

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 891 178**

21 Número de solicitud: 202030725

51 Int. Cl.:

F24S 50/20 (2008.01)

F24S 23/77 (2008.01)

G01S 3/786 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

14.07.2020

43 Fecha de publicación de la solicitud:

26.01.2022

Fecha de concesión:

20.05.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

27.05.2022

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.0%)
Av. Gregorio Peces Barba, 1
28919 Leganés (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**SÁNCHEZ GONZÁLEZ, Alberto y
CASTILLO MONTOYA, José Carlos**

54 Título: **Procedimiento y sistema para alinear las facetas de un heliostato de un campo solar**

57 Resumen:

La invención describe un método para alinear las facetas de un heliostato de un campo solar, donde un heliostato objeto (HO) está situado detrás de un heliostato de referencia (HR). El método comprende: orientar los heliostatos objeto (HO) y de referencia (HR) de manera que están enfrentados uno a otro; obtener, mediante un dispositivo de adquisición de imágenes (DAI) fijado a una cara posterior de una faceta de referencia (FR) del heliostato de referencia (HR), una imagen que contiene al menos dicha faceta de referencia (FR) reflejada en al menos una faceta objeto (FO); comparar unas características de la faceta de referencia (FR) en la imagen (1) obtenida con unas características teóricas correspondientes a un alineamiento correcto de la faceta objeto (FO); y corregir el alineamiento de la faceta objeto (FO) de manera que se eliminan los errores determinados. También se describe un heliostato diseñado para llevar a cabo dicho procedimiento.

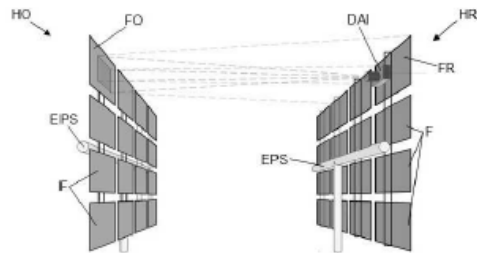


FIG. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 891 178 B2

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para alinear las facetas de un heliostato de un campo solar

5 OBJETO DE LA INVENCION

Un primer objeto de la presente invención es un procedimiento para alinear las facetas de un heliostato de un campo solar de una manera sensiblemente más sencilla, precisa y económica que los sistemas de la técnica anterior.

10

Un segundo objeto de la presente invención es un sistema diseñado para llevar a cabo el procedimiento anterior.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15

En las plantas solares de torre, miles de espejos seguidores (heliostatos) concentran la radiación solar en un receptor para producir electricidad. Un heliostato comercial se compone de una matriz de pequeños espejos (de en torno a 2 m² cada uno), llamados facetas. Estas facetas deben estar correctamente regladas (alineadas, según la terminología habitual), lo cual implica dos operaciones: canteo (orientación) y enfoque (curvatura). El alineamiento se realiza tanto en la puesta en marcha como durante la operación de la planta, dado que las facetas tienden a desajustarse con el paso del tiempo. El alineamiento de los heliostatos (canteo y enfoque) tiene un gran impacto en la eficiencia del campo de heliostatos y, consecuentemente, en el rendimiento global de la planta. Un error de alineamiento en estos heliostatos de tan sólo 2 mrad produce alrededor de un 30% de pérdidas en la producción energética anual de un planta.

20

25

Actualmente existen diversas técnicas para alinear las facetas de los heliostatos que se pueden clasificar en tres categorías principales: on-sun, mecánicas y ópticas.

30

En las técnicas on-sun se realiza un ajuste manual mientras el heliostato sigue al sol. Este ajuste se realiza faceta a faceta, visualizando y corrigiendo (ensayo-error) la posición del haz de luz en una zona de calibración localizada en la torre. El ajuste on-sun es muy poco preciso y requiere mucho tiempo, por lo que no es efectivo.

35

Las técnicas mecánicas hacen uso de inclinómetros o calibres para corregir la orientación de

las facetas mientras el heliostato se encuentra en posición horizontal. Los elevados tiempos que ello conlleva, así como los medios necesarios (al menos tres operarios y una grúa), de nuevo hacen a esta técnica poco competitiva.

5 Por último, las técnicas ópticas pueden clasificarse fundamentalmente en seis tipos: basadas en haz láser, camera look-back, fotogrametría, deflectometría, fluxometría y reflexión de un objeto (HFACET):

10 - Los métodos basados en haz laser, aplicados en la National Solar Thermal Test Facility, son muy precisos pero viables sólo en condiciones de laboratorio.

15 - El método llamado camera look-back se basa en ver con una cámara su propio reflejo en cada faceta. Este método se ha demostrado preciso pero, además de requerir mucho tiempo de ejecución, depende en buena medida de aspectos externos como la precisión del sistema de seguimiento del heliostato.

20 - Los métodos fotogramétricos parten de una serie de imágenes tomadas de un heliostato con marcas en sus facetas, empleándose la fotogrametría para obtener la orientación (canteo) y el perfil (enfoque) de las facetas. De nuevo, este método requiere bastante tiempo y su precisión no es excesivamente alta (hasta 1,6 mrad), debido, entre otros motivos, al uso de teleobjetivos.

25 - En los métodos basados en deflectometría (fringe reflection), un patrón de franjas sinusoidal es reflejado por un heliostato y visto por una cámara. Matemáticamente se obtiene la normal en cada punto del espejo/faceta, por lo que básicamente es útil para analizar el enfoque de las facetas. Si bien se han desarrollado herramientas comerciales basadas en deflectometría, como por ejemplo el software AIMFAST-SOFAST, este método sólo es viable en condiciones controladas de laboratorio y no resulta útil en la detección de errores de canteo.

30 - En los métodos basados en fluxometría, se parte de una serie de imágenes en el blanco de la distribución de luz producida por un heliostato a lo largo del día, y se determinan los errores de canteo mediante un algoritmo de optimización aplicado sobre una herramienta de cálculo de la distribución de flujo.

