

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 604 554**

21 Número de solicitud: 201631154

51 Int. Cl.:

G05D 1/00 (2006.01)

G01B 11/30 (2006.01)

G01M 11/00 (2006.01)

G01B 11/27 (2006.01)

B64C 39/02 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

05.09.2016

30 Prioridad:

07.09.2015 DE 10 2015 217 086

43 Fecha de publicación de la solicitud:

07.03.2017

71 Solicitantes:

**DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND
RAUMFAHRT E.V. (50.0%)**

Linder Höhe

51147 Köln DE y

CSP SERVICES GMBH (50.0%)

72 Inventor/es:

PRAHL, Christoph;

GÖHRING, Felix;

RÖGER, Dr.-ing. Marc ;

HILGERT, Christoph y

ULMER, Dr.-ing. Steffen

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

54 Título: **PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE HELIOSTATOS**

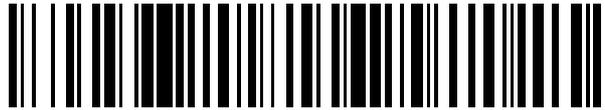
ES 2 604 554 A2

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 604 554**

21 Número de solicitud: 201631154

57 Resumen:

Procedimiento para la medición de heliostatos.

La presente invención se refiere a un procedimiento para la medición de heliostatos (1) de un campo de heliostatos de una central solar de torre central que presenta varios heliostatos (1). Los heliostatos (1) presentan respectivamente al menos un reflector (3) que presenta una superficie de espejo (5) con las siguientes etapas:

- posicionamiento de una aeronave (9) controlable por encima del campo de heliostatos en una posición inicial (P) predeterminada,
- movimiento de la aeronave (9) según un patrón de vuelo (15) predeterminado y toma simultánea de imágenes de un heliostato (1) o de varios heliostatos mediante una cámara (13) a un intervalo de tiempo predeterminado, evaluándose las imágenes,
- generación de al menos una imagen de evaluación de una reflexión (11') de un objetivo (11) formado por la aeronave (9) o una parte de la aeronave (9) sobre la superficie de espejo (5) del al menos un reflector (3) del heliostato (1) y determinación de la posición del objetivo (11) en referencia al al menos un reflector (3),
- evaluación de la al menos una imagen de evaluación para la determinación de al menos un vector normal (N) de la superficie de espejo (5) mediante la posición del objetivo (11), determinándose el eje óptico del heliostato (1) a través del al menos un vector normal (N) y/o determinándose el error de forma de la superficie de espejo (5).

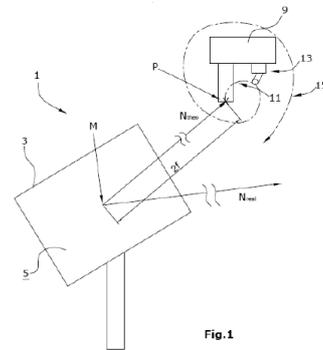


Fig. 1

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la medición de heliostatos.

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la medición de heliostatos de un campo de heliostatos de una central solar de torre central que presenta varios heliostatos.

Las centrales solares de torre central presentan un campo de heliostatos formado de una multiplicidad de heliostatos, presentando cada heliostato al menos un reflector con una superficie de espejo, a través del que se puede concentrar la radiación solar sobre un
10 absorbedor.

Los heliostatos están dispuestos con frecuencia a lo largo de vías curvadas alrededor de la torre solar. A este respecto, las distancias de los heliostatos a la torre / absorbedor pueden
15 variar entre varios cientos de metros hasta más de un kilómetro según la posición del heliostato. Cada reflector presenta una longitud focal f que está adaptada a la distancia entre el reflector y el absorbedor.

Durante el funcionamiento los heliostatos siguen la posición del sol. Los parámetros
20 caracterizadores, que son necesarios para un seguimiento exacto de los heliostatos, son la mayoría de las veces los siguientes: dos ángulos para la descripción de la inclinación del pión (eje acimutal), compensación respecto al eje de elevación y eje acimutal, dos parámetros que describen la no linealidad de los accionamientos, un ángulo que describe la desviación de 90° entre eje de elevación y eje acimutal, así como la desviación entre el eje
25 óptico definido por los espejos y el eje óptico según está definido realmente por la posición de los ejes.

Para conseguir una focalización lo más exacta posible de un heliostato sobre el absorbedor, las compensaciones y parámetros mencionados se deben determinar para posibilitar una
30 calibración del control del heliostato. Además, las compensaciones y parámetros también se deben examinar durante el funcionamiento para realizar adaptaciones eventuales.

Los procedimientos conocidos para la determinación de la compensación usan el así denominado método de cámara y objetivo, en el que se observa un foco del heliostato con
35 una cámara sobre un objetivo blanco que refleja de forma difusa.

Además, hay enfoques de realizar una evaluación fotométrica de las imágenes de la superficie de espejo. Éstos se describen en el documento EP 1 717 568 A2 y DE 10 2011 080 969 de la solicitante. En estos procedimientos se toman las reflexiones de un objetivo sobre la superficie de espejo del reflector con una cámara y se evalúan. Estos dos procedimientos conocidos están optimizados para la medición de colectores cilindro-parabólicos y por ello sólo se pueden usar de forma condicionada para los heliostatos de una central solar de torre central.

Los procedimientos conocidos, basados en la densidad de flujo necesitan una instalación de hardware fija en la torre y, además, dependen de la posición del sol o la disponibilidad de la radiación solar directa.

