

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 791 419**

51 Int. Cl.:

**F24S 50/20** (2008.01)  
**G05B 15/02** (2006.01)  
**H02S 20/32** (2014.01)  
**F24S 50/80** (2008.01)  
**F24S 30/425** (2008.01)  
**F24S 25/12** (2008.01)  
**F24S 50/00** (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.05.2016 PCT/FR2016/051297**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **08.12.2016 WO16193612**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.05.2016 E 16734420 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020 EP 3303939**

54 Título: **Procedimiento de pilotaje predictivo de la orientación de un seguidor solar**

30 Prioridad:

**03.06.2015 FR 1555063**

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

**04.11.2020**

73 Titular/es:

**NEXTRACKER, INC. (100.0%)  
6200 Paseo Padre Parkway  
Fremont, California 94555, US**

72 Inventor/es:

**ARLIAUD, JÉRÔME;  
CRUCIFIX, ADRIEN y  
BLANC, PHILIPPE**

74 Agente/Representante:

**CURELL SUÑOL, S.L.P.**

ES 2 791 419 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**

Procedimiento de pilotaje predictivo de la orientación de un seguidor solar.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de pilotaje de la orientación de un seguidor solar de eje único, así como a un seguidor solar de eje único concebido para la realización de dicho procedimiento.

10 La invención se refiere al campo de los seguidores solares, denominados de otra manera sistemas de soporte seguidor o "solar tracker", previstos para soportar unos sensores solares, generalmente del tipo panel fotovoltaico.

15 Se refiere más particularmente a los seguidores solares de tipo de eje único, es decir orientable según un único eje principal de rotación, para una rotación que permite seguir el sol en su salida y en su puesta de este a oeste. Para más precisión, dicho eje principal de rotación se extiende de manera generalmente horizontal y sustancialmente paralela al suelo sobre el cual está anclado el seguidor solar.

El documento US 2011/158467 A1 divulga un procedimiento de pilotaje de la orientación de un seguidor solar de un solo eje orientable alrededor de un eje de rotación, realizando dicho procedimiento las etapas siguientes:

20 observar la evolución en el tiempo de la cubierta nubosa por encima del seguidor solar, observando la cubierta nubosa en varios instantes consecutivos mediante un sistema de observación del cielo por encima del seguidor solar; traducir cada observación realizada por el sistema de observación en una cartografía de la luminancia solar y determinar la evolución en el tiempo de un ángulo de inclinación óptimo del seguidor solar que corresponde sustancialmente a un máximo de radiación solar sobre el seguidor solar, en función de la cubierta nubosa observada, calculando para cada cartografía en cada instante un ángulo de inclinación óptimo asociado a un máximo de luminancia solar sobre dicha cartografía; y servocontrolar la orientación del seguidor solar en función de la evolución anterior del ángulo de inclinación óptimo.

30 El documento US 2011/220091 A1 divulga que unas imágenes representativas de las sombras de las nubes con respecto a un campo de heliostatos pueden ser utilizadas para ajustar el funcionamiento de un sistema de energía solar. El documento US 2010/139644 A1 divulga los modos de realización que se refieren a unos sistemas de energía solar y a unos procedimientos de funcionamiento correspondientes. En algunos modos de realización, el sistema de energía solar comprende: una pluralidad de heliostatos configurados para reflejar la luz del sol sobre una diana montada sobre una torre, comprendiendo cada heliostato un controlador de heliostato respectivo, siendo la diana seleccionada de entre el grupo constituido por una diana de conversión de energía.

En este campo, es habitual servocontrolar la orientación del seguidor solar basándose en un cálculo astronómico de la posición del sol, para un posicionamiento en tiempo real enfrente del sol.

40 Este tipo de servocontrol adolece no obstante de un inconveniente principal ofreciendo una deficiencia de rendimiento en algunas condiciones meteorológicas, y se hará referencia de manera útil a la figura 1 para la explicación; comprendiendo esta figura 1 cuatro esquemas (1a), (1b), (1c) y (1d) que ilustran cada uno dos seguidores solares ST en diferentes condiciones meteorológicas, y con el sol SO siempre a la misma posición.

45 El esquema (1 a) ilustra unas condiciones meteorológicas ideales, en ausencia de nubes, y los seguidores solares ST están orientados de cara al sol SO con el fin de beneficiarse de una radiación solar directa Rdir máxima. En estas condiciones óptimas con una cubierta nubosa nula, el servocontrol sobre la posición del sol SO procura un funcionamiento máximo; correspondiendo dicho servocontrol a un servocontrol de la orientación del seguidor solar sobre un ángulo de inclinación denominado directo definido por la dirección de la radiación solar directa Rdir a nivel del seguidor solar.

55 Los esquemas (1b), (1c) y (1d) ilustran unas condiciones meteorológicas degradadas, con diferentes cubiertas nubosas que dependen en particular de la superficie nubosa o superficie cubierta, de los tipos de nubes NU presentes, del número y de la posición de las nubes NU con respecto al sol SO.

60 En dichas condiciones nubosas, el servocontrol sobre la posición del sol SO puede no procurar el mejor rendimiento, no tomando en consideración la radiación solar difusa Rdif. La radiación solar difusa Rdif se manifiesta cuando la radiación solar directa Rdir se dispersa en las nubes NU y las partículas atmosféricas. La radiación solar difusa Rdif resulta de la difracción de la luz por las nubes NU y las moléculas diversas en suspensión en la atmósfera. La radiación solar difusa Rdif no sigue por lo tanto necesariamente la dirección definida por el sol SO en dirección al punto de observación en la superficie de la Tierra.

65 Por consiguiente, en unas condiciones nubosas, puede ser preferible, para obtener un rendimiento máximo con respecto a estas condiciones, orientar los seguidores solares ST en una orientación denominada indirecta o difusa según una dirección de la radiación solar difusa Rdif que no corresponde necesariamente a la dirección de la radiación solar directa Rdir; dicho servocontrol corresponde a un servocontrol de la orientación del seguidor

solar sobre un ángulo de inclinación denominado difuso definido por la dirección de la radiación solar difusa  $R_{dif}$  a nivel del seguidor solar.

5 En los esquemas (1b), (1c) y (1d), los seguidores solares ST están justamente orientados según unos ángulos de inclinación difusos distintos del ángulo de inclinación directo, con el fin de ofrecer un rendimiento óptimo.

