como se muestra a modo de ejemplo. También es concebible una pluralidad de elementos adicionales o de otro tipo. Los puntos individuales de la brida de la pala de rotor, por ejemplo, también pueden formar elementos. Al tomar imágenes de una parte 940 del aerogenerador, se pueden reconocer las puntas 920 de la pala de rotor, por ejemplo, y la evaluación de la ubicación y/o la posición de las puntas de la pala de rotor de acuerdo con la divulgación.

La figura 10 muestra una vista lateral esquemática de un ejemplo del objeto en forma de una grúa de acuerdo con una

- realización de la presente divulgación. La figura 10 muestra una grúa 1000. Los elementos ilustrativos de la grúa están caracterizados por la conexión 1010 entre la torre y el aguilón y la punta 1020 del aguilón. Mediante el método de acuerdo con la divulgación, el reconocimiento de las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos se puede realizar grabando varias partes de la grúa 1000. Esto se puede usar, por ejemplo, en obras permanentes para comprobar de forma rápida y económica la integridad de una grúa 1000. Dado que la orientación puede variar en función del movimiento de carga anterior de la grúa, de acuerdo con la divulgación, se pueden detectar datos sin una alineación adicional, que requiere mucho tiempo, de la grúa 1000. Se puede generar un modelo de la grúa 1000 evaluando las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos para realizar vuelos de inspección autónomos.
- 10 Todos los materiales, influencias medioambientales, elementos eléctricos y elementos ópticos enumerados se deben considerar ilustrativos y no exhaustivos.

Conclusiones y observaciones adicionales

- 15 Generalmente, las realizaciones de acuerdo con la presente divulgación se basan en la idea de marcar puntos significativos en las imágenes realizadas, por ejemplo, obtenidas mediante detección óptica. Los puntos significativos pueden ser puntos de borde. Se puede proyectar un rayo o una recta a lo largo de la profundidad de la imagen usando posiciones y ubicaciones conocidas, como orientaciones de las imágenes, y parámetros de la unidad de grabación, como la cámara de la unidad de grabación. Un punto exacto en el espacio se puede, por ejemplo, determinar evaluando varias imágenes. Una medida que se debe determinar o un parámetro que se debe determinar del objeto, como el aerogenerador, se puede establecer posteriormente usando estos puntos.

- 25 Las realizaciones de acuerdo con la presente divulgación se refieren a un método para generar datos de calibración para una determinación automática de la posición o determinación de punto de recorrido para vuelos autónomos de una unidad de grabación, como un dron (VANT), en preparación de un método para determinar un recorrido a lo largo de un objeto y sistema.

- 30 Las realizaciones de acuerdo con la presente divulgación se refieren a la inspección de un aerogenerador usando una unidad de grabación, como un dron (VANT) disponible en el mercado, que se puede equipar con una cámara y/o medición de protección contra rayos. El dron puede comprender adicionalmente sensores o módulos adicionales. Los sensores ilustrativos pueden estar equipados con un radar, ultrasonido, infrarrojos, láser o tecnologías adicionales. Por tanto, la unidad de grabación puede volar automáticamente en una ruta a lo largo de un aerogenerador para tomar imágenes o mediciones del objeto y detectar posibles daños.

- 35 En general, las realizaciones de acuerdo con la presente divulgación se basan en la idea de automatizar la medición de un aerogenerador usando una unidad de grabación, como un dron disponible en el mercado, y generar un conjunto de datos de calibración para volar automáticamente a lo largo del aerogenerador. Se pueden tomar automáticamente imágenes del buje del rotor, la colocación de las palas de rotor y las puntas de la pala. A partir de la evaluación de las imágenes o grabaciones se puede calcular un recorrido de vuelo de la unidad de grabación a lo largo del aerogenerador.

- 45 Los objetos de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación pueden comprender aerogeneradores, grúas, puentes o pilares de puentes, presas o postes para línea de energía eléctrica, por ejemplo. Sin embargo, esta lista no se debe considerar exhaustiva. El método de acuerdo con la divulgación es particularmente ventajoso para objetos grandes de difícil acceso que se tienen que inspeccionar o de los que se debe generar un modelo.

- 50 Las realizaciones de acuerdo con la presente divulgación comprenden un vuelo de calibración automática para el aerogenerador después de la calibración en tierra, que comprende, por ejemplo, la determinación del centro de la torre, la altura de la torre y la orientación del aerogenerador, como el azimut de la torre, con valores conocidos para la altura del buje y la longitud de las palas de rotor, de modo que se pueda suponer una posición suficiente de la rueda eólica para el vuelo de calibración automatizada con suficiente distancia de seguridad, pero a una distancia inferior a 20 m, por ejemplo. Adicionalmente, este vuelo puede permitir determinar valores de medición precisos para la posición de las puntas de la pala de rotor, y las bridas de la pala de rotor y elementos o parámetros adicionales, por ejemplo.

- 55 Las realizaciones de acuerdo con la presente divulgación se basan en usar construcciones geométricas auxiliares para determinar posiciones y/o ubicaciones de elementos o parámetros. En este caso, las construcciones geométricas auxiliares pueden comprender rayos o rectas. Dependiendo del elemento o parámetro específico, se puede emplear una forma correspondiente de la reconstrucción geométrica auxiliar, es decir, de una recta o rayo, por ejemplo, o solo se puede emplear un vector de dirección de una recta o un vector de dirección de un rayo. Los métodos y sistemas de acuerdo con la divulgación no están restringidos al uso específico de una determinada forma de representación de la información que se puede representar, por ejemplo, por una recta o un rayo. Cuando se usa un rayo que se origina en un primer punto y comprende un segundo punto, al conocer los dos puntos, se conoce una recta correspondiente respectiva que comprende también los dos puntos y comprende el mismo contenido informativo. Por el contrario, una recta proporciona información direccional para un rayo que se puede formar como una subsección de la recta. Estas

formas de representación están previstas a título meramente ilustrativo y, con el mismo contenido informativo, se pueden tratar como intercambiables según se desee en el contexto de una tarea concreta.

5 Generalmente, las realizaciones de acuerdo con la presente divulgación pueden comprender la determinación o el cálculo de las posiciones de las puntas de la pala de rotor de un aerogenerador. Una cantidad de rectas o rayos entre la posición de la punta de una pala de rotor identificada en una imagen y la posición respectiva de la unidad de grabación en el espacio tridimensional, por ejemplo, se pueden conformar para determinar las posiciones. Correspondientemente, se puede buscar un "punto de intersección" de la cantidad de rectas o rayos en el espacio tridimensional para determinar la posición de la punta de la pala de rotor. En palabras simples, la situación inicial de acuerdo con tales realizaciones puede ser un número de rayos en 3D, cuyo "punto de intersección" se busca. En realidad, es decir, en el uso práctico en los aerogeneradores, con datos de unidades de grabación reales, algunas o, por ejemplo, todas las rectas o rayos pueden estar sesgados y no intersectarse en ningún punto. De acuerdo con tales realizaciones, en su lugar se puede determinar el punto P más cercano a un "punto de intersección".