Por ello el objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento para la medición de heliostatos, que sea independiente de la radiación solar y, además, se pueda realizar con bajo coste técnico de hardware y de forma muy exacta.

La invención está definida por las características de la invención 1.

En el procedimiento según la invención de un campo de heliostatos de una central solar de torre central que presenta varios heliostatos, presentando los heliostatos respectivamente al menos un reflector que presenta una superficie de espejo con una longitud focal f , están previstas las siguientes etapas:

- posicionamiento de una aeronave controlable por encima del campo de heliostatos en una posición inicial predeterminada,

- movimiento de la aeronave según un patrón de vuelo predeterminado y toma simultánea de imágenes de un heliostato o de varios heliostatos mediante una cámara en un intervalo de tiempo predeterminado, evaluándose las imágenes,

- generación de al menos una imagen de evaluación de la reflexión de un objetivo formado por la aeronave o una parte de la aeronave sobre la superficie de espejo del al menos un reflector del o de un heliostato y determinación de la posición del objetivo en referencia al al menos un reflector,

- evaluación de la al menos una imagen de evaluación para la determinación de al menos un vector normal de la superficie de espejo mediante la posición del objetivo, determinándose el eje óptico del heliostato a través del al menos un vector normal y/o determinándose el error de forma de la superficie de espejo.

5

El procedimiento según la invención tiene la ventaja de que gracias al uso de un objetivo en forma de una aeronave o de una parte de una aeronave se usa un objetivo móvil que se puede utilizar por consiguiente de forma muy flexible.

10

El procedimiento según la invención se puede hacer realidad por consiguiente con un bajo coste técnico en dispositivos, pudiéndose utilizar los dispositivos técnicos necesarios para el procedimiento, como por ejemplo la aeronave, también en diferentes centrales solares de torre central. Por consiguiente, mediante el procedimiento según la invención se proporciona un procedimiento económico para la medición de heliostatos.

15

El intervalo de tiempo predeterminado, en el que se toman o evalúan las imágenes, se puede determinar en función de la velocidad de la aeronave. Evidentemente también existe la posibilidad de tomar fotos continuamente, por ejemplo en forma de una película, en la que a continuación se evalúan las imágenes individuales.

20

Durante una calibración de los heliostatos, en primer lugar se realiza habitualmente una calibración aproximativa (precalibración), para determinar los parámetros aproximados del heliostato y posibilitar a continuación una calibración fina entorno a un control lo más exacto posible del heliostato. Mediante el procedimiento según la invención se puede realizar tanto la calibración aproximativa, como también la calibración fina. Por consiguiente es posible medir heliostatos sobre cuya orientación inicial real sólo existen conocimientos aproximados que se derivan, por ejemplo, de los documentos de la construcción. A través de la evaluación de la menos una imagen de evaluación se puede determinar el eje óptico del heliostato de manera ventajosa, de modo que con ello es posible una muy buena calibración del control del heliostato.

30

En un ejemplo de realización preferido de la invención está previsto que la generación de la al menos una imagen de evaluación se realice a través de una selección de las imágenes tomadas anteriormente. Por consiguiente, de las imágenes tomadas se seleccionan una o varias imágenes, en las que se puede reconocer al menos una parte del objetivo como reflexión sobre la superficie de espejo de un heliostato. Estas imágenes se pueden usar

35

luego como imágenes de evaluación para la evaluación continua. El procedimiento según la invención posibilita por consiguiente que se pueda realizar el patrón de vuelo sobre varios heliostatos del campo de heliostatos y durante el patrón de vuelo se tome una multiplicidad de imágenes. Por consiguiente se pueden mediar varios heliostatos en un intervalo de tiempo muy corto mediante el procedimiento según la invención.

En una forma de realización preferida alternativa del procedimiento según la invención está previsto que, durante la generación de la al menos una imagen de evaluación, se evalúen las imágenes tomadas durante el vuelo y se interrumpa el patrón de vuelo al reconocer al menos una parte del objetivo como reflexión sobre la superficie de espejo del al menos un reflector del o de un heliostato. A continuación se controla la aeronave hasta que la reflexión del objetivo está dispuesta en una posición predeterminada sobre la superficie de espejo. Ahora se toma al menos una imagen de evaluación de la reflexión del objetivo sobre la superficie de espejo mediante la cámara.

Un procedimiento de este tipo es especialmente apropiado cuando sólo se debe medir un heliostato. La aeronave se puede posicionar entonces por encima del heliostato en una posición inicial predeterminada y el patrón de vuelo para el movimiento de la aeronave está predeterminado ampliamente por encima del heliostato.

A este respecto, mediante el posicionamiento de la aeronave controlable en una posición inicial predeterminada y un vuelo subsiguiente según un patrón de vuelo se garantiza que ya tras poco tiempo se puede reconocer una reflexión de al menos una parte del objetivo en la superficie de espejo y a continuación la aeronave se posiciona a través del control de la aeronave de manera que la reflexión del objetivo está dispuesta en una posición predeterminada sobre la superficie de espejo. De este modo se garantiza que tras relativamente poco tiempo se pueden tomar imágenes de evaluación de la reflexión del objetivo, que son apropiadas en la evaluación para la determinación del vector normal.

También puede estar previsto que el patrón de vuelo se interrumpa directamente cuando al alcanzar la posición inicial ya esté presente el criterio de interrupción en forma de una reflexión de una parte del objetivo sobre la superficie de espejo.