10 El experto en la materia estaría tentado así de servocontrolar, en tiempo real, la orientación del seguidor solar sobre un ángulo de inclinación óptimo que corresponde a una radiación solar máxima. En ausencia de nubes, el ángulo de inclinación óptimo correspondería al ángulo de inclinación directo y, en presencia de una cubierta nubosa, incluso de una única nube delante del sol, el ángulo de inclinación óptimo correspondería a un ángulo de inclinación difuso. Para ello, bastaría con medir la amplitud de la radiación en diferentes direcciones, y establecer la dirección que corresponde a una amplitud máxima para deducir su ángulo de inclinación óptimo.

15 Sin embargo, proceder así presentaría numerosos inconvenientes, que se basan todos en la variación de la radiación solar difusa a lo largo del tiempo. En efecto, según la evolución temporal de la capa nubosa (debida al desplazamiento de las nubes bajo el efecto de los vientos) y según la composición de esta capa nubosa (número, dimensiones, localización y tipos de nubes), la radiación solar difusa puede variar más o menos rápidamente y por lo tanto el ángulo de inclinación óptimo puede variar más o menos rápidamente a lo largo del tiempo.

20 Servocontrolando la orientación del seguidor solar sobre este ángulo de inclinación óptimo, el seguidor solar puede llegar así a cambiar de orientación más o menos frecuentemente y más o menos rápidamente. Ahora bien, cada cambio de orientación solicita por lo menos un accionador (generalmente un motor eléctrico), que genera un consumo eléctrico y un desgaste de los órganos mecánicos solicitados por el cambio de orientación (cojinetes, elementos de guiado en rotación, etc.). Estos consumos eléctricos y estos desgastes no estarán necesariamente compensados por las ganancias de productividad obtenidas calándose en tiempo real sobre el ángulo de inclinación óptimo.

30 A título de ejemplo, partiendo de una situación de partida en la que el ángulo de inclinación óptimo corresponde al ángulo de inclinación directo (debido a la ausencia de nube entre el Sol y el seguidor solar), si una nube única pasa delante del Sol durante algunos minutos, el ángulo de inclinación óptimo será modificado durante estos pocos minutos para recobrar a continuación el ángulo de inclinación directo. Servocontrolar en tiempo real la orientación del seguidor solar sobre el ángulo de inclinación óptimo, conduciría en este caso a desplazar el seguidor solar durante estos pocos minutos, para un beneficio claramente muy bajo con respecto al consumo eléctrico del o de los accionadores y del desgaste.

40 La presente invención tiene como objetivo resolver estos inconvenientes proponiendo un procedimiento de pilotaje de la orientación de un seguidor solar de eje único, que utiliza una etapa de previsión de la evolución de la cubierta nubosa con el fin de no servocontrolar sistemáticamente la orientación del seguidor solar sobre el ángulo de inclinación óptimo, sino de anticipar la evolución de este ángulo de inclinación óptimo para aplicar un compromiso ventajoso entre las ganancias de productividad en energía solar y las pérdidas en consumo eléctrico del o de los accionadores, y eventualmente teniendo en cuenta el desgaste generado por los cambios de orientación.

45 Con este fin, propone un procedimiento de pilotaje de la orientación de un seguidor solar de eje único orientable alrededor de un eje de rotación, realizando dicho procedimiento las etapas siguientes:

50 a) observar la evolución en el tiempo de la cubierta nubosa por encima del seguidor solar, observando la cubierta nubosa en varios instantes consecutivos mediante un sistema de observación del cielo por encima del seguidor solar;

55 b) traducir cada observación realizada por el sistema de observación en una cartografía de la luminancia solar y determinar la evolución en el tiempo de un ángulo de inclinación óptimo del seguidor solar que corresponde sustancialmente a un máximo de radiación solar sobre el seguidor solar, en función de la cubierta nubosa observada, calculando para cada cartografía en cada instante un ángulo de inclinación óptimo asociado a un máximo de luminancia solar sobre dicha cartografía;

60 c) prever la evolución futura de la cubierta nubosa en base a la evolución anterior observada de la cubierta nubosa, calculando en cada instante presente por lo menos una cartografía previsional de la luminancia solar en un instante futuro, realizando un cálculo previsional que tiene en consideración una evolución de la distribución de la luminancia solar sobre unas cartografías establecidas en varios instantes pasados y una velocidad de evolución de la luminancia solar entre dichas cartografías establecidas en varios instantes pasados;

65 d) calcular la evolución futura del ángulo de inclinación óptimo en función de la previsión de la evolución futura de la cubierta nubosa, calculando para cada cartografía previsional, un ángulo de inclinación óptimo

previsional en un instante futuro asociado a un máximo de luminancia solar sobre dicha previsional;

- e) servocontrolar la orientación del seguidor solar en función de la evolución anterior del ángulo de inclinación óptimo y en función de la evolución futura del ángulo de inclinación óptimo.

5

El procedimiento así utiliza una previsión, a más o menos corto plazo, de la evolución futura del ángulo de inclinación óptimo; se recuerda que este ángulo de inclinación óptimo corresponde al ángulo de inclinación del seguidor solar que ofrece la luminancia solar más elevada en función de la cubierta nubosa, pudiendo este ángulo de inclinación óptimo corresponder o bien al ángulo de inclinación directo (en particular en ausencia de nube, o por lo menos en ausencia de nube entre el sol y el seguidor solar), o bien a un ángulo de inclinación difuso que dependerá de la composición de la capa nubosa (número, dimensiones y tipos de nubes, localización de las nubes, superficie nubosa).

10

Después, en función de esta evolución futura del ángulo de inclinación óptimo, se puede realizar de manera anticipativa un servocontrol de la orientación del seguidor solar, sin seguir de manera directa y en tiempo real el ángulo de inclinación óptimo, permitiendo así evitar unos cambios de orientación que solo procurarían poca ganancia energética, incluso procurarían unas pérdidas energéticas, como sería el caso por ejemplo si una única nube pasa delante del sol durante un tiempo reducido.

15

Además, la observación de la cubierta nubosa se traduce en una cartografía de la luminancia solar y esta cartografía se utiliza para determinar el ángulo de inclinación óptimo. La cartografía corresponde en efecto a una distribución de la luminancia según varios ángulos de elevación (ángulos medidos generalmente con respecto a un eje vertical, debiendo estos ángulos de elevación ser cotejados directamente con el ángulo de inclinación del seguidor solar), y la búsqueda del ángulo de inclinación óptimo corresponde a la búsqueda de un ángulo de elevación asociado a un máximo de luminancia solar en la cartografía.