35 - La metodología basada en la reflexión de un objeto utiliza una cámara con

5 teleobjetivo situada en lo alto de la torre y que mira hacia un heliostato, el cual refleja otro objeto de dimensiones conocidas. Mediante comparación de lo observado con lo que debería ver la cámara si el heliostato estuviese correctamente alineado, se detectan los errores de canteo. La implementación comercial de esta técnica se conoce como HFACET. En su versión actual, HFACET sólo permite la detección de errores de canteo y su precisión no es muy elevada debido a la elevada distancia entre el heliostato y la cámara.

10 Sin embargo, estas técnicas conocidas presentan diversos inconvenientes, tales como la gran cantidad de tiempo que requieren, su imprecisión, o bien el hecho de ser útiles únicamente en condiciones ideales de laboratorio. Por tanto, existe en este campo de la técnica una necesidad de técnicas de alineamiento de heliostatos más rápidas, sencillas y económicas.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

15 La presente invención describe un nuevo procedimiento para alinear las facetas de un heliostato de un campo solar de una manera más rápida y sencilla que mediante las técnicas actualmente conocidas. Fundamentalmente, el nuevo procedimiento está basado en la fijación de un medio de adquisición de imágenes a la estructura posterior de soporte de un heliostato de referencia y en la adquisición de imágenes de un heliostato objeto ubicado inmediatamente detrás del heliostato de referencia. La posición en la imagen obtenida de determinados elementos del heliostato de referencia reflejados por las facetas del heliostato objeto permiten determinar si existe desalineamiento en el heliostato objeto y, en ese caso, cuantificar dicho desalineamiento para llevar a cabo la correspondiente corrección.

25 Este método es mucho más sencillo que los métodos similares conocidos en la técnica basados en la disposición de una cámara en la porción superior de la torre. Además, gracias que la distancia entre el medio de adquisición de imágenes y el heliostato objeto se reduce enormemente, se obtiene una gran mejora en la precisión.

30 Un primer aspecto de la presente invención describe un método para alinear las facetas de un heliostato de un campo solar que comprende al menos un heliostato de referencia y un heliostato objeto, donde el heliostato objeto está situado detrás del heliostato de referencia. En este contexto, el término “*detrás*” debe interpretarse tomando como referencia la dirección principal de reflexión en dirección a la torre hacia la que se orientan todos los heliostatos del campo solar. Es decir, el heliostato objeto está más alejado de la torre del campo solar que el

heliostato de referencia. Del mismo modo se interpretan los términos “*frontal*” y “*posterior*”: la superficie frontal de un heliostato o de sus facetas se refiere a la superficie reflectante orientada hacia el lado donde se encuentra la torre del campo solar; la superficie posterior de un heliostato o de sus facetas se refiere a la superficie no reflectante orientada en sentido opuesto al lado donde está la torre. El método comprende principalmente los siguientes pasos:

- Orientación inicial de los heliostatos

En primer lugar, se orientan el heliostato objeto y el heliostato de referencia de manera que una superficie frontal del heliostato objeto está enfrentada a una superficie posterior del heliostato de referencia. Es decir, ambos heliostatos se disponen en paralelo de forma que la cara frontal reflectante de las facetas del heliostato objeto está orientada hacia la cara posterior no reflectante de las facetas del heliostato de referencia. Para llevar a cabo esta orientación, basta con emplear el mecanismo de orientación convencional del que disponen todos los heliostatos.

Por ejemplo, en un campo solar donde el desnivel del terreno es pequeño, la orientación de los heliostatos objeto y de referencia es tal que su ángulo de elevación es 0° y su ángulo azimutal es igual al azimut relativo de ambos heliostatos.

- Obtención de la imagen de la faceta de referencia

A continuación, mediante un dispositivo de adquisición de imágenes fijado a la cara posterior de una faceta de referencia del heliostato de referencia y orientado hacia el heliostato objeto, se adquiere una imagen que contiene al menos la faceta de referencia del heliostato de referencia reflejada en al menos una faceta objeto del heliostato objeto.

La fijación del dispositivo de adquisición de imágenes puede realizarse en el momento de realizar el proceso de alineamiento, o bien el propio heliostato de referencia puede comprender varios dispositivos de adquisición de imágenes instalados de forma fija en las posiciones requeridas. En cualquier caso, la imagen adquirida es una fotografía digital donde se aprecia la cara posterior de la faceta de referencia del heliostato de referencia, así como el propio dispositivo de adquisición de imágenes fijado a dicha faceta de referencia, reflejados en la cara frontal reflectante de una o varias facetas objeto del heliostato objeto.

Nótese que, en función de características geométricas de los heliostatos, tales como la distancia entre el heliostato objeto y el heliostato de referencia o el tamaño de las facetas, la imagen obtenida mediante el dispositivo de adquisición de imágenes puede
5 contener varias facetas objeto en las que se ve reflejada la faceta de referencia. En dicha imagen, cada una de las facetas objeto muestra el reflejo de la faceta de referencia donde está dispuesto el dispositivo de adquisición de imágenes. Esta configuración permite realizar el proceso de alineamiento de una manera más rápida, ya que la adquisición de una única imagen permite alinear varias facetas objeto. Para
10 ello, los pasos que se describen más adelante en este documento pueden realizarse de manera secuencial o paralela para cada una de dichas facetas objeto.

El dispositivo de adquisición de imágenes puede ser de cualquier tipo siempre que permita obtener las imágenes descritas con una calidad suficiente como para llevar a
15 cabo el método de la invención. Por ejemplo, normalmente se emplea una cámara fotográfica digital de características esencialmente similares a aquellas empleadas para llevar a cabo los métodos de la técnica anterior. Además, nótese que no es imprescindible que el dispositivo de adquisición de imágenes esté fijado directamente a la propia cara posterior de la faceta de referencia, sino que podría estar fijado a
20 cualquier estructura, bastidor, refuerzo, o en general cualquier elemento rígido y resistente ubicado sobre la cara posterior de la faceta de referencia.