Aun cuando la orientación real del heliostato o de los heliostatos se desvíe claramente de la orientación teórica, mediante el procedimiento según la invención gracias al uso de un patrón de vuelo predeterminado y de un ajuste fino subsiguiente del vuelo de la aeronave

cuando aparece una parte del objetivo como reflexión sobre la superficie de espejo, se puede realizar una calibración en un breve período de tiempo.

5 Evidentemente el procedimiento según la invención también puede prever que el patrón de vuelo prevea un movimiento de la aeronave sobre varios heliostatos, interrumpiéndose el patrón de vuelo cuando la evaluación de imágenes da como resultado que una parte del objetivo se reconoce como reflexión sobre un heliostato, a fin de realizar un posicionamiento más exacto de la aeronave por encima del heliostato y tomar una imagen de evaluación más exacta mediante la cámara.

10

Preferentemente está previsto que la cámara esté dispuesta en la aeronave. Por consiguiente la aeronave también presenta junto al objetivo la cámara, de modo que en el procedimiento según la invención se produce una movilidad especialmente elevada. Para la realización del procedimiento sólo se requiere la aeronave y una unidad de cálculo, que
15 realiza una evaluación de las imágenes y efectúa igualmente un control de la aeronave. Evidentemente también es posible que la aeronave se controle automáticamente a través de un control situado a bordo.

En una forma de realización preferida del procedimiento está previsto que la posición inicial
20 esté dispuesta sobre un eje óptico teórico de un o del heliostato. El eje óptico teórico puede ser, por ejemplo, el eje óptico del heliostato que se deduce de los documentos de la construcción. De esta manera se garantiza que la aeronave y por consiguiente el objetivo ya se sitúe en la posición inicial relativamente cerca del eje óptico real, de modo que con gran probabilidad en el más breve período de tiempo se puede reconocer al menos una parte del
25 objetivo como reflexión sobre la superficie de espejo.

A este respecto puede estar previsto que el patrón de vuelo contenga una forma espiral alrededor del eje óptico teórico del heliostato. En otras palabras: durante el movimiento a lo largo del patrón de vuelo se controla la aeronave en forma de espiral alrededor del eje óptico
30 teórico. De esta manera se garantiza que con gran probabilidad en el más breve período de tiempo aparezca el objetivo sobre la superficie de espejo del heliostato.

En el caso de un patrón de vuelo que sobrevuela varios heliostatos del campo de heliostatos puede estar previsto que el patrón de vuelo prevea una forma espiral para cada eje óptico
35 teórico de un heliostato. Por ello el patrón de vuelo puede prever que la aeronave se controla en primer lugar respecto a una posición situada por encima del heliostato sobre el

eje óptico teórico y luego se controla en una forma espiral. A continuación la aeronave vuela hacia los siguientes heliostatos previstos dentro del patrón de vuelo. De esta manera existe una probabilidad muy elevada de que algunas de las imágenes tomadas muestren la reflexión del objetivo sobre la superficie de espejo, de modo que éstas sean apropiadas como imágenes de evaluación.

En una forma de realización preferida de la invención está previsto que, en un campo de heliostatos con heliostatos cuyos reflectores presentan respectivamente una longitud focal f , la posición inicial esté dispuesta a una distancia entre f y $2f$ de la superficie de espejo de un heliostatos. Por ejemplo, la posición inicial puede estar dispuesta a lo largo del eje óptico teórico a esta distancia de la superficie de espejo. Una distancia de este tipo tiene la ventaja de que el dron se representa de forma ampliada sobre la superficie de espejo. En el caso de una distancia del doble de la longitud focal ($2f$), el objetivo se puede reconocer con una ampliación máxima sobre la superficie de espejo.

Evidentemente también existe la posibilidad de que la posición inicial esté dispuesta en primer lugar más cerca de la superficie de espejo. Cuando ahora una parte de la aeronave o del objetivo se puede reconocer en la superficie de espejo, la aeronave se puede controlar de modo que el objetivo se sitúa en una posición predeterminada sobre la superficie de espejo, por ejemplo, en el centro de la superficie de espejo, y se puede determinar un vector normal de la superficie de espejo. A continuación la aeronave puede volar a lo largo de este vector normal alejándose del heliostato, de modo que se origina un efecto de ampliación sobre la superficie de espejo. De este modo se puede realizar una adaptación final del vector normal calculado.

Básicamente una distancia mayor entre el dron y el heliostato tiene la ventaja de que las desviaciones de posición tienen una influencia menor en la determinación de la posición del objetivo para la exactitud del vector normal. Se pretende determinar el eje óptico del heliostato con una exactitud de $0,1$ mrad. Con una distancia entre el objetivo y la superficie de espejo de 10 m sería necesaria por consiguiente una exactitud en la determinación de la posición del objetivo de 1 mm. Con una distancia de varios cientos de metros al heliostato, por ejemplo, en el rango de f a $2f$, la posición del objetivo sólo se debe determinar con una exactitud de algunos centímetros, a fin de respetar la exactitud de medición pretendida. Determinaciones de posición de este tipo se pueden conseguir con los medios disponibles actualmente con coste justificable.

La evaluación de las imágenes para la determinación del al menos un vector normal de la superficie de espejo se puede realizar durante el funcionamiento de la aeronave y por consiguiente online o también offline tras el funcionamiento de la aeronave.

5 En la evaluación de la imágenes durante el funcionamiento de la aeronave puede estar previsto que la aeronave transmita las imágenes de forma inalámbrica a una unidad de evaluación. En el caso de la evaluación offline puede estar previsto que la aeronave almacene en primer lugar las imágenes y a continuación se lea la memoria de la aeronave para la evaluación offline.