20

25

Se puede considerar que la cartografía sea monodimensional, dicho de otra manera con una distribución de la luminancia únicamente según varios ángulos de elevación, o la cartografía puede ser bidimensional, dicho de otra manera con una distribución de la luminancia según varios ángulos de elevación y asimismo según varios ángulos de azimut (permitiendo así tener en cuenta la anchura del sensor solar -dimensión tomada en una dirección ortogonal al eje de rotación- y no únicamente de la longitud del sensor solar -dimensión tomada en la dirección del eje de rotación-).

30

La observación de la cubierta nubosa se convierte así en una cartografía de la luminancia solar recibida por un sistema de observación, variando esta luminancia solar en función del ángulo de observación. A medida que pasa el tiempo, las cartografías permiten observar la evolución de la luminancia solar (directamente dependiente de la evolución de la capa nubosa), y después establecer unas previsiones cartográficas sobre el estado futuro de la cartografía de la luminancia solar, y por lo tanto sobre el ángulo de inclinación que permitiría que el seguidor solar se beneficie, en el futuro, de una luminancia máxima.

35

40

Siempre según el procedimiento de la invención, en la etapa e), el servocontrol de la orientación del seguidor solar se realiza asimismo en función del consumo de energía necesaria para modificar la orientación del seguidor solar partiendo de un ángulo de inclinación presente hasta alcanzar un ángulo de inclinación óptimo previsional establecido en un instante futuro en la etapa d).

45

Dicho de otra manera, el servocontrol efectivo tiene en cuenta este consumo de energía con el fin de realizar o no una orientación según un ángulo de inclinación óptimo futuro (o previsional) con el objetivo de anticipar un cambio en la cubierta nubosa.

50

Siempre de acuerdo con el procedimiento de la invención, en la etapa e), se establece un escenario potencial durante el cual el ángulo de inclinación del seguidor solar está modificado partiendo de un ángulo de inclinación presente hasta alcanzar un ángulo de inclinación óptimo previsional en un instante futuro establecido en la etapa d), y a este escenario potencial están asociados los cálculos de:

55

- evolución del ángulo de inclinación del seguidor solar durante el cambio de orientación partiendo del ángulo de inclinación presente hasta alcanzar el ángulo de inclinación óptimo previsional, dependiendo esta evolución de la velocidad de desplazamiento en rotación del seguidor solar;
- evolución del consumo de energía necesaria para modificar la orientación del seguidor solar;
- la evolución de la producción de energía solar suplementaria esperada con dicho cambio de orientación;
- evolución del rendimiento energético esperado basada en la diferencia entre la producción de energía solar y el consumo de energía;

60

65

y a continuación la orientación del seguidor solar se servocontrola en dicho ángulo de inclinación óptimo

previsional si el rendimiento energético es globalmente positivo para el escenario, si no, la orientación del seguidor solar se mantiene en ángulo de inclinación presente.

5 El servocontrol según dicho ángulo de inclinación óptimo previsional (o futuro) se realizará así sólo a título de un beneficio energético, con el fin de no realizar un cambio de orientación sistemático con cada cambio en la cubierta nubosa.

10 Según otra característica, en la etapa a), cada cartografía es una cartografía bidimensional establecida según dos direcciones, una primera y una segunda direcciones, y, en la etapa b), se calcula el ángulo de inclinación óptimo para cada cartografía realizando las etapas siguientes:

- 15 - la cartografía constituye un mapa de luminancia solar distribuida según unas bandas paralelas a la primera dirección y asociadas respectivamente a diferentes ángulos de elevación y según unas columnas paralelas a la segunda dirección y asociadas respectivamente a diferentes ángulos de azimut, correspondiendo así a cada banda un ángulo de inclinación del seguidor solar;
- calcular para cada banda un valor de luminancia equivalente a partir del conjunto de los valores de luminancia tomados en la banda;
- 20 - calcular para cada banda un valor de luminancia percibida por el soporte seguidor a partir de los valores de luminancia equivalentes calculados para todas las bandas y a partir de los ángulos de inclinación asociados a las bandas;
- 25 - considerar que el ángulo de inclinación es el ángulo de inclinación asociado a la banda que presenta el valor de luminancia percibida más elevado.

De esta manera, el cálculo del ángulo de inclinación óptimo se basa en el cálculo de valores de luminancia percibida asociados a cada banda y por lo tanto a cada ángulo de inclinación.

30 Ventajosamente, la primera dirección es paralela al eje de rotación del seguidor solar y la segunda dirección es horizontal y ortogonal a la primera dirección.

Además, la observación de la cubierta nubosa se puede realizar según uno de los procedimientos siguientes:

- 35 - toma de imágenes del cielo a partir del suelo mediante un aparato de toma de vistas, tal como una cámara;
- medición de la luminancia solar a partir del suelo mediante un conjunto de varias células fotosensibles;
- 40 - recuperación de imágenes satélites del cielo por encima del seguidor solar.

45 Con una toma de imagen, la observación corresponde a una imagen. Con una medición de la luminancia solar por unas células fotosensibles, la observación corresponde a una matriz de las mediciones realizadas individualmente por cada célula fotosensible, estando estas células fotosensibles posicionadas en diferentes ángulos de inclinación, y en particular distribuidas sobre un soporte en forma de domo semiesférico con el fin de ofrecer una amplia observación del cielo. Con una recuperación de imágenes satélites, la observación corresponde a una imagen satélite de la zona en cuestión.

50 Según una característica ventajosa, en la etapa b), se realiza una etapa de ponderación frecuencial aplicada sobre la observación que depende al mismo tiempo de una respuesta en frecuencia del sistema de observación y de una banda frecuencial útil para el sensor solar.

55 La ponderación frecuencial consistirá así en aplicar un filtro frecuencial que tendrá en cuenta la respuesta espectral del sensor solar.