15 Para ello se pueden usar dos definiciones y realizar las etapas de procesamiento correspondientes, por ejemplo:

"Distancia mínima": la distancia mínima de un punto tridimensional a un rayo o, por ejemplo, una recta es la longitud de la línea perpendicular entre el punto y el rayo o el punto y la recta, por ejemplo.

20 "Suma de los cuadrados de las distancias mínimas": para los rayos dados, se calculan y elevan al cuadrado las distancias mínimas a un punto. A continuación, se calcula la suma de estas distancias al cuadrado.

El punto buscado es exactamente aquel punto que minimiza la suma de los cuadrados de las distancias mínimas.

25 Se puede determinar el punto P, por ejemplo, mediante el uso de un algoritmo de optimización, como el algoritmo "Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno con memoria limitada" (L-BFGS).

El punto P, por ejemplo, se puede usar como un resultado para la posición de la punta de la pala de rotor.

30 Aunque algunos aspectos se han descrito en el contexto de un aparato o dispositivo, se entiende que estos aspectos también representan una descripción del método correspondiente, de modo que también se debe entender que un bloque o componente de un aparato o sistema es una etapa del método correspondiente o un elemento de una etapa del método. En analogía, los aspectos descritos en relación con una etapa del método o como tal también representan una descripción de un bloque, detalle o elemento correspondiente de un aparato correspondiente. Algunas o todas las etapas del método se pueden realizar mediante (o usando) un aparato de hardware, tal como un microprocesador, un ordenador programable o un circuito electrónico. En algunas realizaciones, algunas o más de las etapas más importantes del método se pueden realizar por un aparato de este tipo.

40 Dependiendo de los requisitos particulares de implementación, las realizaciones de la invención se pueden implementar en hardware o en software. La implementación se puede realizar usando un medio de almacenamiento digital, por ejemplo, un disquete, un DVD, disco Blu-ray, CD, ROM, PROM, EPROM, EEPROM o memoria FLASH, un disco duro o cualquier otro almacenamiento magnético u óptico que tenga almacenadas en el mismo señales de control legibles electrónicamente que puedan interactuar o interactúen con un sistema informático programable para ejecutar el método respectivo. Por lo tanto, el medio de almacenamiento digital puede ser legible por ordenador.

45 Por tanto, algunas realizaciones de acuerdo con la invención incluyen un soporte de datos que tiene señales de control legibles electrónicamente capaces de cooperar con un sistema informático programable de modo que se realiza cualquiera de los métodos descritos en el presente documento.

50 Generalmente, las realizaciones de la presente invención se pueden implementar como un producto de programa informático que tiene código de programa, siendo el código de programa operativo para realizar cualquiera de los métodos cuando el producto de programa informático se ejecuta en un ordenador.

55 Por ejemplo, el código de programa también se puede almacenar en un soporte legible por máquina.

Otras realizaciones incluyen el programa informático para llevar a cabo cualquiera de los métodos descritos en el presente documento, en donde el programa de ordenador se almacena en un soporte legible por máquina.

60 En otras palabras, una realización del método inventivo es, por tanto, un programa informático que comprende código de programa para realizar cualquiera de los métodos descritos en el presente documento cuando el programa informático se ejecuta en un ordenador.

Por tanto, otra realización de los métodos inventivos es un soporte de datos (o medio de almacenamiento digital o medio legible por ordenador) en el que se graba el programa informático para la realización de cualquiera de los

métodos descritos en el presente documento. El soporte de datos, medio de almacenamiento digital o medio legible por ordenador es normalmente tangible y/o no transitorio o no pasajero.

5 Por tanto, una realización adicional del método inventivo es un flujo de datos o secuencia de señales que constituyen el programa informático para realizar cualquiera de los métodos descritos en el presente documento. El flujo de datos o secuencia de señales se puede, por ejemplo, configurar para transferirse a través de un enlace de comunicación de datos, por ejemplo, a través de Internet.

10 Otra realización comprende medios de procesamiento, tal como un ordenador o un dispositivo lógico programable, configurados o adaptados para realizar cualquiera de los métodos descritos en el presente documento.

Otra realización incluye un ordenador que tiene instalado en el mismo el programa informático para realizar cualquiera de los métodos descritos en el presente documento.

15 Otra realización de acuerdo con la invención comprende un aparato o sistema configurado para transmitir a un receptor un programa informático para realizar al menos uno de los métodos descritos en el presente documento. La transmisión puede, por ejemplo, ser electrónica u óptica. El receptor puede ser, por ejemplo, un ordenador, dispositivo móvil, dispositivo de almacenamiento o dispositivo similar. El aparato o sistema puede incluir, por ejemplo, un servidor de archivos para transmitir el programa informático al receptor.

20 En algunas realizaciones, un dispositivo lógico programable (por ejemplo, una matriz de puertas programables de campo, FPGA) se puede usar para realizar algunas o todas las funcionalidades de los métodos descritos en el presente documento. En algunas realizaciones, una matriz de puertas programables de campo puede cooperar con un microprocesador para realizar cualquiera de los métodos descritos en el presente documento. En general, en algunas
25 realizaciones, los métodos se realizan en la parte de cualquier aparato de hardware. Puede ser hardware de propósito general, tal como un procesador informático (CPU), o hardware específico del método, tal como un ASIC.

Los aparatos o sistemas descritos en el presente documento se pueden implementar usando, por ejemplo, un aparato de hardware, usando un ordenador o usando una combinación de un aparato de hardware y un ordenador.

30 Los aparatos o sistemas descritos en el presente documento, o cualquiera de sus componentes, se pueden implementar al menos parcialmente en hardware y/o en software (programa informático).

35 Por ejemplo, los métodos descritos en el presente documento se pueden implementar usando un aparato de hardware, usando un ordenador o usando una combinación de un aparato de hardware y un ordenador.

Los métodos descritos en el presente documento o cualquiera de los componentes de los métodos descritos en el presente documento se pueden realizar al menos en parte mediante hardware y/o software.

40 Las realizaciones descritas anteriormente son meramente ilustrativas de los principios de la presente invención. Se entiende que las modificaciones y variaciones de las disposiciones y detalles descritos en el presente documento serán evidentes para otros expertos en la materia. Por lo tanto, la invención está prevista para estar limitada únicamente por el alcance de las reivindicaciones que figuran a continuación y no por los detalles específicos presentados en el presente documento a modo de descripción y explicación de las realizaciones.