10

Durante la evaluación de la al menos una imagen de evaluación para la determinación del eje óptico del heliostato o de errores de forma de la superficie de espejo también se pueden determinar varios vectores normales de la superficie de espejo y a continuación se realiza una promediación de los vectores normales.

15

En un ejemplo de realización del procedimiento puede estar previsto que durante la toma de las imágenes se fotografíen varias superficies de espejo de heliostatos adyacentes. Esto se puede realizar en tanto que se selecciona una cámara con distancia focal correspondiente. En una forma de realización del procedimiento con una cámara, que está dispuesta de forma estacionaria y por consiguiente no se lleva por la aeronave, esto tiene la ventaja de que no se debe realizar una focalización de la cámara sobre un heliostato individual, sino que la aeronave puede recalar uno tras otro en varios heliostatos, sin que se requiera una modificación de la cámara.

20

25 Preferentemente está previsto que la aeronave se controle durante la generación de la imagen de evaluación a través de una evaluación de imágenes, realizándose la evaluación de las imágenes en una unidad de cálculo en la aeronave o tras la transmisión inalámbrica a una unidad de cálculo externa. En otras palabras: Al controlar la aeronave tras la interrupción o corte del patrón de vuelo, para posicionar exactamente la reflexión del objetivo sobre la superficie de espejo, se evalúan las imágenes en la aeronave misma o externamente. La evaluación de las imágenes en una unidad de cálculo en la aeronave tiene la ventaja de que ésta se puede realizar muy rápidamente, dado que se evitan los tiempos de transmisión. Además, existe la posibilidad de hacer realidad un control automático completo de la aeronave. La transmisión inalámbrica a una unidad de cálculo externa tiene la ventaja de que por consiguiente se puede prescindir de las capacidades de cálculo

30

35

correspondientes en la aeronave y, además, está a disposición una potencia de cálculo más elevada en una unidad de cálculo externa.

5 Preferentemente está previsto que durante la determinación de la posición del objetivo en referencia al al menos un reflector se determina la posición del objetivo y la posición del reflector en un sistema de coordenadas común. El sistema de coordenadas común puede ser, por ejemplo, un sistema de coordenadas global. Una determinación de este tipo tiene la ventaja de que se puede prescindir de costosas conversiones entre distintos sistemas de coordenadas. Adicionalmente en el sistema de coordenadas global también se puede
10 determinar o constatar la posición de la cámara y en particular del sensor de la cámara.

Durante la determinación de la posición del objetivo en referencia al al menos un reflector, la determinación de la posición del objetivo se puede realizar a través de navegación por satélite o mediante una evaluación de imágenes. La determinación de la posición de la
15 cámara en referencia al al menos un reflector también se puede realizar de esta manera. La posición determinada del reflector se puede realizar a través de una especificación de la construcción del campo de heliostatos o a través de una evaluación de las imágenes tomadas. De esta manera, la posición del objetivo, así como la posición del reflector y por consiguiente también la posición de estos dos elementos entre sí es posible de modo y
20 manera sencillos. En la evaluación de la posición mediante una evaluación de imágenes se pueden evaluar varias imágenes. En particular existe la posibilidad de que los puntos de marcado o formas características, cuya posición se conoce, se utilicen en la evaluación de imágenes. En la evaluación de imágenes se usan métodos de la fotogrametría que permiten exactitudes en el rango de pocos centímetros.

25 El uso de la navegación por satélite para la determinación de la posición del objetivo tiene la ventaja de que éste está a disposición directamente y puede facilitar una exactitud suficiente. Para la evaluación técnica de la navegación por satélite sólo se debe llevar un receptor correspondiente en la aeronave. Para la navegación por satélite se puede usar, por
30 ejemplo, un GPS diferencial.

Preferentemente está previsto que, durante la evaluación de imágenes para el control de la aeronave mediante las imágenes evaluadas, se determinen la posición de la reflexión del objetivo sobre la superficie de espejo y características caracterizadoras del reflector
35 fotografiado. Esto se puede realizar, por ejemplo, en el sistema de coordenadas común. Por ejemplo, en la evaluación de las imágenes se pueden determinar entonces las esquinas o

bordes del reflector y la desviación de la posición de la reflexión del objetivo de la posición predeterminada sobre la superficie de espejo, por ejemplo en el punto central. La desviación de la posición de la reflexión del objetivo de la posición predeterminada sobre la superficie de espejo se puede usar luego para controlar así la aeronave hasta que la reflexión del objetivo está dispuesta sobre la posición deseada o dentro de un rango de desviación de la posición deseada. De esta manera el posicionamiento fino de la reflexión del objetivo sobre la superficie de espejo se puede realizar de manera muy sencilla y exacta.

Preferentemente está previsto que el objetivo esté configurado como un patrón o una forma característica en la aeronave. De esta manera se puede determinar no sólo la posición de la reflexión del objetivo, sino también eventualmente una orientación. De este modo se puede realizar de forma más sencilla un control de la aeronave para alcanzar la posición predeterminada de la reflexión del objetivo, dado que mediante el patrón se puede reconocer mejor en qué dirección es necesario un movimiento de la aeronave. Además, mediante los patrones o formas características se pueden determinar de modo y manera sencillos errores de forma en la superficie de espejo. Para ello se remite, por ejemplo, al procedimiento descrito en el documento EP 1 717 568 A2.