Además, la fijación del dispositivo de adquisición de imágenes puede llevarse a cabo de cualquier modo siempre que sea suficientemente firme y segura. Por ejemplo, la
25 fijación del dispositivo de adquisición de imágenes a la faceta de referencia podría estar realizada a través de un medio de anclaje dotado de un elemento de fijación a la cara posterior de la faceta de referencia y de un elemento de acoplamiento del dispositivo de adquisición de imágenes.

30 En caso de que se utilice un único dispositivo de adquisición de imágenes que se fija sucesivamente a las diferentes facetas a alinear, el elemento de fijación a la cara posterior de la faceta de referencia podrá acoplarse y desacoplarse de una manera rápida y cómoda. En ese caso podrían utilizarse, por ejemplo, ventosas para su acoplamiento a la propia cara posterior de la faceta de referencia, o bien abrazaderas
35 para su acoplamiento a una estructura posterior de soporte del heliostato de referencia. En otras posibilidades, el elemento de fijación puede comprender cualquiera de entre

pernos, tornillos, fijaciones a presión, fijaciones deslizantes, fijaciones de tipo cola de milano, adhesivos, etc. Por el contrario, si el heliostato de referencia dispone de una pluralidad de dispositivos de adquisición de imágenes fijados permanentemente a la cara posterior de las respectivas facetas de referencia, el elemento de fijación podrá tener un carácter definitivo, como por ejemplo mediante soldadura.

El elemento de acoplamiento del dispositivo de adquisición de imágenes puede también adoptar cualquier forma adecuada, incluyendo fijaciones a presión, deslizantes, atornilladas, etc. Además, el medio de anclaje puede comprender una rótula a la que se acopla directa o indirectamente el dispositivo de adquisición de imágenes, de modo que se facilita la orientación de dicho dispositivo de adquisición de imágenes hacia la posición deseada del heliostato objeto.

- Comparación de la imagen con objetivo

Después, se comparan unas características de la faceta de referencia en la imagen obtenida con unas características teóricas de la faceta de referencia correspondientes a un alineamiento correcto de la faceta objeto. De ese modo, se determinan los errores de alineamiento de la faceta objeto.

Es decir, gracias a un proceso de calibración previo, se conoce cuáles son las características teóricas que debe tener en la imagen la reflexión de la faceta de referencia en la faceta objeto. En este paso, se comparan las características de la faceta de referencia presente en la imagen con las correspondientes características teóricas objetivo y, mediante métodos de análisis conocidos en la técnica, se determinan los errores de alineamiento de la faceta objeto. Más concretamente, en este paso del procedimiento, se determinan cambios en la posición, forma, tamaño, etc. de las características determinadas, y a partir de dichos cambios se deducen los errores de alineamiento de la faceta objeto.

En realizaciones preferidas de la presente invención, las características se determinan empleando al menos uno de entre los siguientes métodos: SIFT (Scale Invariant Feature Transform), SURF (Speeded Up Robust Features), o aprendizaje automático. También, pueden utilizarse características sencillas tales como al menos uno de entre líneas, lados, bordes o esquinas de la faceta de referencia. En este último caso, por ejemplo, la comparación podría implicar determinar los cambios en la posición de

determinados bordes o esquinas de la faceta de referencia con relación a su posición teórica objetivo.

5 Como se ha mencionado con anterioridad en este documento, en caso de que la imagen obtenida contenga más de una faceta objeto, este paso se puede realizar paralela o secuencialmente para cada una de dichas facetas objeto.

- Corrección del alineamiento de la faceta objeto

10 Por último, se corrige el alineamiento de la faceta objeto de manera que se eliminan los errores de alineamiento determinados. Como es generalmente conocido en la técnica, el alineamiento de las facetas de un heliostato incluye fundamentalmente dos operaciones diferenciadas: orientación (normalmente denominado “*canteo*”) y enfoque.

15 La corrección puede realizarse de manera manual, en cuyo caso personal especializado utiliza medios conocidos para modificar la orientación y el enfoque de la faceta objeto de acuerdo con los parámetros determinados en el paso anterior.

20 Alternativamente, la corrección puede llevarse a cabo de manera automática. Para ello, el heliostato objeto puede disponer de unos medios motorizados de fijación que conectan la faceta objeto a una estructura posterior de soporte del heliostato objeto, en cuyo caso la corrección se realiza simplemente accionando adecuadamente dichos medios motorizados de fijación. Estos medios motorizados de fijación pueden
25 comprender un cuerpo fijado a la estructura posterior de soporte y un cilindro extraíble cuyo extremo está fijado a la faceta en cuestión. Mediante la disposición de al menos dos de dichos medios motorizados de fijación en lados contiguos de la faceta, es posible modificar el alineamiento de dicha faceta simplemente accionando uno u otro de ellos.

30 Como se puede apreciar, este procedimiento es mucho más rápido y sencillo que los procedimientos de la técnica anterior. Para llevar a cabo el alineamiento de las facetas objeto, se utiliza el dispositivo de adquisición de imágenes para adquirir una imagen de al menos una faceta objeto desde la correspondiente posición tras la faceta de referencia. Para ello, puede
35 utilizarse un único dispositivo de adquisición de imágenes que se va fijando sucesivamente a las facetas de referencia en cuestión, o bien el propio heliostato de referencia puede disponer

de una pluralidad de dispositivos de adquisición de imágenes fijados a las respectivas facetas de referencia de manera permanente. Además, también es posible que la imagen adquirida muestre el reflejo de al menos una faceta de referencia en varias facetas objeto. A continuación, se comparan unas características de la imagen de la faceta de referencia en la reflexión de la faceta objeto con características de la faceta de referencia correspondientes a una imagen teórica donde la faceta objeto está perfectamente orientada. Finalmente, se corrige el alineamiento de la faceta objeto en función del resultado de dicha comparación. El posicionamiento del medio de adquisición de imágenes en los propios heliostatos es mucho más conveniente que en el extremo de la torre del campo solar, lo que permite ganar en tiempo y sencillez.