45

REIVINDICACIONES

1. Método para detectar un objeto (1000) que se puede describir mediante una pluralidad de elementos (910, 920, 930, 1010, 1020) predeterminados, incluyendo el método:

(a) volar a lo largo del objeto (1000) y detectar una pluralidad de secciones (940) del objeto con al menos una unidad (470) de grabación, en donde cada una de las secciones se detecta una pluralidad de veces desde distintas posiciones de la unidad de grabación con el fin de generar un conjunto de imágenes, en donde la información sobre la posición y la ubicación de la unidad de grabación se asocia con cada imagen; y

(b) detectar elementos (910, 920, 930, 1010, 1020) en los conjuntos de imágenes; y

(c) determinar las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos (910, 920, 930, 1010, 1020) usando la información sobre la posición y la ubicación de las imágenes que contienen los elementos;

en donde la unidad (470) de grabación es un dron o un dispositivo de medición junto con un dron, que se configura para

generar los conjuntos de imágenes; y

asociar la información sobre la posición y la ubicación de la unidad de grabación con cada imagen en el momento de grabar la imagen respectiva.

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la etapa (c) además incluye:

establecer una pluralidad de construcciones geométricas auxiliares, en donde las construcciones geométricas auxiliares para cada imagen que contiene un elemento (910, 920, 930, 1010, 1020) se establecen entre

la posición de la unidad (470) de grabación asociada con la imagen y la posición de un elemento (910, 920, 930, 1010, 1020) identificado en la imagen o

las posiciones de una pluralidad de elementos (910, 920, 930, 1010, 1020) identificados en una imagen,

en un sistema de coordenadas; y

evaluar las construcciones geométricas auxiliares para obtener un conjunto de resultados para la posición y/o la ubicación de los elementos (910, 920, 930, 1010, 1020) o un elemento derivado de una pluralidad de elementos; y

evaluar estadísticamente el conjunto de resultados.

3. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, incluyendo el método, además:

determinar una orientación del objeto (1000) evaluando una posición (460) de referencia del objeto e información sobre la posición de la unidad (470) de grabación, en donde la unidad de grabación se coloca de acuerdo con la orientación (610) del objeto en el momento de registrar la información sobre la posición.

4. Método de acuerdo con la reivindicación 3, incluyendo el método, además:

determinar la posición (460) de referencia del objeto (1000) evaluando un conjunto de información sobre la posición de la unidad (470) de grabación, en donde el conjunto de información sobre la posición se origina a partir de una trayectoria (480) de movimiento de la unidad de grabación.

5. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, incluyendo el método, además:

determinar al menos una dimensión del objeto (1000) evaluando un punto (510) de referencia del objeto y la posición de uno o más de los elementos (910, 920, 930, 1010, 1020).

6. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde las posiciones de la unidad (470) de grabación y de los elementos (910, 920, 930, 1010, 1020) incluyen coordenadas de un sistema de coordenadas predeterminado; y

en donde el método incluye además el empleo de una cinemática en tiempo real, RTK, sistema (710) para corregir la información sobre la posición y la ubicación de la unidad de grabación.

7. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa (b) incluye la detección automatizada de los elementos (910, 920, 930, 1010, 1020) en los conjuntos de imágenes y/o la etapa (c) incluye la determinación automatizada de las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos.
- 5 8. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde el objeto (1000) es un aerogenerador, teniendo el aerogenerador una torre (420), una góndola (440), un buje (930), bridas (910) de la pala de rotor y palas (450) de rotor y un eje común de rotación de las palas de rotor; y
- 10 en donde el método incluye además la determinación de uno o más parámetros del aerogenerador basándose en las posiciones y/o las ubicaciones de los elementos (910, 920, 930, 1010, 1020).
9. Método de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el parámetro incluye una posición de una punta (920) de la pala de rotor que se determina, p. ej., tal como se indica a continuación:
- 15 determinar una línea recta entre la posición de la punta (920) de la pala de rotor identificada en una imagen y la posición asociada de la unidad (470) de grabación, en donde, además de la posición de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen y la posición identificada de la punta de la pala de rotor, para determinar la línea recta también se tienen en cuenta la ubicación de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen, así como las propiedades de la unidad (470) de grabación;
- 20 determinar una pluralidad de líneas rectas para un conjunto de imágenes de la punta (920) de la pala de rotor;
- evaluar la pluralidad de líneas rectas por pares;
- 25 calcular un punto de intersección para cada par de líneas rectas; y
- calcular la posición de la punta (920) de la pala de rotor desde un conjunto de los puntos de intersección de los pares de líneas rectas.
- 30 10. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 9, en donde el parámetro incluye una posición de una brida (910) de la pala de rotor que se determina, p. ej., tal como se indica a continuación:
- determinar una primera línea recta entre la posición de un primer punto de la brida (910) de la pala de rotor identificado en una imagen y la posición de la unidad (470) de grabación y una segunda línea recta entre la posición de un segundo punto de la brida de la pala de rotor opuesto al primer punto identificado en la misma imagen y la posición de la unidad de grabación, en donde, además de la posición de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen y las posiciones identificadas de los puntos de las bridas de la pala de rotor, para determinar la primera y segunda líneas rectas también se tienen en cuenta la ubicación de la unidad de grabación en el momento de grabar la imagen, así como las propiedades de la unidad (470) de grabación;
- 35 determinar una línea recta adicional que discorra por el medio entre la primera y la segunda líneas rectas;
- determinar una pluralidad de líneas rectas adicionales para un conjunto de imágenes de la brida (910) de la pala de rotor; y
- 45 determinar la posición de la brida (910) de la pala de rotor desde la pluralidad de líneas rectas adicionales.
11. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 10, en donde el parámetro incluye una ubicación de una brida (910) de la pala de rotor que se determina, p. ej., tal como se indica a continuación:
- 50 identificar dos puntos opuestos de la brida (910) de la pala de rotor en una imagen;
- determinar un vector de dirección de una línea recta de conexión entre las posiciones de los dos puntos opuestos de la brida (910) de la pala de rotor;
- 55 determinar una pluralidad de vectores de dirección que conectan líneas rectas adicionales para un conjunto de imágenes de la brida (910) de la pala de rotor;
- calcular un conjunto de posibles vectores normales de la brida (910) de la pala de rotor a partir de la pluralidad de vectores de dirección de las líneas rectas de conexión formando el producto vectorial de los vectores de dirección de las líneas rectas de conexión por pares; y
- 60 calcular un vector normal de la brida (910) de la pala de rotor a partir del conjunto de posibles vectores normales.

12. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 11, en donde el parámetro incluye el centro (460) de la torre que se determina, p. ej., de la siguiente manera:

5 rodear al menos parcialmente la torre (420) a lo largo de la pared exterior de la torre con la unidad (470) de grabación;
registrar las posiciones de la unidad (470) de grabación al rodear la torre (420);

10 formar subconjuntos de posición a partir de tres puntos cada uno, estando los tres puntos a una distancia predeterminada entre sí;

determinar un conjunto de centroides de triángulos a partir de una pluralidad de subconjuntos de posición, en donde cada triángulo está formado a partir de los tres puntos de un subconjunto de posición; y

15 calcular el centro (460) de la torre a partir de la media de los centroides; o

determinar un conjunto de centros de círculo a partir de una pluralidad de subconjuntos de posición, en donde cada centro de círculo se determina desde los tres puntos de un subconjunto de posición usando la ecuación general del círculo; y

20 calcular el centro (460) de la torre desde el conjunto de centros de círculo; o

determinar un conjunto de centros de círculo a partir de una pluralidad de subconjuntos de posición, en donde cada centro de círculo es el centro de un círculo de un triángulo formado desde los tres puntos de un subconjunto de posición; y

25 calcular el centro (460) de la torre desde el conjunto de centros de círculo.

13. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, incluyendo el método, además:

30 generar o modificar un modelo o parametrizar un modelo genérico, p. ej., un modelo CAD, del objeto (1000) con la información sobre la posición y/o la ubicación de los elementos (910, 920, 930, 1010, 1020).

14. Método para inspeccionar un objeto (1000), que incluye:

35 volar a lo largo del objeto siguiendo un recorrido, y

detectar una o más secciones (940) del objeto (1000) durante el vuelo,

40 en donde el recorrido se basa en una representación del objeto por los elementos (910, 920, 930, 1010, 1020) o parámetros obtenidos por el método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.

15. Sistema para detectar un objeto (1000) que se puede describir mediante una pluralidad de elementos (910, 920, 930, 1010, 1020) predeterminados, incluyendo el sistema:

45 un dispositivo de medición que forma una unidad (470) de grabación solo o junto con un dron, estando el dispositivo de medición configurado para

volar a lo largo del objeto,

50 detectar una pluralidad de secciones del objeto (1000) desde diferentes posiciones con el fin de generar un conjunto de imágenes, en donde la información sobre la posición y la ubicación del dispositivo de medición se asocia con cada imagen; y

55 un dispositivo (730) de evaluación configurado para detectar elementos en los conjuntos de imágenes y determinar posiciones y/o ubicaciones de los elementos (910, 920, 930, 1010, 1020) usando la información sobre la posición y la ubicación de las imágenes que contienen los elementos;

en donde la unidad (470) de grabación está configurada para

60 generar los conjuntos de imágenes; y

asociar la información sobre la posición y la ubicación de la unidad de grabación con cada imagen en el momento de grabar la imagen respectiva.