En un ejemplo de realización preferido de la invención, está previsto que el objetivo se componga de varias fuentes de luz que están dispuestas preferentemente en un patrón. La previsión de fuentes de luz como objetivo tiene la ventaja de que el procedimiento se puede realizar independientemente de la luz ambiental. Por ejemplo, el procedimiento se puede realizar de noche. Las luminarias pueden ser, por ejemplo, LEDs o una fuente de luz láser. También existe la posibilidad de que las fuentes de luz estén provistas de diferentes colores, por lo que en una situación en la que sólo se refleja una parte del objetivo de la superficie de espejo, se puede reconocer más rápidamente la fuente de luz de la que se realiza la reflexión. Las varias fuentes de luz pueden estar dispuestas, por ejemplo, en una forma circular o en una matriz. También es posible una disposición triangular. Evidentemente también existe la posibilidad de que el objetivo sólo presenta una fuente de luz, debiéndose posicionar la reflexión de la fuente de luz en una posición predeterminada en este ejemplo de realización.

En el procedimiento según la invención también puede estar previsto que varios heliostatos se midan uno tras otro. Para ello puede estar previsto que en la aeronave se predetermine un plan de vuelo y se ponga rumbo sucesivamente a los heliostatos. A este respecto, puede estar previsto que dentro de un plan de vuelo se ponga rumbo sucesivamente a varios

heliostatos con longitud focal igual o similar. De este modo se evita que la aeronave deba efectuar grandes cambios de altura entre dos heliostatos, a fin de llegar a los heliostatos en el rango de distancia deseado. De este modo es posible una medición muy rápida de varios heliostatos.

5

Como aeronave se pueden usar así denominados drones. Por ejemplo, la aeronave puede ser un cuadricóptero o un octocóptero. Las aeronaves de este tipo han resultado ser especialmente ventajosas, en particular en referencia a la estabilidad de vuelo.

10 El procedimiento según la invención tiene la ventaja de que se puede realizar una medición de los heliostatos de forma muy rápida y con precisión muy elevada. El procedimiento se puede utilizar, por ejemplo, para la caracterización inicial de compensación y seguimiento de heliostatos directamente tras la construcción de heliostatos individuales del campo de heliostatos. De este modo éstos pueden estar completamente a disposición rápidamente
15 tras la construcción. El procedimiento también se puede utilizar para el control posterior del estado de calibración de zonas mayores del campo de heliostatos o de todos los campos de heliostatos.

El procedimiento según la invención se puede desarrollar, por ejemplo, según se describe a
20 continuación:

A partir del estado de funcionamiento de la central solar de torre central se deriva un estado de consigna del heliostato, a partir del que se determina la dirección ideal del vector normal. En este caso se trata de magnitudes teóricas.

25

Partiendo de esta posición del heliostato se calcula la posición inicial, en la que debería estar visible una reflexión de la aeronave o del objetivo de la aeronave en el reflector. Aquí se selecciona habitualmente la posición inicial con el aumento máximo de la reflexión, que se sitúa a una distancia del doble de la longitud focal del heliostato.

30

La aeronave navega a continuación de forma controlada a través de un reconocimiento de posición, por ejemplo, a través de un GPS, a la posición. Si la cámara está dispuesta en la aeronave, ésta se orienta hacia el heliostato y se examina a través de una evaluación de imágenes, que se realizar por ejemplo a bordo, si la aeronave ve su propia imagen
35 especular o la imagen especular del objetivo. Si no se puede reconocer una reflexión sobre

la superficie de espejo, la aeronave comienza a circular de forma espiral alrededor de la dirección ideal del vector normal, hasta que la cámara detecta una reflexión del objetivo.

5 Con la ayuda de la información de imagen de las imágenes tomadas se puede controlar ahora la aeronave de forma dirigida, de modo que la reflexión del objetivo se sitúe de forma centrada en la superficie de espejo.

10 La posición actual de la aeronave o del objetivo se almacena. Por esto se puede determinar la orientación del heliostato y por consiguiente el eje óptico a través de la posición del heliostato.

15 Para el procedimiento según la invención se usa una aeronave que presenta junto a un accionamiento un objetivo. Además, la aeronave puede poseer una cámara que está fijada preferentemente de forma móvil en la aeronave. La aeronave puede presentar un control que presenta un software de procesamiento de imágenes para el procesamiento de las imágenes tomadas mediante la cámara. El objetivo puede estar configurado, por ejemplo, como objetivo activo y presentar al menos una fuente de luz. Preferentemente están previstas varias fuentes de luz, por ejemplo LEDs, que pueden presentar diferentes colores. Por ejemplo, las fuentes de luz pueden estar dispuestas en una matriz.

20 A continuación se explica más en detalle el procedimiento según la invención en referencia a las imágenes siguientes.

Muestran:

25 Figura 1 una disposición esquemática de un heliostato con la aeronave durante la realización de una forma de realización del procedimiento según la invención,

Figura 2 una vista esquemática de la superficie de espejo del heliostato con objetivo parcialmente visible, y

30

Figura 3 una disposición esquemática de un objetivo activo.

35 En referencia a las figuras 1-3 se explica el procedimiento según la invención. En la fig. 1 está representado esquemáticamente un heliostato 1 de un campo de heliostatos de una central solar de torre central. El heliostato 1 presenta un reflector con una superficie de espejo 5. La superficie de espejo 5 del heliostato posee un punto central M con un vector

normal real N_{real} . Además, existen informaciones sobre un vector normal teórico N_{theo} , que se deduce de la construcción del heliostato 1. Los vectores normales N_{real} y N_{theo} se desvían ligeramente uno de otro, lo que se produce debido a inexactitudes de fabricación. Con fines ilustrativos, en la fig. 1 está representada una desviación muy exagerada.