60 En una forma de realización particular, para realizar la etapa a), la cubierta nubosa se observa periódicamente en varios instantes consecutivos, correspondiendo el instante  $t$  al instante presente y correspondiendo la duración  $P$  al periodo de tiempo entre dos observaciones consecutivas, de manera que a cada instante  $t$  está asociada una cartografía;

- para realizar la etapa c), en cada instante presente  $t$  se calcula por lo menos una cartografía previsional en un instante futuro  $t+nP$ , en el que  $n$  es un número entero no nulo, por lo menos a partir de las cartografías establecidas en varios instantes pasados  $t-mP$ , en el que  $m$  es un número entero no nulo;
- 65 - para realizar la etapa d), para cada cartografía previsional en un instante futuro  $t+nP$  se calcula un ángulo de inclinación óptimo previsional.

Ventajosamente, en la etapa d), el ángulo de inclinación óptimo para una cartografía previsual se calcula según un procedimiento de cálculo equivalente a aquel empleado durante la etapa b) para calcular el ángulo de inclinación óptimo para una cartografía.

5

Dicho de otra manera, se utiliza el mismo tipo de cálculo para determinar el ángulo de inclinación óptimo, ya sea para las observaciones realmente realizadas o para las previsiones que proceden de un cálculo previsual, con el fin de garantizar una adecuación entre los cálculos.

10

Según otra posibilidad de la invención, en la etapa e), el servocontrol de la orientación del seguidor solar se realiza asimismo en función de un ángulo de inclinación denominado directo establecido por un cálculo astronómico de la posición del sol.

15

En efecto, es interesante tener en cuenta este ángulo de inclinación directo, para conocer la posición del sol y considerar así una orientación directa enfrente del sol en la lógica de servocontrol de la etapa e).

20

En este caso, el ángulo de orientación presente en el escenario citado anteriormente puede corresponder al ángulo de inclinación directo, y el servocontrol tendrá en cuenta el rendimiento energético potencial calculado en caso de cambio de orientación del ángulo de inclinación directo hacia el ángulo de inclinación óptimo previsual.

25

Según otra posibilidad de la invención, en la etapa e), el servocontrol de la orientación del seguidor solar se realiza asimismo en función de una tasa de desgaste de órganos mecánicos del seguidor solar solicitados en un cambio de orientación del seguidor solar partiendo de un ángulo de inclinación presente hasta alcanzar un ángulo de inclinación óptimo previsual establecido en un instante futuro en la etapa d).

30

La invención se refiere asimismo a un seguidor solar de eje único orientable alrededor de un eje de rotación, del tipo que comprende una estructura fija de anclaje al suelo y una plataforma apropiada para soportar por lo menos un sensor solar, siendo dicha plataforma accionable en rotación sobre la estructura fija según dicho eje de rotación mediante un sistema de accionamiento, siendo dicho seguidor solar notable por que comprende además un sistema de observación de la evolución en el tiempo de la cubierta nubosa por encima del seguidor solar y una unidad de control en unión, por un lado, con el sistema de observación para recibir sus datos de observaciones y, por otro lado, con el sistema de accionamiento para pilotar la rotación de la plataforma, en el que dicha unidad de control está conformada para realizar las etapas b) a e) del procedimiento de pilotaje como se ha descrito anteriormente.

35

Otras características y ventajas de la presente invención aparecerán con la lectura de la descripción detallada siguiente, de ejemplos de realización no limitativos, realizada en referencia a las figuras adjuntas, en las que:

40

- la figura 1, ya comentada, comprende cuatro esquemas (1a), (1b), (1c) y (1d) que ilustran cada uno dos seguidores solares en diferentes condiciones meteorológicas;

45

- la figura 2 es una vista esquemática de un seguidor solar de eje único de acuerdo con la invención, en la que se ilustran el conjunto estructura fija y plataforma móvil y un sistema de observación de la evolución en el tiempo de la cubierta nubosa;

50

- la figura 3 es una vista esquemática de un primer ejemplo de sistema de observación;

55

- la figura 4 es una representación esquemática en plano de un sistema de observación equivalente al de la figura 3, y de una cartografía de la luminancia solar (a la derecha) procedente de dicho sistema de observación;

60

- la figura 5 es una vista esquemática de un segundo ejemplo de sistema de observación;

65

- la figura 6 es una representación esquemática de una observación (arriba a la izquierda) realizada por un sistema de observación equivalente al de la figura 5, y de una cartografía de luminancia solar (abajo a la izquierda) procedente de dicha observación, después de varias etapas de tratamiento de imagen, y de una matriz de valores de luminancia equivalente (abajo a la derecha) procedente de esta cartografía;

70

- la figura 7a es una vista esquemática de lado de cuatro columnas de una cartografía de la luminancia solar, con los ángulos de azimut asociados a las diferentes columnas, con el fin de ilustrar el cálculo utilizado para el cálculo de un valor de luminancia equivalente que sirve para determinar el ángulo de inclinación óptimo;

75

- la figura 7b es una vista esquemática de lado de cuatro bandas de una cartografía de la luminancia solar, con los ángulos de elevación o de inclinación asociados a las diferentes bandas, con el fin de ilustrar el cálculo utilizado para el cálculo de un valor de luminancia percibida que sirve para determinar el ángulo de

inclinación óptimo;