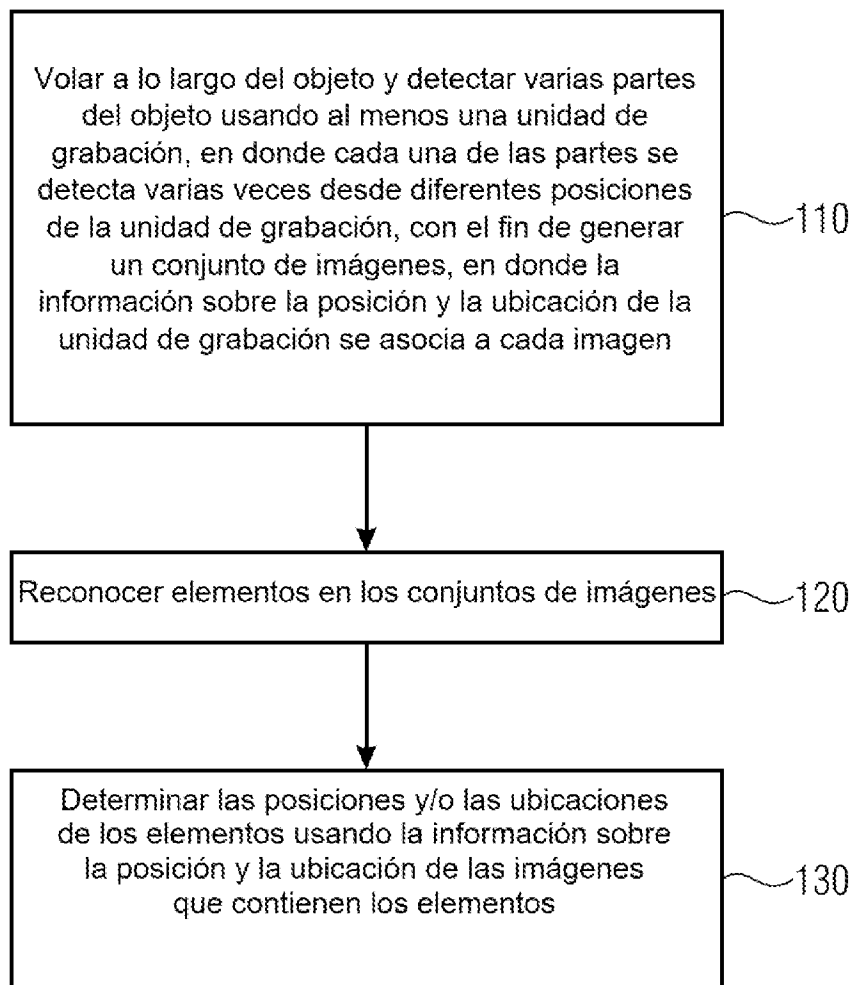


Fig. 1

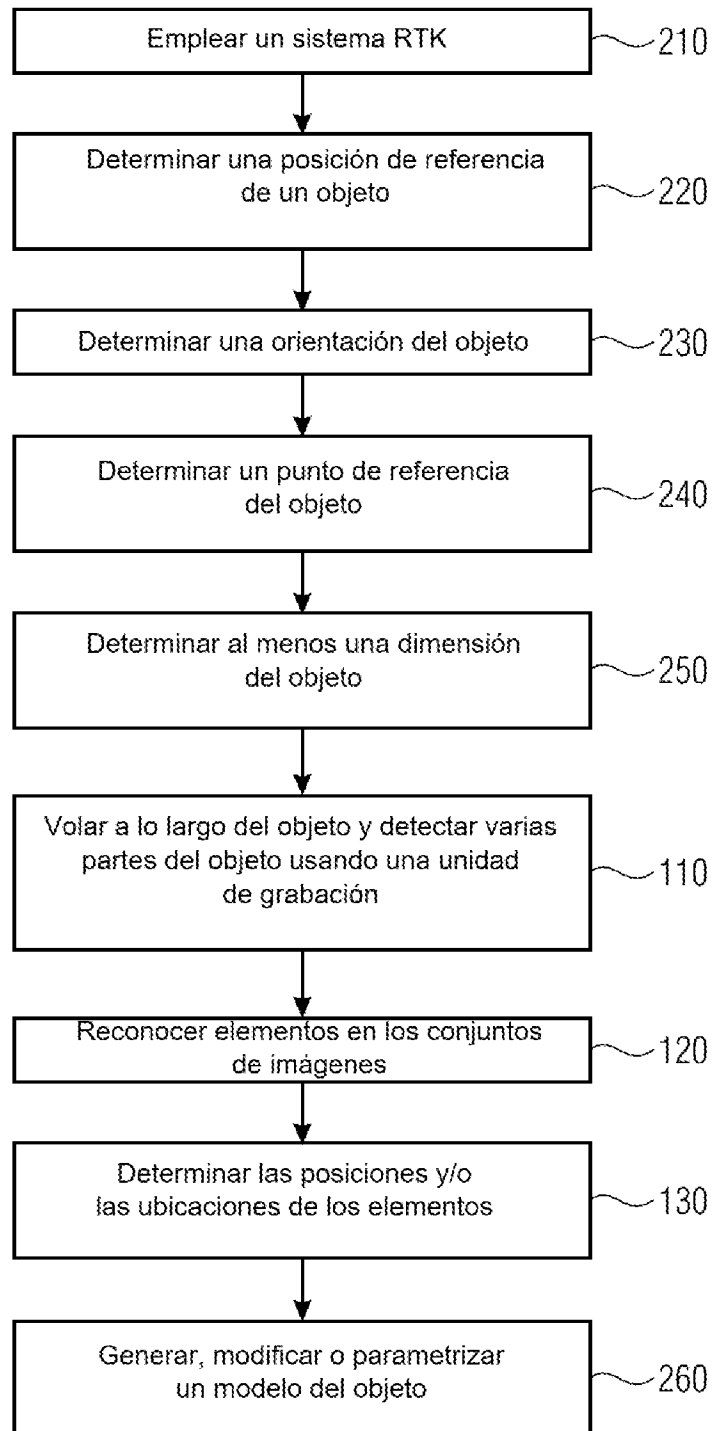


Fig. 2

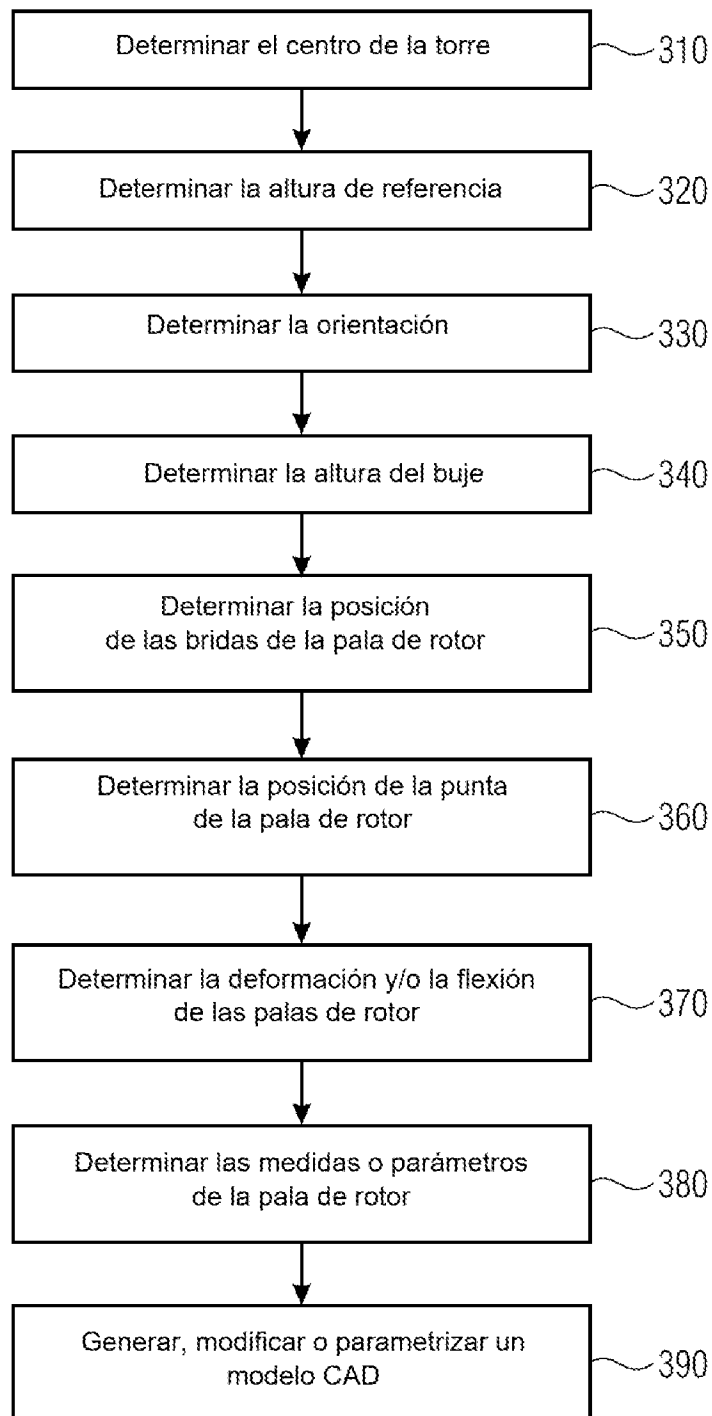