5

Una aeronave 9 con el objetivo 11 dispuesto en la aeronave 9 se posiciona en una posición inicial P. A este respecto, el objetivo 11 se sitúa preferentemente en la posición inicial P. La posición inicial P puede estar dispuesta, por ejemplo, según está representado en la fig. 1, sobre el vector normal teórico N_{theo} a una distancia de $2f$ de la superficie de espejo 5. Con esta distancia, una reflexión del objetivo 11 sobre la superficie de espejo 5 tiene el máximo tamaño. Mediante una cámara 13 que, por ejemplo, puede estar dispuesta igualmente en la aeronave 9, se toma una imagen de la superficie de espejo 5 del heliostato 1. Cuando no se puede reconocer una reflexión del objetivo 11 y de toda la aeronave 9 sobre la superficie de espejo 5, la aeronave 9 se controla a lo largo de un patrón de vuelo. El patrón de vuelo 15 está indicado esquemáticamente en la fig. 1 por una flecha correspondiente. El patrón de vuelo 15 se puede realizar de forma espiral alrededor del vector normal teórico N_{theo} . Al volar según el patrón de vuelo 15 la cámara 13 toma continuamente imágenes de la superficie de espejo 5. Éstas se evalúan a través de una unidad de evaluación propia a bordo, no representada, de la aeronave 9. En cuanto es visible una reflexión del objetivo 11 o de la aeronave 9 por la cámara 13 en la superficie de espejo 5 se interrumpe o cesa el patrón de vuelo 15.

En la fig. 2 está representada una vista en planta de la superficie de espejo 5 del heliostato 1 de la fig. 1. Una reflexión 11' del objetivo 11 se ve en la superficie de espejo 5. Mediante una evaluación de imágenes se determinan las esquinas 17 de la superficie de espejo 5. Mediante esta información se puede determinar la desviación de la reflexión 11' del objetivo 11 de una posición predeterminada, que en el ejemplo de realización representado es el punto central M. Además, la aeronave se puede controlar de modo que la reflexión 11' del objetivo 11 aparezca en la posición predeterminada. Ahora el objetivo 11 se sitúa sobre el vector normal real o con una desviación aceptable en la zona del vector normal real. Las imágenes tomadas ahora se usan como imágenes de evaluación. Mediante un almacenamiento de la posición de la aeronave o del objetivo 11 se puede calcular a partir de ello el vector normal real.

Para la determinación del eje óptico del heliostato no se debe determinar necesariamente el vector normal en el punto central M de la superficie de espejo 5. También existe la

posibilidad de determinar una multiplicidad de vectores normales N a partir de varias imágenes de evaluación y efectuar una promediación.

El objetivo 11 también puede estar configurado como un así denominado objetivo activo.

5 Una configuración correspondiente está representada esquemáticamente en la fig. 3. El objetivo se compone en esta forma de realización por varias fuentes de luz en forma de lámparas LED. En el ejemplo de realización representado en la fig. 3 están previstas nueve lámparas LED 19, que están dispuestas en una matriz. A este respecto, las lámparas LED 19 poseen diferentes coloraciones. Las lámparas LED 19a poseen, por ejemplo, el color rojo, las lámparas 19b, por ejemplo, el color verde y las lámparas LED 19c, por ejemplo, el color azul. De esta manera, durante la toma de la imagen se puede determinar la superficie de espejo de manera ventajosa, respecto a la reflexión de que lámparas se pueden ver en la imagen tomada, de modo que se puede determinar una orientación del objetivo 11. Por consiguiente se puede determinar de modo y manera sencillos y muy exactamente en qué dirección debe volar la aeronave 9 para alcanzar la posición deseada.

La determinación de las posiciones de los elementos individuales se realiza en un sistema de coordenadas global. Por consiguiente el punto central M de la superficie de espejo está en el mismo sistema de coordenadas que el objetivo 11. Durante la determinación de la posición del objetivo 11 se puede realizar una evaluación de imágenes de las imágenes tomadas, en tanto que en la imagen se detectan marcas cuyas posiciones se conocen. También existe la posibilidad de determinar una determinación de posición a través de un sensor de navegación dispuesto en la aeronave 9, por ejemplo, un sensor de navegación por satélite. Por la construcción de la aeronave 9 se conoce la disposición del objetivo 11 en referencia al receptor de navegación no representado, de modo que la posición real del objetivo 11 se puede calcular de modo y manera sencillos. También se puede determinar la posición de la cámara 13 de esta manera, de modo que se puede determinar y tener en cuenta la dirección de captación de la cámara 13. De este modo es posible una medición especialmente exacta.

30

En el procedimiento según la invención se puede medir un heliostato de modo y manera sencillos y muy rápidamente. Esto se puede realizar independientemente de la posición del sol y disponibilidad de la radiación solar directa y se puede realizar en pocos minutos. El procedimiento se puede usar para una caracterización de compensación y seguimiento de heliostatos, que se puede usar para una calibración del control del heliostato. Esto se puede realizar inicialmente antes de la puesta en funcionamiento del heliostato. No obstante, el