- 5 - la figura 8 comprende cuatro esquemas (8a), (8b), (8c) y (8d) que ilustran cada uno una imagen con la representación de una nube observada en un instante pasado (t-2), de la misma nube observada en un instante pasado (t-1), de la misma nube observada en un instante presente (t) y de la misma nube prevista por cálculo previsional en un instante futuro (t+1);
  - 10 - la figura 9 representa tres cartografías de la luminancia solar, a las que están asociados por debajo los ángulos de inclinación óptimos correspondientes, de los cuales una cartografía en un instante presente (t) y dos previsiones de cartografía en unos instantes futuros (t+1) y (t+n);
  - 15 - la figura 10 es una representación en forma de un esquema funcional de los elementos funcionales empleados para la realización de un procedimiento de pilotaje de acuerdo con la invención.
  - 20 - la figura 11 representa cinco curvas previsionales calculadas para un primer escenario potencial definido en la etapa e) de servocontrol, con, desde arriba hacia abajo, una curva de evolución del ángulo de inclinación óptimo futuro (o previsional) calculado en la etapa d), una curva de evolución del ángulo de inclinación del seguidor solar, una curva de evolución del consumo de energía necesaria para modificar la orientación del seguidor solar, una curva de evolución de la producción de energía solar suplementaria esperada, y una curva de evolución del rendimiento energético esperado;
  - la figura 12 representa cinco curvas previsionales (idénticas a las de la figura 11) calculadas para un segundo escenario potencial.
- 25 Con referencia a la figura 2, un seguidor solar 1 de eje único orientable alrededor de un eje de rotación A, del tipo que comprende una estructura fija 11 de anclaje al suelo constituida por uno o varios postes anclados en el suelo, por ejemplo por batido, roscado, fijación con bulones, lastrado, u otro medio equivalente que permita fijar y estabilizar en el suelo la estructura fija 11.
- 30 El seguidor solar 1 comprende además una plataforma 12 móvil montada en rotación sobre la estructura fija 11 según el eje de rotación A, y más específicamente montada en rotación sobre los extremos superiores del o de los postes. Esta plataforma 12 es apropiada para soportar por lo menos un sensor solar 13, y en particular uno o varios paneles fotovoltaicos.
- 35 Con referencia a la figura 2 y a las figuras 7a y 7b, el eje de rotación A es sustancialmente horizontal y está dirigido según un eje longitudinal X según la dirección norte-sur. Cuando el seguidor solar 1 está en plano (como se puede ver en las figuras 2, 7a y 7b) con su plataforma 12 horizontal, la plataforma 12 se extiende según un plano horizontal definido por el eje longitudinal X y por un eje transversal Y según la dirección este-oeste, de manera ortogonal a un eje vertical Z.
- 40 Para la continuación de la descripción, el ángulo de inclinación del seguidor solar 1 (o ángulo de inclinación de la plataforma 12 y del o de los sensores solares 13) corresponde al ángulo de la normal a la plataforma 12 con respecto al eje vertical Z tomado en el plano (Y, Z). Cuando el seguidor solar 1 está en plano, este ángulo de inclinación es así de 0 grados.
- 45 El seguidor solar 1 comprende asimismo un sistema de observación 2 de la cubierta nubosa por encima del seguidor solar 1, dicho de otra manera para la observación del cielo por encima del seguidor solar 1. Este sistema de observación 2 puede estar asociado a un único seguidor solar 1 o, de manera económica, estar compartido con varios seguidores solares.
- 50 El sistema de observación 2 es fijo, y puede ser elevado con respecto al suelo, estando por ejemplo montado sobre un poste 20.
- 55 El seguidor solar 1 comprende además un sistema de accionamiento (no ilustrado en la figura 2 y que lleva la referencia numérica 3 en la figura 10) que asegura la puesta en rotación de la plataforma 12 según el eje de rotación A.
- 60 Este sistema de accionamiento 3 comprende un accionador, por ejemplo de tipo cilindro (eléctrico, neumático o hidráulico) o motor eléctrico (por ejemplo motor rotativo). Este sistema de accionamiento 3 comprende además un sistema mecánico de transmisión del movimiento a la salida del accionador (movimiento rotativo para un motor rotativo, o movimiento lineal para un cilindro) en un movimiento de rotación de la plataforma 12. Este sistema mecánico de transmisión puede ser, a título de ejemplo no limitativo, un sistema de paralelogramo deformable, un sistema de reenvío por polea, un sistema de piñón, un sistema de cadena, un sistema de correa, un sistema de pestaña, un sistema con árbol de transmisión, un sistema de biela, etc.
- 65 Se puede considerar que el accionador sea propio del seguidor solar 1, o bien esté compartido entre varios

seguidores solares. En el caso en el que el accionador está compartido, las plataformas 12 de los diferentes seguidores solares están ventajosamente acopladas en rotación, para una rotación síncrona bajo el efecto del accionador común.

5 Con referencia a la figura 10, el seguidor solar 1 comprende asimismo una unidad de control 4 del tipo tarjeta electrónica, que está vinculada al sistema de observación 2 con el fin de recibir sus observaciones (o datos de observaciones) y que está vinculada asimismo con el sistema de accionamiento 3 para pilotar su funcionamiento y pilotar así la rotación de la plataforma 12, dicho de otra manera la orientación del seguidor solar 1.

10 Esta unidad de control 4 comprende varios módulos, a saber:

- un módulo cartográfico 40 previsto para traducir o convertir cada observación realizada por el sistema de observación 2 en una cartografía de la luminancia solar, asociando cada cartografía a un instante temporal;
- 15 - un módulo de archivo 41 que archiva cada cartografía generada por el módulo cartográfico 40;
- un módulo de cálculo previsional 42 que calcula una evolución futura de la cubierta nubosa en base a la evolución anterior observada de la cubierta nubosa, y más precisamente calcula unas cartografías previsionales de la luminancia solar para unos instantes futuros, realizando este módulo de cálculo previsional 42 estos cálculos en base a las cartografías generadas en tiempo real por el módulo cartográfico 40 y en base a las cartografías pasadas archivadas en el módulo de archivo 41;
- 20 - un módulo de cálculo de ángulo de inclinación óptimo 43 que calcula el ángulo de inclinación óptimo para cada cartografía generada en tiempo real por el módulo cartográfico 40 (dicho de otra manera el ángulo de inclinación óptimo en el instante presente) y para cada cartografía previsional procedente del módulo de cálculo previsional 42 (dicho de otra manera los ángulos de inclinación óptimos para instantes futuros);
- 25 - un módulo de evolución del ángulo de inclinación óptimo 44 que recupera todos los ángulos de inclinación óptimos procedentes del módulo de cálculo de ángulo de inclinación óptimo 43 con el fin de establecer la evolución del ángulo de inclinación óptimo, y por lo tanto de prever y anticipar los cambios de ángulo de inclinación óptimo;
- 30 - un módulo de parametrage del seguidor solar 45 que comprende unos parámetros relativos a la velocidad de desplazamiento del sistema de accionamiento 3 (y por lo tanto a la velocidad necesaria para un cambio de orientación), unos parámetros relativos al consumo de energía necesaria para el sistema de accionamiento 3 para un cambio de orientación, unos parámetros relativos a la producción de energía solar generada por el o los sensores solares 13 en función de la luminancia solar recibida, y unos parámetros relativos a una tasa de desgaste de los órganos mecánicos del seguidor solar 1 solicitados en un cambio de orientación del seguidor solar 1, dependiendo estos parámetros en particular de la diferencia angular entre el principio y el final de un cambio de orientación;
- 35 - un módulo de cálculo astronómico 46 que calcula en tiempo real la posición del sol, y por lo tanto el ángulo de inclinación directo definido por la dirección de la radiación solar directa a nivel del seguidor solar 1;
- 40 - un módulo de servocontrol 47 que calcula el servocontrol de la orientación del seguidor solar 1, dicho de otra manera el servocontrol de su ángulo de inclinación, en función de la evolución del ángulo de inclinación óptimo que procede del módulo 44, de los diferentes parámetros que proceden del módulo 45 y del ángulo de inclinación directo que procede del módulo 46, en el que este módulo de servocontrol 47 saca una consigna angular destinada al sistema de accionamiento 3 con el fin de pilotar unos cambios de orientación de la plataforma 12 del seguidor solar 1.
- 45
- 50

Se debe observar que esta unidad de control 4 puede ser propia del seguidor solar 1, o bien estar compartida entre varios seguidores solares, y preferentemente entre varios seguidores solares reunidos en línea (que se extiende de norte a sur) dentro de instalaciones solares lineales.