Fig. 3

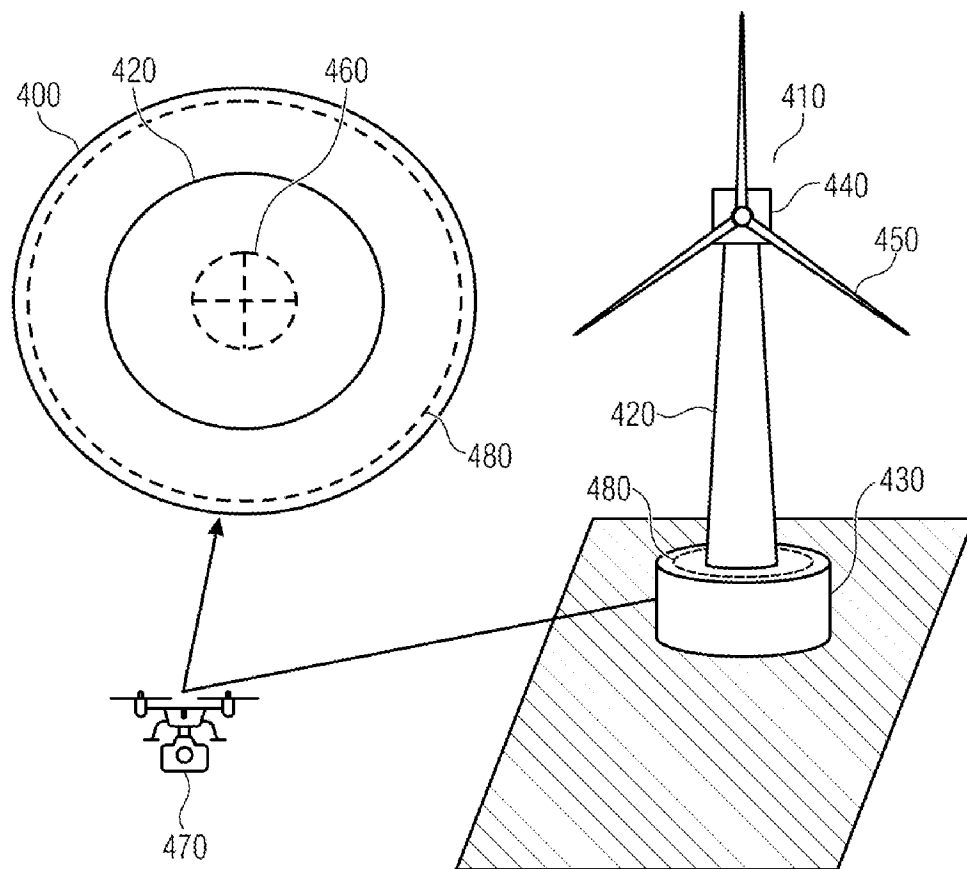


Fig. 4

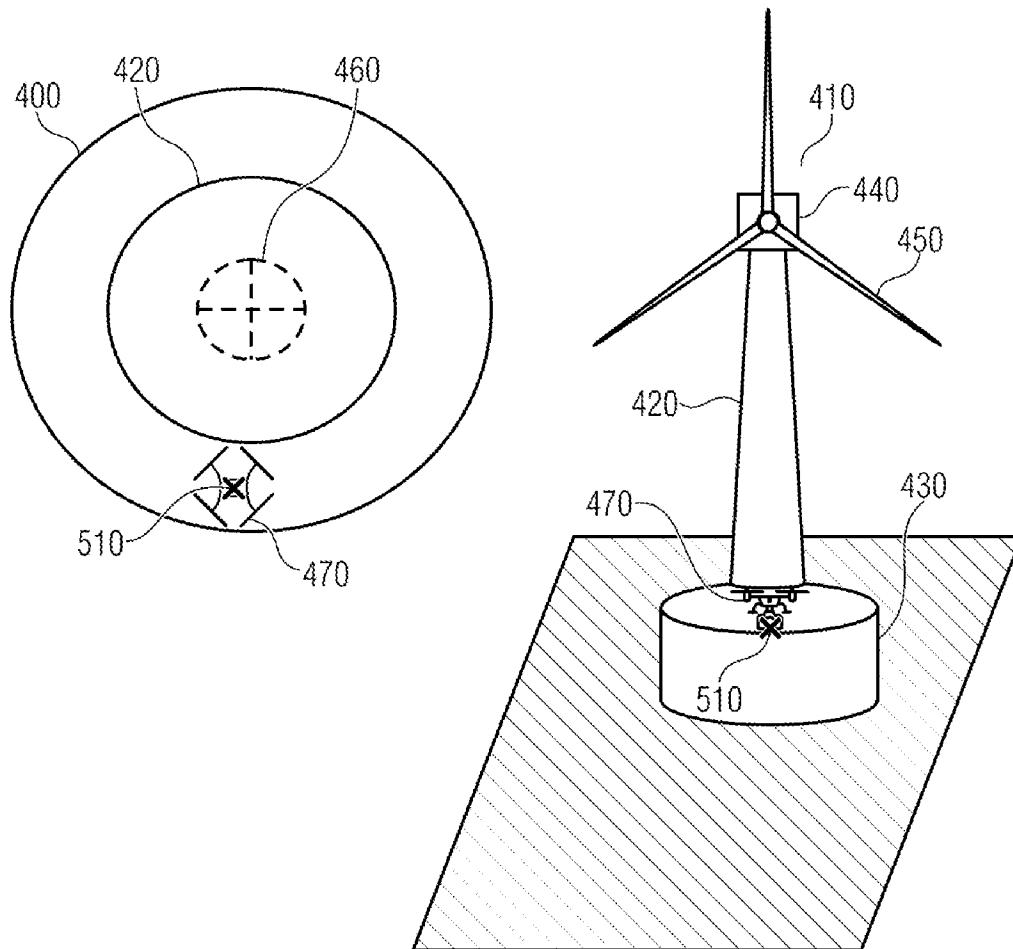


Fig. 5