35

procedimiento también se puede usar para un control rápido del estado de calibración del heliostato en un instante posterior.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la medición de heliostatos (1) de un campo de heliostatos de una central solar de torre central que presenta varios heliostatos (1), en el que los heliostatos (1) presentan respectivamente al menos un reflector (3) que presenta una superficie de espejo (5) con las siguientes etapas:
- posicionamiento de una aeronave (9) controlable por encima del campo de heliostatos en una posición inicial (P) predeterminada,
 - movimiento de la aeronave (9) según un patrón de vuelo (15) predeterminado y toma simultánea de imágenes de un heliostato (1) o de varios heliostatos mediante una cámara (13) en un intervalo de tiempo predeterminado, evaluándose las imágenes,
 - generación de al menos una imagen de evaluación de una reflexión (11') de un objetivo (11) formado por la aeronave (9) o una parte de la aeronave (9) sobre la superficie de espejo (5) del al menos un reflector (3) del heliostato (1) y determinación de la posición del objetivo (11) en referencia al al menos un reflector (3),
 - evaluación de la al menos una imagen de evaluación para la determinación de al menos un vector normal (N) de la superficie de espejo (5) mediante la posición del objetivo (11), determinándose el eje óptico del heliostato (1) a través del al menos un vector normal (N) y/o determinándose el error de forma de la superficie de espejo (5).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la generación de la al menos una imagen de evaluación se realiza a través de una selección de las imágenes tomadas, en tanto que en las imágenes tomadas se reconoce al menos una parte del objetivo (11) como reflexión (11') sobre la superficie de espejo (5) del al menos un reflector del heliostato (1).
3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** durante la generación de la al menos una imagen de evaluación, al reconocer una parte del objetivo (11) como reflexión (11') sobre la superficie de espejo del al menos un reflector (3) de un heliostato se interrumpe el patrón de vuelo (15), la aeronave (9) se controla hasta que la reflexión (11') del objetivo (11) está dispuesta en una posición predeterminada sobre la superficie de espejo (5) y mediante la cámara (13) se toma al menos una imagen de

evaluación de la reflexión (11') del objetivo (11) sobre la superficie de espejo (5) del al menos un reflector.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado**
5 **porque** la cámara (13) está dispuesta en la aeronave (9).

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado**
porque la posición inicial (P) está dispuesta en un eje óptico teórico (N_{real}) de un o del
10 heliostato (1).

6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado porque** el patrón de
vuelo (15) contiene una forma espiral alrededor de un eje óptico teórico (N_{real}) del heliostato
(1).

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado**
porque en un campo de heliostatos con heliostatos cuyos reflectores presentan
respectivamente una longitud focal f , la posición inicial (P) está dispuesta a una distancia
entre f y $2f$ de la superficie de espejo (5) de un heliostato (1).

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado**
porque la evaluación de la al menos una imagen de evaluación para la determinación del al
menos un vector normal (N) de la superficie de espejo (5) se realiza offline o durante el
funcionamiento de la aeronave (9).

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado**
porque durante la toma de imágenes se fotografían varias superficies de espejo (5) de
heliostatos (1) adyacentes.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 3 a 9, **caracterizado**
30 **porque** la aeronave (9) se controla durante la generación de la imagen de evaluación a
través de una evaluación de imágenes, realizándose la evaluación de las imágenes en una
unidad de cálculo en la aeronave (9) o tras la transmisión inalámbrica a una unidad de
cálculo externa.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado**
35 **porque** durante la determinación de la posición del objetivo (11) en referencia al al menos

un reflector (3) se determina la posición del objetivo (11) y la posición del reflector (3) en un sistema de coordenadas común.

5 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado porque** durante la determinación de la posición del objetivo (11) en referencia al al menos un reflector (3) se realiza la determinación de la posición del objetivo (11) a través de navegación por satélite o mediante una evaluación de imágenes y la determinación de la posición del reflector (3) se realiza a través de una especificación de la construcción del campo de heliostatos o mediante una evaluación de imágenes.

10

13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 12, **caracterizado porque** durante la evaluación de las imágenes para el control de la aeronave (9) mediante las imágenes evaluadas se determinan la posición de la reflexión (11') del objetivo (11) sobre la superficie de espejo (5) y las características distintivas del reflector (3) fotografiado.

15

14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado porque** el objetivo (11) está configurado como un patrón o una forma característica en la aeronave (9).

20

15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado porque** el objetivo (11) se compone de varias fuentes de luz (19).