Además, la invención se extiende igualmente a los programas de ordenador, particularmente los programas de ordenador dispuestos sobre o dentro de una portadora, adaptados para llevar a la práctica el paso descrito anteriormente de comparar unas características de la faceta de referencia en la imagen obtenida con unas características teóricas de la faceta de referencia correspondientes a un alineamiento correcto de la faceta objeto para determinar los errores de alineamiento de la faceta objeto. El programa puede tener la forma de código fuente, código objeto, una fuente intermedia de código y código objeto, por ejemplo, como en forma parcialmente compilada, o en cualquier otra forma adecuada para uso en la puesta en práctica de los procesos según la invención.

El programa puede estar incorporado en un medio de almacenamiento, como por ejemplo, una memoria ROM, una memoria CD ROM o una memoria ROM de semiconductor, o un soporte de grabación magnética, un disco flexible, o un disco duro.

Alternativamente, el programa puede estar incorporado en una portadora. La portadora puede ser cualquier entidad o dispositivo capaz de soportar el programa. Por ejemplo, la portadora puede ser una portadora transmisible, como una señal eléctrica u óptica que podría transportarse a través de cable eléctrico u óptico, por radio o por cualesquiera otros medios. Cuando el programa va incorporado en una señal que puede ser transportada directamente por un cable u otro dispositivo o medio, la portadora puede estar constituida por dicho cable u otro dispositivo o medio. Como variante, la portadora podría ser un circuito integrado en el que va incluido el programa, estando el circuito integrado adaptado para ejecutar, o para ser utilizado en la ejecución de, los procesos correspondientes.

Un segundo aspecto de la presente invención está dirigido a un sistema configurado para

- llevar a cabo el método descrito anteriormente. Este sistema comprende un heliostato que, además, comprende una pluralidad de dispositivos de adquisición de imágenes fijados a la cara posterior de cada faceta. Cada dispositivo de adquisición de imágenes puede estar fijado a la respectiva faceta mediante un medio de anclaje como el descrito con anterioridad en este documento, y que fundamentalmente comprende un elemento de fijación a la cara posterior de la faceta y un elemento de acoplamiento del dispositivo de adquisición de imágenes. El medio de anclaje puede comprender además una rótula a la que está fijado el dispositivo de adquisición de imágenes.
- 5
- 10 En una realización particularmente preferida de la invención, el heliostato comprende además unos medios motorizados de fijación que fijan las facetas a la estructura posterior de soporte. Estos medios motorizados de fijación pueden ser similares a los descritos más arriba en este documento. A este respecto, nótese que el mismo heliostato puede comprender tanto los dispositivos de adquisición de imágenes como los medios motorizados de fijación, ya que el mismo heliostato puede funcionar como heliostato de referencia o como heliostato objeto según cuál sea la faceta objeto que se va a alinear.
- 15

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

- 20 La Fig. 1 muestra de manera esquemática un heliostato objeto y un heliostato de referencia en un campo solar.

- Las Figs. 2A-2C muestran respectivamente la imagen de un heliostato de referencia obtenida durante el procedimiento de la invención, la imagen teórica objetivo del heliostato de referencia, y ambas imágenes superpuestas.
- 25

La Fig. 3 muestra esquemáticamente el proceso de análisis de imagen del procedimiento de la presente invención.

- 30 La Fig. 4 muestra una vista lateral de un heliostato objeto y un heliostato de referencia dotado de un medio de adquisición de imágenes para llevar a cabo el procedimiento de la invención.

La Fig. 5 muestra una vista lateral de un heliostato objeto y un heliostato de referencia dotado de dos medios de adquisición de imágenes para llevar a cabo el procedimiento de la invención.

- 35 Las Figs. 6A y 6B muestran respectivamente una vista lateral de un heliostato objeto y un

heliostato de referencia dotado de un medio de adquisición de imágenes para llevar a cabo el procedimiento de la invención, y una representación de la imagen adquirida por el medio de adquisición de imágenes.

- 5 Las Figs. 7A y 7B muestran respectivamente una vista lateral y posterior de una faceta de un heliostato objeto dotado de medios motorizados de fijación.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

- 10 La Fig. 1 muestra dos heliostatos (HR, HO) dispuestos en hileras contiguas de un campo solar. El heliostato de referencia (HR) está ubicado en una hilera más cercana a la torre del campo solar, mientras que el heliostato objeto (HO) pertenece a una hilera subsiguiente situada detrás del heliostato de referencia (HR), es decir, más lejos de la torre del campo solar que el heliostato de referencia (HR). En otras palabras, el heliostato objeto (HO) está situado
15 detrás del heliostato de referencia (HR). Cada uno de los heliostatos (HR, HO) está formado por una estructura posterior de soporte (EPS) a la que están fijadas una pluralidad de facetas (F), que en este ejemplo concreto son cuadradas. Cada faceta (F) tiene una cara frontal reflectante orientada hacia el lugar en que se encuentra la torre del campo solar y una cara posterior no reflectante orientada en sentido opuesto al lugar donde se encuentra la torre del
20 campo solar.

Se va a describir aquí de manera simplificada el método de la presente invención aplicado al alineamiento de una faceta objeto (FO) ubicada en una esquina del heliostato objeto (HO). Para ello, un dispositivo de adquisición de imágenes (DAI) está fijado a la cara posterior de
25 una faceta de referencia (FR) ubicada en una posición del heliostato de referencia (HR) equivalente a aquella que ocupa la faceta objeto (FO) en el heliostato objeto (HO). Como se ha descrito con anterioridad en este documento, para ello puede utilizarse un único dispositivo de adquisición de imágenes (DAI) que se fija sucesivamente a una faceta de referencia (FR) correspondiente a cada faceta objeto (FO) que se va a alinear. Esta situación se muestra en
30 la Fig. 4, donde se utiliza un medio de anclaje (MA) para fijar la cámara a la faceta de referencia (FR). Alternativamente, como se aprecia en la Fig. 5, el propio heliostato de referencia (HR) puede disponer de un dispositivo de adquisición de imágenes (DAI) fijado a la cara posterior de cada faceta (F).