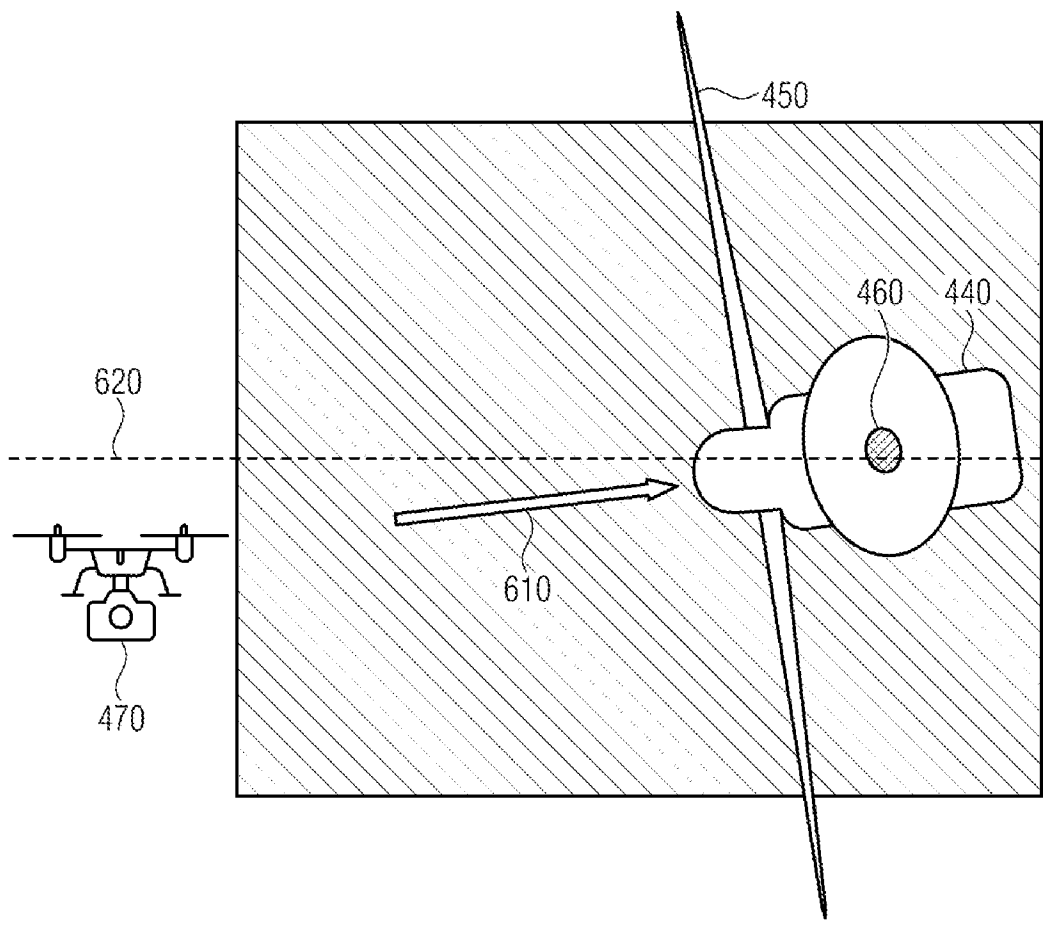


Fig. 6

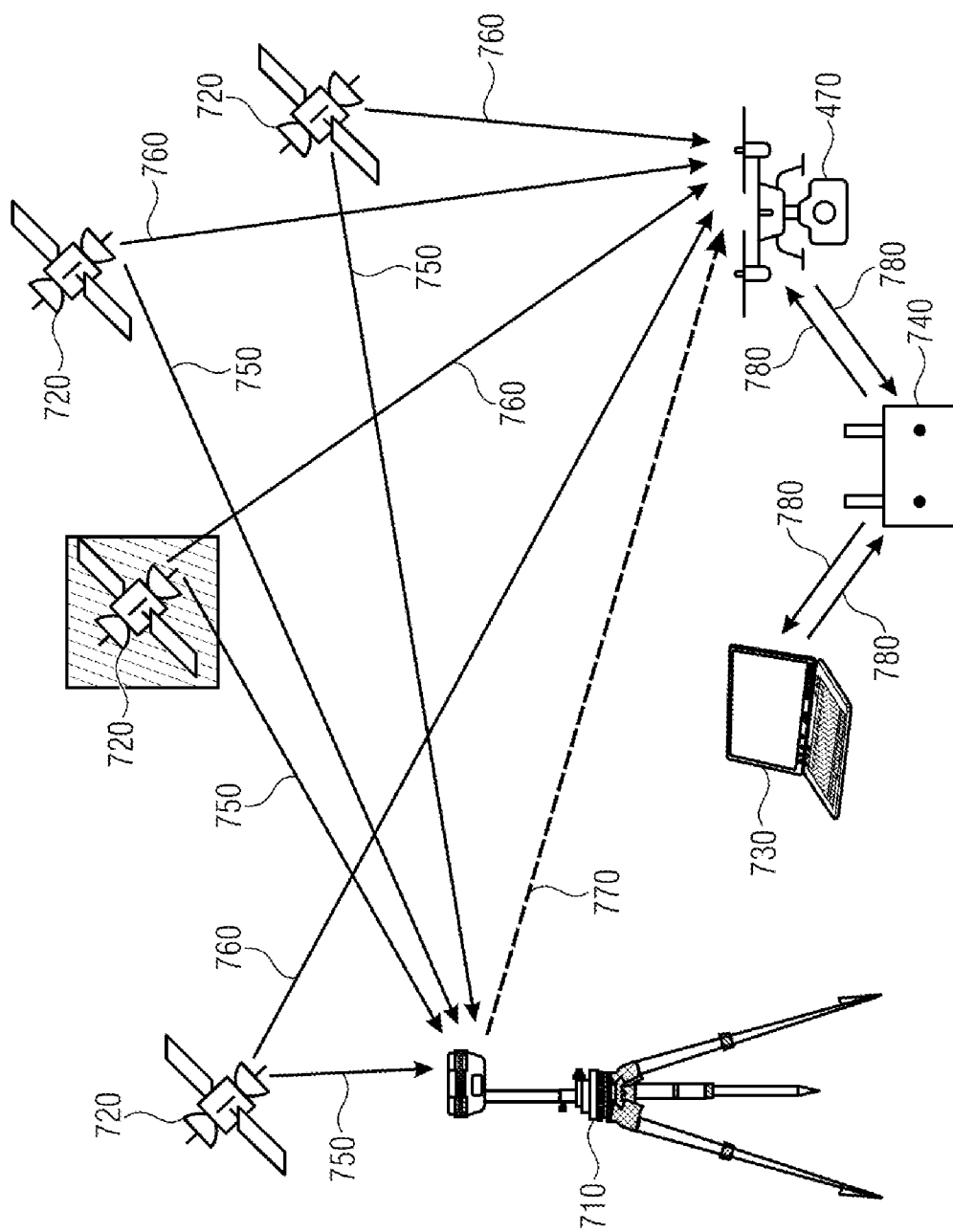


Fig. 7

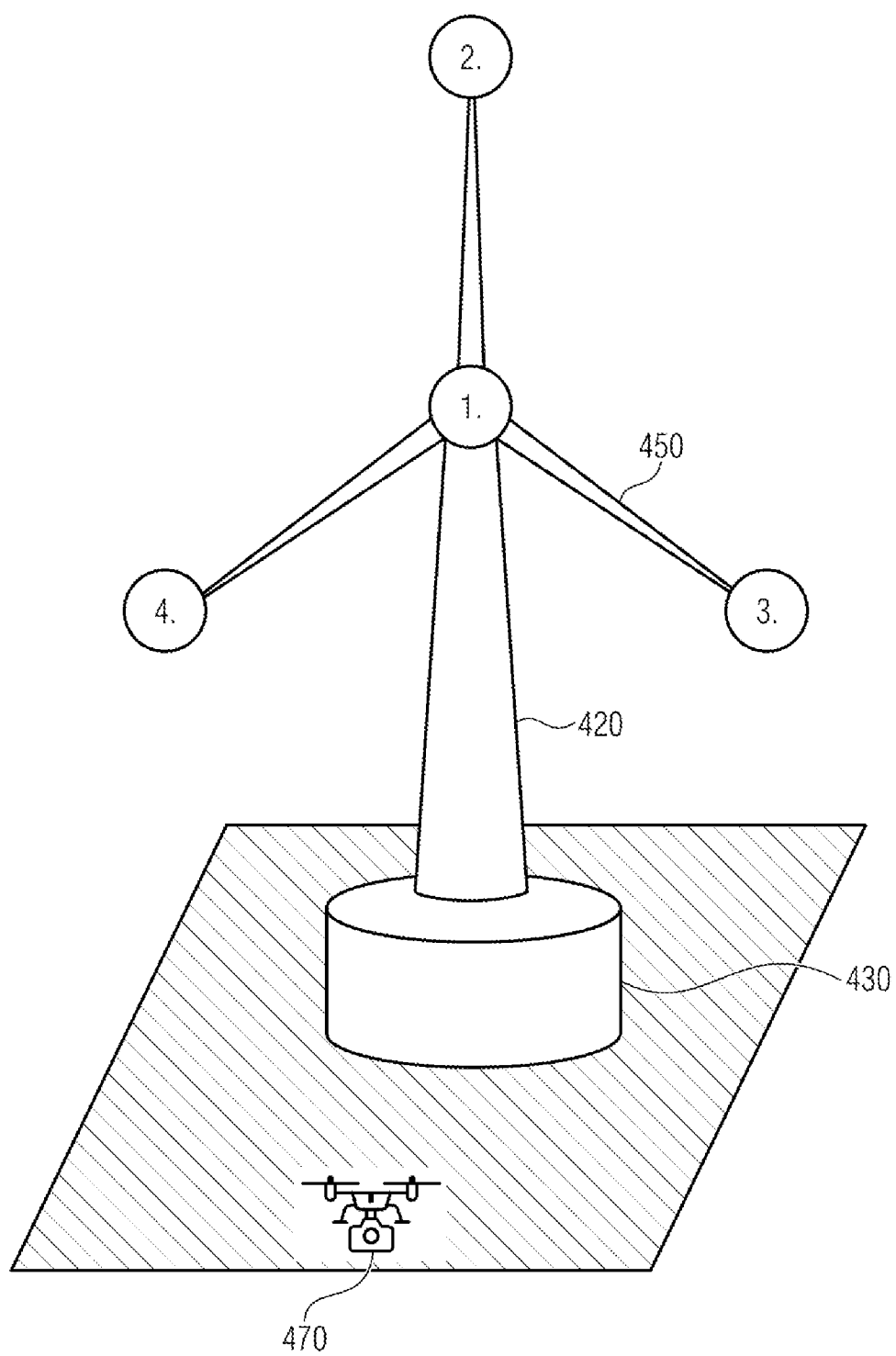