En un primer modo de realización ilustrado en la figura 3, el sistema de observación 2 comprende un soporte 21, en particular en forma de domo semiesférico que soporta unas células fotosensibles 22.

60 Estas células fotosensibles 22 están posicionadas a lo largo de varias bandas (o líneas) distribuidas según varios ángulos denominados de elevación  $\Theta_i$  que son medidos con respecto al eje vertical Z en el plano (Y, Z), estando el punto de referencia (X, Y, Z) centrado en el centro O del domo semiesférico 21. El ángulo de elevación  $\Theta_i$  se debe cotejar por lo tanto con el ángulo de inclinación del seguidor solar 1. En el ejemplo de la figura 3, las células fotosensibles 22 están distribuidas según siete bandas en unos ángulos de elevación de 0,  $+\Theta_1$ ,  $+\Theta_2$ ,  $+\Theta_3$ ,  $-\Theta_1$ ,  $-\Theta_2$  y  $-\Theta_3$ ; con, por ejemplo  $[\Theta_1]=30$  grados,  $[\Theta_2]=60$  grados y  $[\Theta_3]=90$  grados. Estos ángulos de elevación  $\Theta_i$  son visibles asimismo en la figura 7b.

Una, incluso varias células fotosensibles 22 están presentes en cada banda. En el caso de una banda de varias células fotosensibles 22, las células fotosensibles 22 de una misma banda están distribuidas según varios ángulos denominados de azimut  $R_j$  que son medidos con respecto al eje vertical Z en el plano (X, Z). Además de estar distribuidas según las bandas en diferentes ángulos de elevación  $\Theta_i$ , las células fotosensibles 22 están distribuidas asimismo según unas columnas en diferentes ángulos de azimut  $R_j$ . Estos ángulos de azimut  $R_j$  son visibles en la figura 7a.

De manera general, cuantas más células fotosensibles 22 comprenda el sistema de observación 2, y en particular cuantas más bandas de células fotosensibles 22 comprenda el sistema de observación 2, mejores serán la resolución y la precisión angular.

Estas células fotosensibles 22 pueden ser de la misma tecnología que los paneles fotovoltaicos 13 con el fin de poder aplicar una ponderación que depende de la gama de longitud de onda útil para los paneles fotovoltaicos 13. Preferentemente, estas células fotosensibles 22 serán objeto de un calibrado previo para obtener una mejor precisión.

Con dicho primer sistema de observación 2, recuperando las mediciones de la luminosidad de cada célula fotosensible 22 y conociendo los ángulos de elevación  $\Theta_i$  (o ángulos de inclinación asociados) de las diferentes bandas y los ángulos de azimut  $R_j$  de las diferentes columnas, el módulo cartográfico 40 convierte así una observación realizada por el sistema de observación 2 en una cartografía 5 de la luminancia solar.

Esta cartografía 5 constituye una cartografía bidimensional en el sentido en el que forma un mapa (o matriz) de luminancia solar distribuida según:

- varias bandas 50(i) (i entero) establecidas según una primera dirección paralela al eje de rotación A (y por lo tanto paralela al eje X), y asociadas respectivamente a diferentes ángulos de elevación o de inclinación  $\Theta_i$ , de manera que cada banda 50(i) corresponde a un ángulo de inclinación  $\Theta_i$  del seguidor solar 1; y
- varias columnas 51 (j) (j entero) establecidas según una segunda dirección horizontal y ortogonal al eje de rotación A (y por lo tanto paralela al eje Y) y asociadas respectivamente a diferentes ángulos de azimut  $R_j$ .

La cartografía 5b comprende así N casillas (en las que N corresponde al número de células fotosensibles 22 y  $N=[i \times j]$ ) y a cada casilla le corresponde un valor (absoluto o relativo) de luminancia solar  $Lum(i,j)$ .

En la figura 4 a la izquierda, se ilustra esquemáticamente un ejemplo de primer sistema de observación 2 en plano y comprende nueve células fotosensibles 22 distribuidas según tres bandas B1, B2, B3 que están asociadas a tres ángulos de elevación (o ángulos de inclinación), y según tres columnas C1, C2, C3 que están asociadas a tres ángulos de azimut. A este primer sistema de observación 2 le corresponde una cartografía 5 con tres bandas 50(1), 50(2), 50(3) y tres columnas 51(1), 51(2), 51(3), y en la que los valores de luminancia solar están expresados de manera relativa en porcentaje.

En un segundo modo de realización ilustrado en la figura 5, el sistema de observación 2 comprende una cámara, en particular del tipo cámara semiesférica, con el fin de extraer unas imágenes del cielo.

De manera ventajosa, el segundo sistema de observación 2 (denominado a continuación cámara) está conformado para tomar unas imágenes en una anchura espectral suficiente para la tecnología de los sensores solares 13, y en particular del o de los paneles fotovoltaicos.

Haciendo referencia a la figura 6, la cámara 2 proporciona una imagen bruta IMB del cielo que se suministra a continuación al módulo cartográfico 40 para convertir esta imagen bruta IMB (u observación) en una cartografía 5 bidimensional de la luminancia solar. A esta imagen bruta bidimensional se le asocia un punto de referencia (X, Y), estando estos ejes X e Y ya definidos anteriormente.

El módulo cartográfico 40 realiza una sucesión de etapas de tratamiento de imagen para partir de la imagen bruta IMB hasta la cartografía 5.