- 35 En cualquiera de los casos, el medio de anclaje (MA) puede comprender un elemento de fijación a la faceta de referencia (FR) y un elemento de acoplamiento del dispositivo de

adquisición de imágenes (DAI). El medio de anclaje (MA) mostrado en este ejemplo dispone además de una rótula sobre la cual está dispuesto el elemento de acoplamiento del dispositivo de adquisición de imágenes (DAI), lo que facilita la orientación de dicho dispositivo de adquisición de imágenes (DAI) en la dirección deseada.

5

Como dispositivo de adquisición de imágenes (DAI) se utiliza aquí una cámara digital de alta resolución. Esta cámara digital (DAI) está conectada a un medio de procesamiento, tal como un ordenador, tableta, teléfono inteligente, o en general cualquier dispositivo dotado de una potencia de procesamiento suficiente como para llevar a cabo el procedimiento de análisis de las imágenes obtenidas que se describe en este documento.

10

Los heliostatos objeto (HO) y de referencia (HR) se orientan de manera que la cara frontal del heliostato objeto (HO) está enfrentada a la cara posterior del heliostato de referencia (HR). Es decir, ambos heliostatos (HO, HR) se disponen de manera que son paralelos, lo que para el caso más común correspondiente a un terreno esencialmente llano implica disponerlos en su posición completamente vertical. En esta posición, la cara frontal de la faceta objeto (FO) está orientada en dirección a la cara posterior de la faceta de referencia (FR), de manera que un observador situado en la cara posterior de la faceta de referencia (FR) puede verse a sí mismo reflejado en la cara frontal reflectante de la faceta objeto (FO). En esta posición, se orienta la cámara (DAI) fijada a la faceta de referencia (FR) en dirección a la faceta objeto (FO). Así, cuando se adquiere una imagen (I), ésta muestra la propia cámara (DAI) y la faceta de referencia (FR) reflejadas en la cara frontal reflectante de la faceta objeto (FO).

15

20

Como se ha mencionado con anterioridad en este documento, la parte relativa al análisis de imagen del procedimiento de la presente invención puede realizarse de manera individual para cada faceta objeto (FO) o bien por grupos de facetas objeto (FO). El primer caso corresponde a una configuración en que la imagen (I) adquirida por la cámara (DAI) contiene únicamente una faceta objeto (FO) completa, como se muestra en las Figs. 2A-2C. El segundo caso corresponde a una configuración en que la imagen (I) adquirida por la cámara (DAI) abarca más de una faceta objeto (FO) completa. Esta situación se muestra en las Figs. 6A y 6B. Más concretamente, la Fig. 6B muestra cómo la imagen (I) abarca cuatro facetas objeto (FO_1 , FO_2 , FO_3 , FO_4) contiguas del heliostato objeto (HO). De este modo, el alineamiento se consigue de una manera aún más rápida y eficiente.

25

30

La Fig. 3 muestra de manera esquemática los principales pasos del proceso de análisis de las imágenes del procedimiento de la presente invención. El proceso de análisis de imagen se

35

divide en dos fases claramente diferenciadas. Por un lado el cálculo del modelo óptico, que proporciona información acerca de lo que debería ver la cámara (DAI) de un modo teórico y, por otro lado, el procesamiento de visión, donde se parte de la imagen capturada por la cámara (DAI) para detectar lo que realmente se refleja en la faceta objeto (FO).

5

El procesamiento por visión comienza en el paso 1 de la Fig. 3 con la adquisición de imágenes (I) de alta resolución por medio de la cámara (DAI) donde aparezca claramente la faceta de referencia (FR) reflejada en la cara frontal de la faceta objeto (FO). Tras la adquisición, en el paso 2 se lleva a cabo un preprocesamiento consistente en un filtrado para mejorar la calidad de las imágenes (I), eliminando ruido y otros artefactos que puedan aparecer y que interfieran con los cálculos posteriores. A continuación, en el paso 3 se realiza la extracción de características de la imagen (I) con el fin de encontrar patrones y aspectos distintivos en el reflejo de la faceta de referencia (FR) que permitirán establecer una comparación con la información obtenida a partir del modelo óptico. Estas características pueden ir desde las más simples, como por ejemplo líneas, bordes, esquinas, SIFT, SURF, etc., hasta características más complejas proporcionadas por técnicas basadas en aprendizaje automático. El proceso de extracción de características busca definir algún elemento de la faceta de referencia (FR) donde está anclada la cámara (DAI) que se repite de manera consistente en el reflejo de la faceta objeto (FO).

20

Por otra parte, en paralelo se requiere la realización de un paso 4 consistente en una calibración inicial donde se determinan unos parámetros de entrada para el cálculo del modelo óptico (posición y orientación de la cámara, focal de la lente y distorsiones radial y tangencial). Este proceso es necesario realizarlo una única vez cuando se ancla la cámara (DAI) en una posición, y será necesario repetirlo si la cámara (DAI) cambia de posición. Con la información de calibración obtenida, en el paso 5 se procede al cálculo del modelo óptico, que proporciona una representación ideal de lo que la cámara (DAI) debe ver cuando la faceta objeto (FO) está correctamente alineada. El modelo óptico comprende una imagen teórica (IT) de la faceta de referencia (FR) vista en reflexión en la faceta objeto (FO). Una vez obtenido el modelo óptico, en el paso 6 se extraen de la imagen teórica (IT) las características descritas anteriormente para permitir la comparación entre la imagen teórica (IT) y la imagen (I) real captada en el paso 1.