Fig. 8

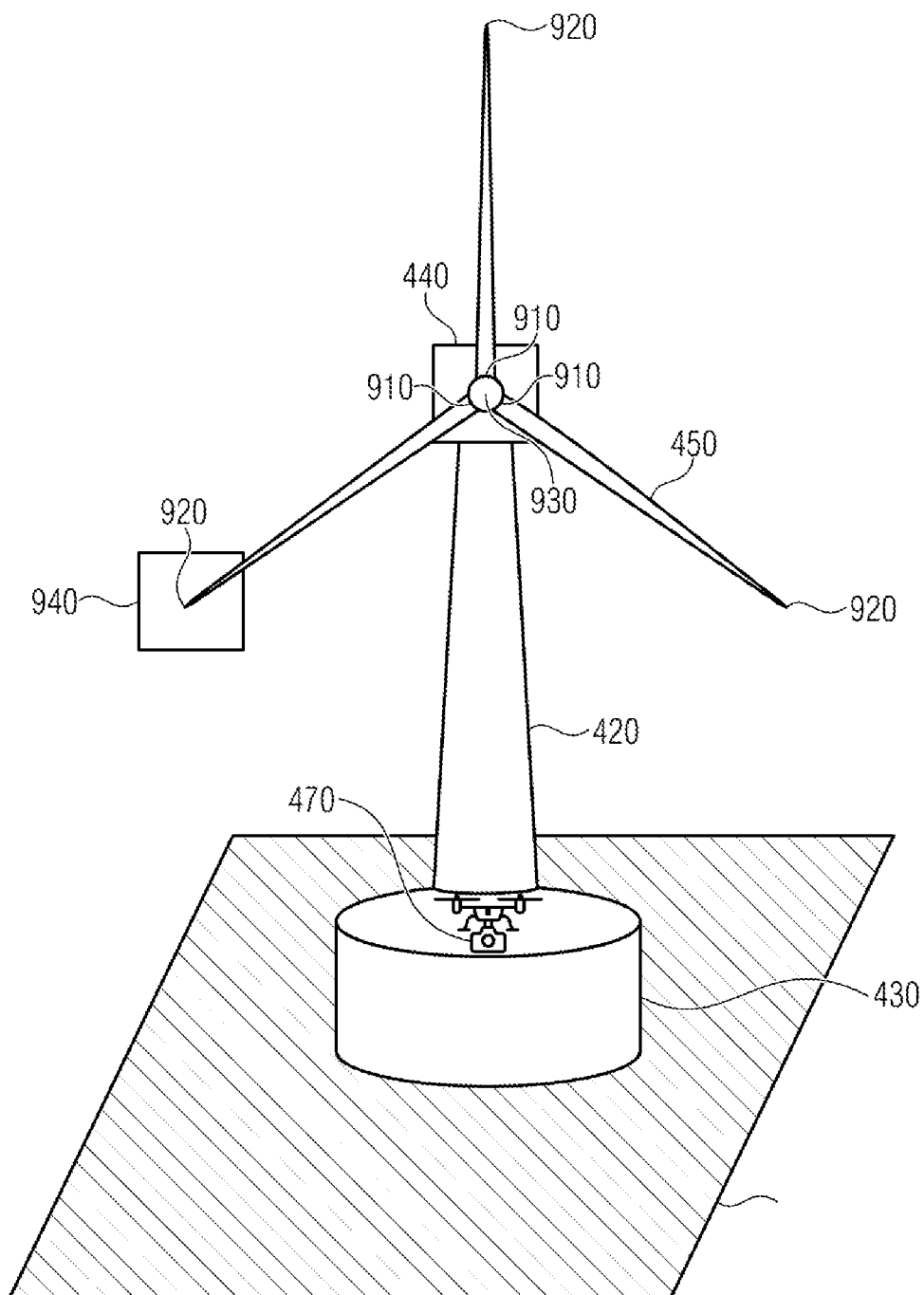


Fig. 9

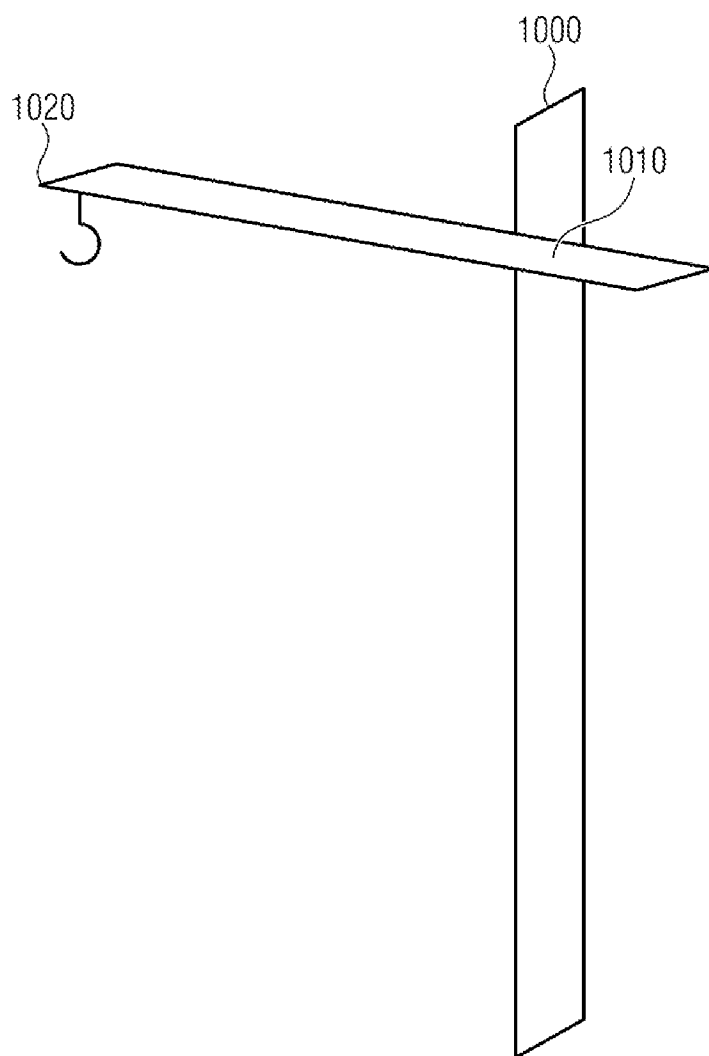


Fig. 10