En una primera etapa POND, el módulo cartográfico 40 utiliza una ponderación frecuencial aplicada sobre la imagen bruta IMB (o señal de vídeo) recuperada, para obtener una imagen denominada ponderada IMP; consistiendo esta ponderación frecuencial en aplicar un filtro frecuencial sobre la observación (o bien la observación realizada por las células fotosensibles 22, o bien la observación realizada por la cámara) que depende al mismo tiempo de la respuesta en frecuencia del sistema de observación 2 (ya sean las células fotosensibles 22 o la cámara) y de la banda frecuencial útil (o respuesta espectral) para los paneles fotovoltaicos 13.

En una segunda etapa TRAIT, el módulo cartográfico 40 realiza un tratamiento de la imagen ponderada IMP que consiste en corregir la imagen de los defectos (tratamiento de supresión del ruido, tratamiento de

deslumbramiento o "blooming", tratamiento de la saturación, etc.) para obtener una imagen denominada tratada IMT. Después, el módulo cartográfico 40 realiza un cálculo (o bien pixel por pixel, o bien zona por zona en la que cada zona comprende varios píxeles) de la distribución de la luminancia solar sobre la imagen tratada IMT con el fin de generar una cartografía inicial CI que forma un mapa (o matriz) de luminancia solar distribuida según varias  
 5 bandas asociadas respectivamente a diferentes ángulos de elevación o de inclinación  $\Theta(i)$  y según varias columnas asociadas respectivamente a diferentes ángulos de azimut; siendo dicha cartografía inicial equivalente a la ya descrita anteriormente. En la figura 6, los valores de luminancia solar de la cartografía inicial CI son expresados de manera relativa en porcentaje.

10 En una tercera etapa SENS, el módulo cartográfico 40 aplica sobre la cartografía inicial CI un coeficiente que depende de la variación de la sensibilidad de la cámara 2, con el fin de generar una cartografía 5c del mismo tipo que la cartografía descrita anteriormente. En efecto, la amplitud (o luminosidad) de los datos proporcionados por la cámara 2 está proporcionalmente relacionada con el valor de la radiación solar, de manera que este coeficiente tiene en cuenta esta proporcionalidad que depende de la variación de la sensibilidad de la cámara 2.

15 El módulo cartográfico 40 genera así una cartografía 5 que forma un mapa (o matriz) de luminancia solar distribuida según varias bandas 50(i) asociadas respectivamente a diferentes ángulos de elevación o de inclinación  $\Theta_i$  y según varias columnas 51(j) asociadas respectivamente a diferentes ángulos de azimut  $R_j$ . En el ejemplo de la figura 6, la cartografía 5 comprende cinco bandas 50(1), ..., 50(5) y siete columnas 51(1), ..., 51(7),  
 20 y los valores de luminancia solar están expresados de manera relativa en porcentaje.

25 La resolución de la cartografía 5 (dicho de otra manera el número de bandas y de columnas) y por lo tanto la precisión angular dependen de la finura del tratamiento de imagen realizado por el módulo cartográfico 40, y asimismo de la sensibilidad y de la resolución del sistema de observación 2. Para el primer sistema de observación con unas células fotosensibles 22, esta sensibilidad depende de la sensibilidad de las células fotosensibles 22, y esta resolución depende del número y de la distribución de las células fotosensibles 22. Para el segundo sistema de observación 2 del tipo cámara, esta sensibilidad y esta resolución dependen de la calidad de la cámara.

30 A partir de dicha cartografía 5 (que proceda de uno u otro de los dos sistemas de observación 2 descritos anteriormente), el módulo de cálculo de ángulo de inclinación óptimo 43 utiliza un cálculo basado en esta cartografía 5 para extraer un ángulo de inclinación óptimo  $\Theta_{opt}$  que corresponde al ángulo de inclinación (o ángulo de elevación) al cual está asociado un máximo de luminancia solar.

35 Para este cálculo, y haciendo referencia a las figuras 6 y 7, el módulo de cálculo del ángulo de inclinación óptimo 43 utiliza una sucesión de sub-etapas. Esta sucesión de sub-etapas constituye un ejemplo de módulo de cálculo o de algoritmo, y la invención no podría limitarse, evidentemente, a este ejemplo.

40 En una primera sub-etapa, el módulo de cálculo de ángulo de inclinación óptimo 43 calcula, para cada banda 50(i) de la cartografía 5, un valor de luminancia equivalente  $Leq(i)$  a partir del conjunto de los valores de luminancia  $L(i, j)$ , tomados en la banda 50(i). Para cada banda 50(i), el valor de luminancia equivalente  $Leq(i)$  de la banda 50(i) depende de los valores de luminancia  $L(i, j)$  tomados en la banda 50(i) y de los ángulos de azimut  $R_j$  de las diferentes columnas 51(j) según la fórmula siguiente (haciendo referencia a la figura 7a):

$$Leq(i) = \sum_j Lum(i, j) \times \cos R_j$$

45 Se obtiene así una matriz equivalente  $MLeq$  de los valores de luminancia equivalente  $Leq(i)$  asociados a las diferentes bandas 50(i).

50 En una segunda sub-etapa, el módulo de cálculo de ángulo de inclinación óptimo 43 calcula, para cada banda 50(i) de la cartografía 5, un valor de luminancia percibida  $Lperc(i)$  por el soporte seguidor 1 a partir de los valores de luminancia equivalentes  $Leq(i)$  calculados para todas las bandas en la primera sub-etapa, y a partir de los ángulos de inclinación (o de elevación)  $\Theta_i$  asociados a las bandas 50(i), según la fórmula siguiente (haciendo referencia a la figura 7b):

$$Lperc(i) = \sum_k Leq(k) \times \cos(\theta_i - \theta_k) \times p(i, k)$$

55 en la que

$$p(i, k) = 1 \text{ si } \text{abs}(\Theta_i - \Theta_k) < 90 \text{ grados, y } p(i, k) = 0$$

si no.

El coeficiente tiene en cuenta que, más allá de una diferencia angular de 90 grados, la radiación no es recibida por el o los sensores solares planos.

5 Se obtiene así una matriz  $ML_{perc}$  de los valores de luminancia percibida  $L_{perc}(i)$  asociados a las diferentes bandas 50(i).