30

Finalmente, se realiza la comparación entre las características de la imagen real (I) y de la imagen teórica (IT), y en función de ellas se determinan los errores de alineamiento de la faceta objeto (FO), concretamente el error de canteo y el error de enfoque. Las Figs. 2a-2C

35

muestran respectivamente la imagen (I) real adquirida, la imagen teórica (IT) calculada, así como ambas superpuestas una a otra. Nótese que, por motivos de simplicidad, en estas imágenes se ha eliminado la propia cámara (DAI). Como se puede apreciar en la Fig. 2C, la faceta de referencia (FRⁱ) que aparece en la imagen (I) real está desplazada hacia abajo y hacia la izquierda con relación a la faceta de referencia (FR^t) que aparece en la imagen teórica (IT). Una selección adecuada de las características de ambas imágenes (I, IT) y un análisis de las diferencias entre ambas características permite determinar el error de alineamiento de la faceta objeto (FO)

La parte de análisis de imagen del procedimiento de la invención, es decir, esencialmente los pasos descritos en la Fig. 3, se realiza normalmente de manera automática a través de un medio de procesamiento tal como un ordenador, tableta, teléfono inteligente, o en general cualquier dispositivo con una capacidad de procesamiento suficiente. Este medio de procesamiento estará conectado a la cámara (DAI) para recibir los datos de las imágenes (I), preferentemente mediante una conexión inalámbrica.

Por último, una vez determinados los errores de alineamiento de la faceta objeto (FO), se procede a su corrección. Para ello, normalmente unos operarios deberán actuar sobre determinados elementos conocidos para ajustar el canteo y enfoque de la faceta objeto (FO).

Alternativamente, es posible realizar el ajuste de manera automática si el heliostato objeto (HO) dispone de medios para ello. Las Figs. 7A y 7B muestran sendas vistas de un heliostato objeto (HO) donde cada faceta objeto (FO) está fijada a la estructura posterior de soporte (EPS) por medio de una rótula (R) y unos medios motorizados de fijación (MMF). Más concretamente, la rótula (R) conecta el centro de la faceta objeto (FO) a la estructura posterior de soporte (EPS), de manera que la faceta objeto (FO) puede bascular a su alrededor para modificar su orientación. Por otra parte, dos medios motorizados de fijación (MMF) que comprenden sendos cilindros extraíbles conectan dos lados contiguos de la faceta objeto (FO) a la estructura posterior de soporte (EPS). Así, cuando se acciona uno de los medios motorizados de fijación (MMF), se provoca la inclinación de la faceta objeto (FO) alrededor de un primer eje que pasa por la rótula (R), y cuando se acciona el otro de los medios motorizados de fijación (MMF), la faceta objeto (FO) se inclina alrededor de un segundo eje perpendicular al primero y que también pasa por la rótula (R). De ese modo, operando adecuadamente el primer y segundo medios motorizados de fijación (MMF) en función del error obtenido mediante el proceso anterior, es posible orientar la faceta objeto (FO) en la dirección deseada.

REIVINDICACIONES

1. Método para alinear las facetas de un heliostato de un campo solar, donde el campo solar comprende al menos un heliostato de referencia (HR) y un heliostato objeto (HO), donde el heliostato objeto (HO) está situado detrás del heliostato de referencia (HR), caracterizado por que comprende los siguientes pasos:
- orientar el heliostato objeto (HO) y el heliostato de referencia (HR) de manera que una superficie frontal reflectante del heliostato objeto (HO) está enfrentada a una superficie posterior no reflectante del heliostato de referencia (HR);
 - obtener, mediante un dispositivo de adquisición de imágenes (DAI) fijado a una cara posterior de una faceta de referencia (FR) del heliostato de referencia (HR) y orientado hacia el heliostato objeto (HO), una imagen (I) que contiene al menos dicha faceta de referencia (FR) del heliostato de referencia (HR) reflejada en al menos una faceta objeto (FO) del heliostato objeto (HO);
 - comparar unas características de la faceta de referencia (FR) en la imagen (I) obtenida con unas características teóricas de la faceta de referencia (FR) correspondientes a un alineamiento correcto de la faceta objeto (FO) para determinar los errores de alineamiento de la faceta objeto (FO); y
 - corregir el alineamiento de la faceta objeto (FO) de manera que se eliminan los errores determinados.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, donde la imagen (I) obtenida mediante el dispositivo de adquisición de imágenes (DAI) contiene varias facetas objeto (FO) en las que se ve reflejada al menos una faceta de referencia (FR).
3. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las características se determinan empleando al menos uno de entre los siguientes métodos: SIFT (Scale Invariant Feature Transform), SURF (Speeded Up Robust Features), o aprendizaje automático.
4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las características comprenden al menos uno de entre líneas, bordes o esquinas de la faceta de referencia (FR).
5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el paso de corregir el alineamiento de la faceta objeto (FO) se realiza de manera manual.

6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, donde el paso de corregir el alineamiento de la faceta objeto (FO) se realiza de manera automática.
7. Método de acuerdo con la reivindicación 6, donde la corrección se realiza accionando unos medios motorizados de fijación (MMF) que conectan la faceta objeto (FO) a una estructura posterior de soporte (EPS) del heliostato objeto (HO).
8. Programa de ordenador que comprende instrucciones de programa para hacer que un ordenador lleve a la práctica el paso descrito en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 de comparar unas características de la faceta de referencia (FR) en la imagen obtenida con unas características objetivo de la faceta de referencia (FR) correspondientes a un alineamiento correcto de la faceta objeto (FO) para determinar los errores de alineamiento de la faceta objeto (FO).
9. Programa de ordenador según la reivindicación 8, incorporado en medios de almacenamiento.
10. Programa de ordenador según la reivindicación 8, soportado en una señal portadora.
11. Sistema configurado para llevar a cabo el método de cualquiera de las reivindicaciones 1-7, caracterizado por que comprende un heliostato (HR) que además comprende una pluralidad de dispositivos de adquisición de imágenes (DAI) fijados a la cara posterior de cada faceta (F).
12. Sistema de acuerdo con la reivindicación 11, donde cada dispositivo de adquisición de imágenes (DAI) está fijado a la respectiva faceta (F) mediante un medio de anclaje (MA) que comprende un elemento de fijación a la cara posterior de la faceta (F) y un elemento de acoplamiento del dispositivo de adquisición de imágenes (DAI).
13. Sistema de acuerdo con la reivindicación 12, donde el medio de anclaje (MA) comprende además una rótula a la que está fijado el dispositivo de adquisición de imágenes (DAI).
14. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el heliostato (HO) además comprende unos medios motorizados de fijación (MMF) que fijan las facetas (F) a la estructura posterior de soporte (EPS).