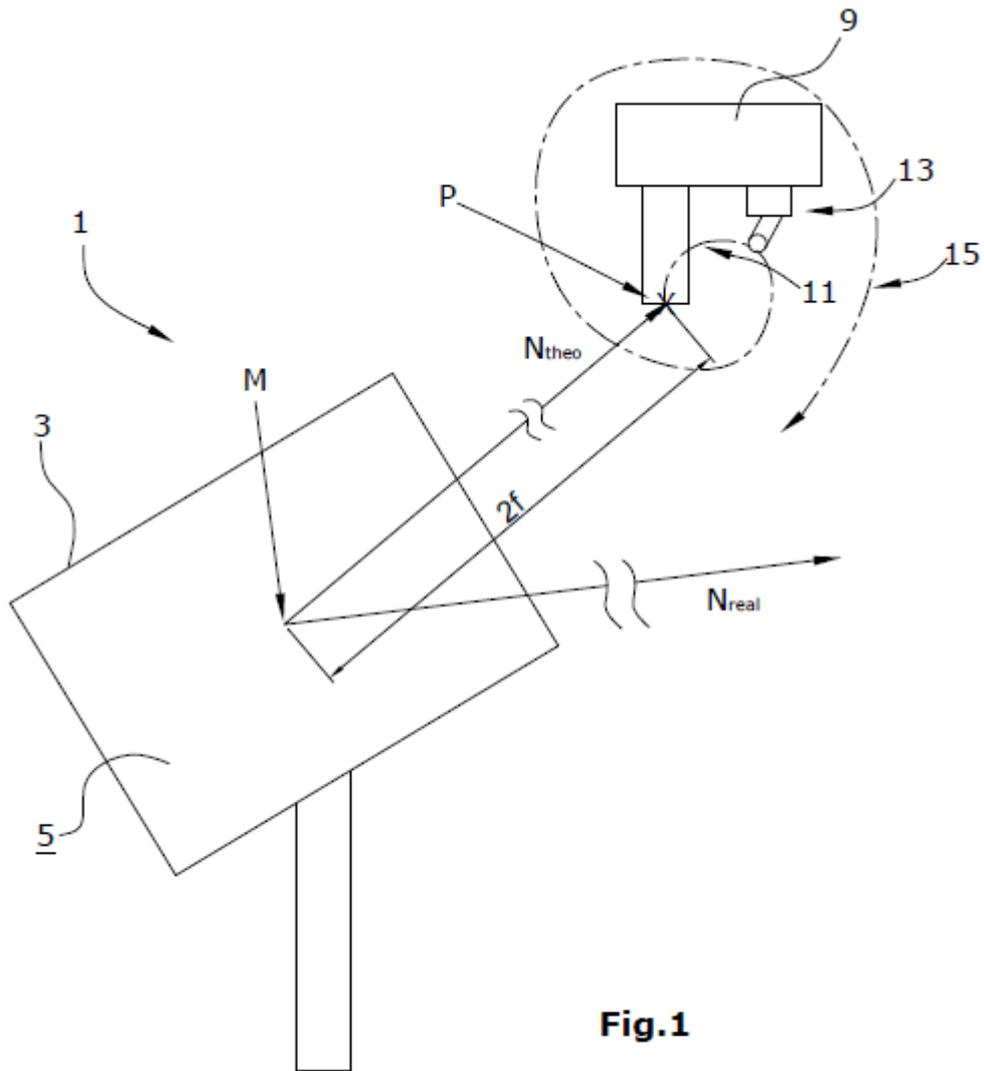


Fig.1

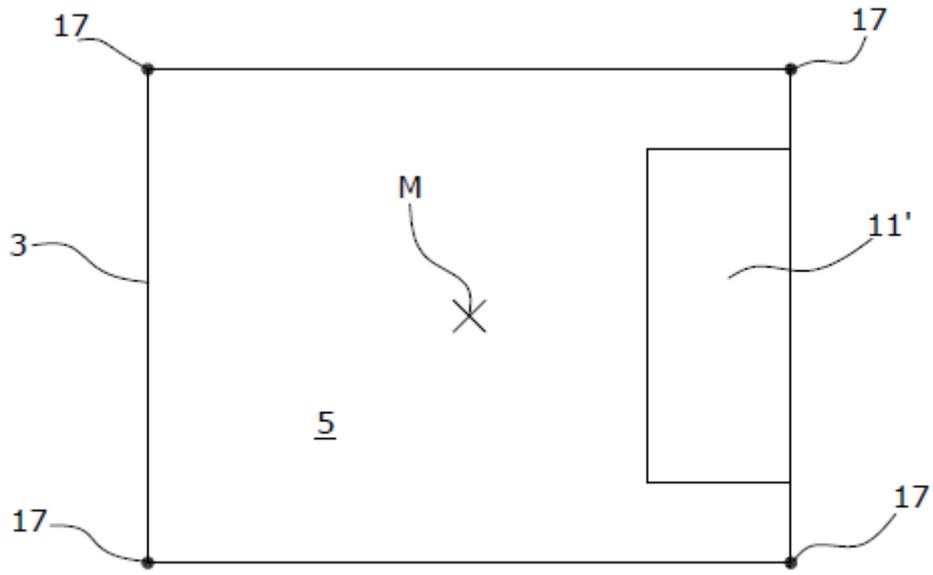


Fig. 2

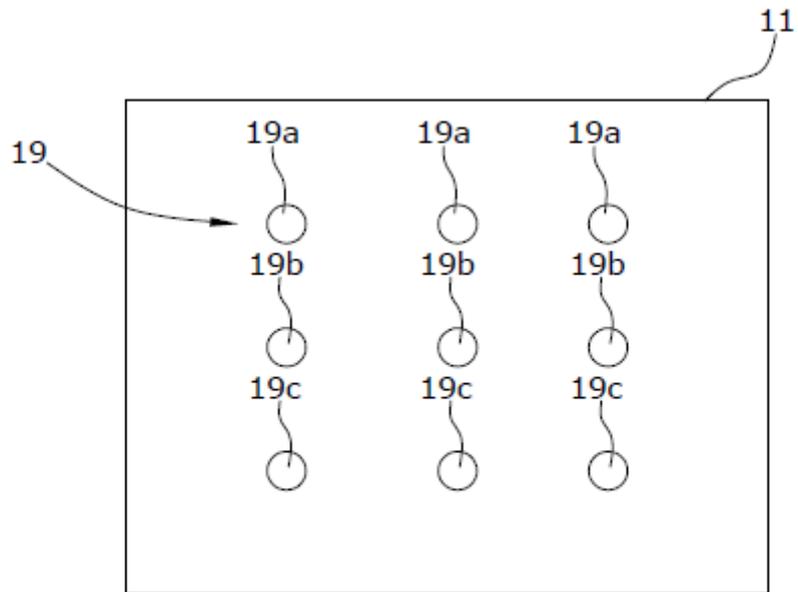


Fig. 3