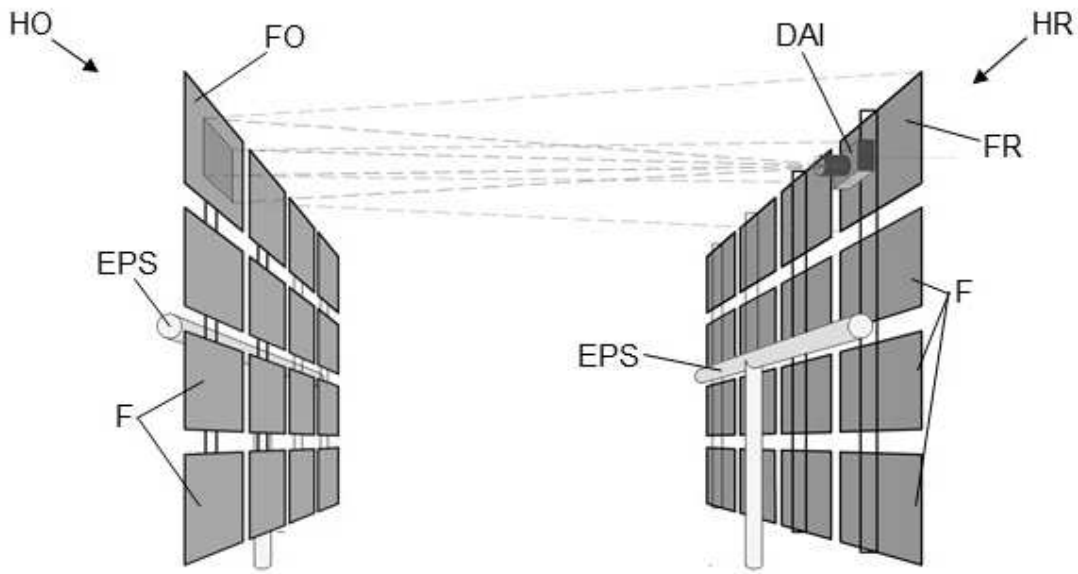


FIG. 1

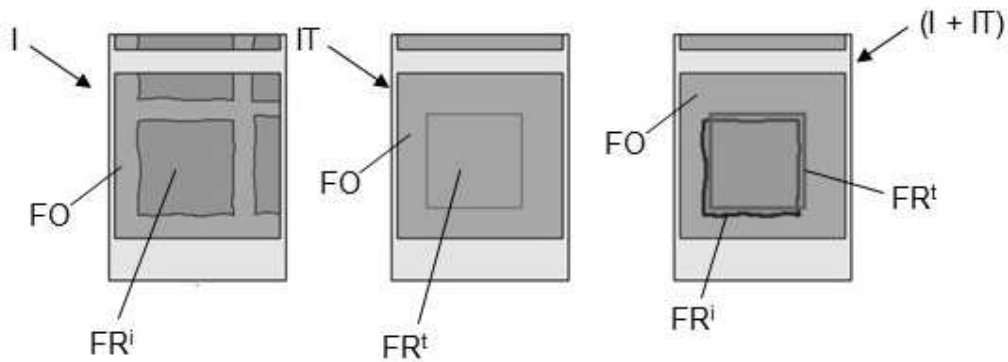


FIG. 2A

FIG. 2B

FIG. 2C

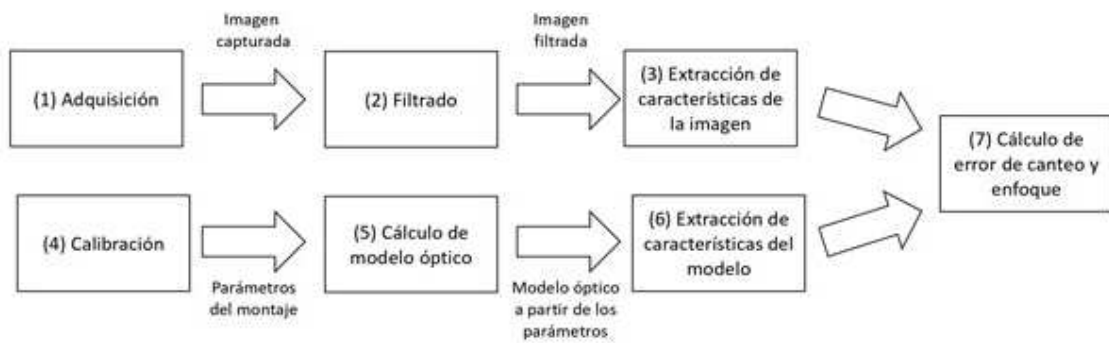


FIG. 3



FIG. 4



FIG. 5

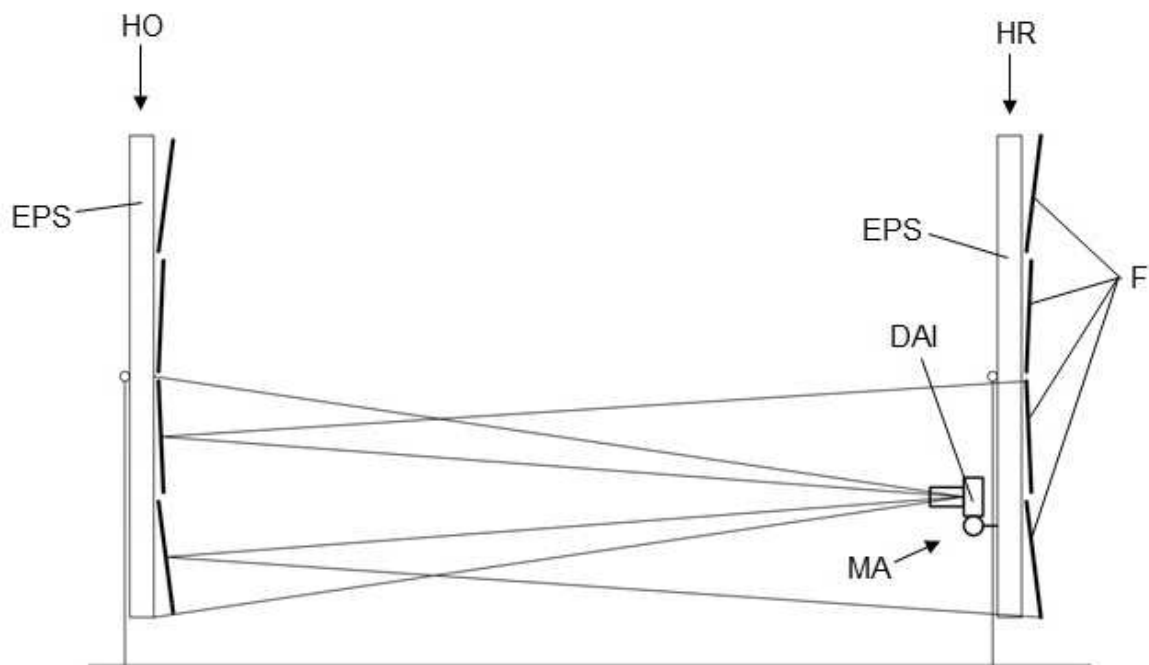


FIG. 6A

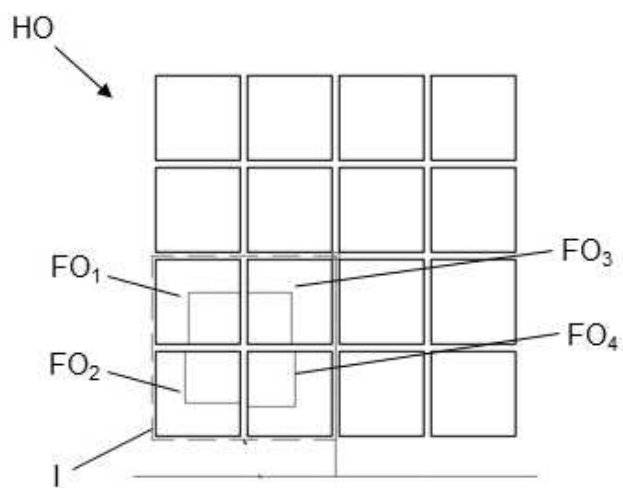


FIG. 6B

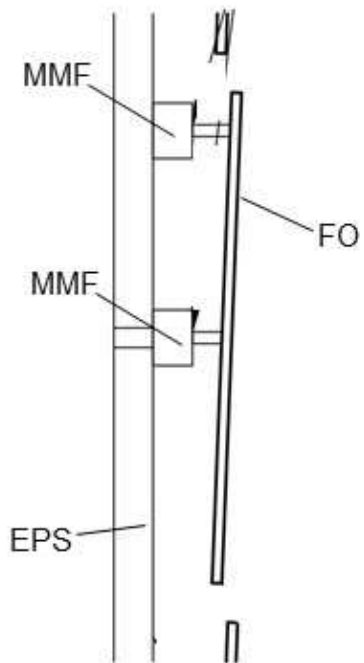


FIG. 7A

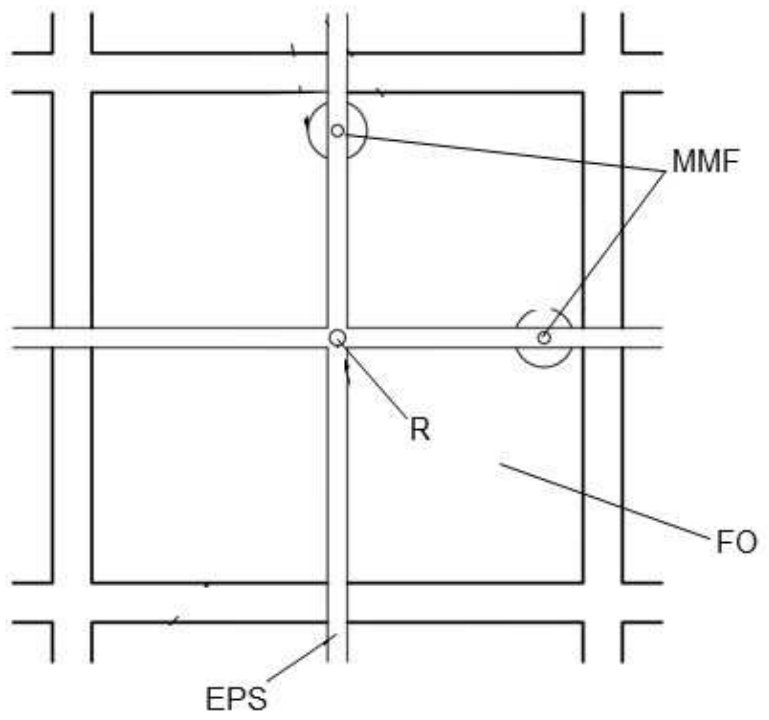


FIG. 7B