10 En una última sub-etapa, el módulo de cálculo de ángulo de inclinación óptimo 43 considera el ángulo de inclinación óptimo  $\Theta_{opt}$  como el ángulo de inclinación (o de elevación) asociado a la banda que presenta el valor de luminancia percibida  $L_{perc}(i)$  más elevado.

15 El módulo de cálculo previsional 42 calcula unas cartografías previsionales 6 de la luminancia solar para unos instantes futuros  $(t+nP)$ , en la que  $n$  es un número entero no nulo y  $P$  el periodo de la observación realizada de manera periódica y repetitiva por el sistema de observación 2. Estas cartografías previsionales 6 son establecidas en base a las cartografías 5 generadas en tiempo real por el módulo cartográfico 40 y en base a las cartografías 5 pasadas archivadas en el módulo de archivo 41.

20 La figura 8 ilustra cuatro ejemplos de situación de una cubierta nubosa que evoluciona, con cuatro esquemas 8a, 8b, 8c y 8d que representan cada uno una imagen con la representación de una nube observada en un instante pasado  $(t-2)$ , la misma nube observada en un instante pasado  $(t-1)$ , la misma nube observada en un instante presente  $(t)$  y la misma nube prevista por cálculo previsional en un instante futuro  $(t+1)$  (el periodo  $P$  vale 1 en la figura 8).

25 El cálculo previsional se basa en una consideración de la evolución pasada de la luminancia solar, entre varios instantes pasados y el instante presente, y en particular de la evolución de la distribución de la luminancia solar y de la velocidad de evolución de la luminancia solar.

30 Este cálculo previsional puede basarse en una ventana temporal deslizante, es decir una ventana que comprende un número predefinido de las últimas cartografías pasadas.

Este cálculo previsional se emplea para establecer unas cartografías previsionales 6 (o previsiones de cartografía) a corto plazo. A título de ejemplo no limitativo, la noción de corto plazo cubre unos cálculos sobre un horizonte futuro de un máximo de diez a treinta minutos, incluso de un máximo de una a dos horas. Evidentemente, se puede considerar prever unos cálculos predictivos a más largo plazo.

35 El algoritmo utilizado para dicho cálculo previsional puede integrar eventualmente unas mejoras tales como:

- 40 - la consideración de los errores de previsión para mejorar las previsiones futuras (en efecto, es posible comparar las cartografías presentes con las previsiones cartográficas realizadas antes, con el fin de extraer de ellas unas enseñanzas sobre el cálculo previsional y mejorarlo);
- 45 - reconocer los tipos de nubes en función de la cartografía gracias a una base de datos y/o gracias a unos análisis o resultados efectuados en el pasado, de manera que permita realizar unas previsiones a más largo plazo en función de los tipos de nubes.

50 El algoritmo utilizado para dicho cálculo previsional puede tener en cuenta asimismo la evolución de la posición del sol en el cielo, en particular si el cálculo previsional se realiza para unos instantes futuros suficientemente lejanos (por ejemplo más allá de 30 minutos) para que el cambio de la posición del sol tenga una influencia sobre la evolución de la luminancia solar. Esta consideración de la posición del sol en el cálculo previsional se ilustra mediante la flecha de unión en línea interrumpida en la figura 10 entre el módulo de cálculo previsional 42 y el módulo de cálculo astronómico 46.

55 Como se puede ver en la figura 9, el módulo de cálculo previsional 42 establece unas cartografías previsionales 6, y a cada cartografía previsional 6 se asocia un ángulo de inclinación óptimo  $\Theta_{opt}$  previsional calculado por el módulo de cálculo de ángulo de inclinación óptimo 43, según el mismo procedimiento de cálculo descrito anteriormente.

60 El módulo de evolución del ángulo de inclinación óptimo 44 recupera así todos los ángulos de inclinación óptimos (los de las cartografías pasadas, los de la cartografía presente, y los de las cartografías previsionales 6) y establece una evolución futura del ángulo de inclinación óptimo  $\Theta_{opt}$  y por lo tanto prevé y anticipa los cambios de ángulo de inclinación óptimo.

65 Por último, el módulo de servocontrol 47 servocontrola la orientación del seguidor solar 1 en función de la evolución pasada y futura del ángulo de inclinación óptimo  $\Theta_{opt}$ , y también en función del consumo de energía  $Cons$  necesaria para modificar la orientación del seguidor solar 1, de la velocidad de desplazamiento en rotación del seguidor solar 1, y de la producción de energía solar  $Prod$  suplementaria obtenida con un cambio de orientación.

En referencia a las figuras 11 y 12, el módulo de servocontrol 47 se basa en la evolución futura del ángulo de inclinación óptimo  $\Theta_{opt}$  (primera curva partiendo de arriba).

5 En el ejemplo dado, el ángulo de inclinación óptimo  $\Theta_{opt}$  previsional cambia de valor para alcanzar un valor diana  $\Theta_c$ , por ejemplo debido a una previsión de paso de una nube delante del sol, del instante futuro  $t_1$  hasta el instante futuro  $t_2$ , antes de volver a su valor inicial.

10 El módulo de servocontrol 47 establece un escenario potencial durante el cual se modifica el ángulo de inclinación  $\Theta$  del seguidor solar 1 partiendo de un ángulo de inclinación presente  $\Theta_p$  hasta alcanzar el ángulo de inclinación óptimo futuro o previsional, en este caso seguir la previsión de evolución del ángulo de inclinación óptimo.

15 En el ejemplo dado, el escenario consiste en servocontrolar el ángulo de inclinación  $\Theta$  sobre la primera curva, y este servocontrol depende de la velocidad de desplazamiento en rotación del seguidor solar 1, con el fin de obtener una segunda curva de la evolución del ángulo de inclinación  $\Theta$  del seguidor solar 1 durante el cambio de orientación del escenario. En efecto, el seguidor solar 1 presenta un tiempo de desplazamiento necesario para llegar a alcanzar el ángulo de inclinación óptimo diana  $\Theta_c$ .

20 Gracias al cálculo previsional, se anticipa el desplazamiento del seguidor solar 1, en este caso empezando más pronto en el instante  $t_{10}$  (anterior a  $t_1$ ) hasta alcanzar el valor diana  $\Theta_c$  en  $t_{11}$  (posterior a  $t_1$ ), y después empezando de manera anticipada el retorno al instante  $t_{11}$  (anterior a  $t_2$ ) hasta volver al ángulo de inclinación presente  $\Theta_p$  en el instante  $t_{13}$  (posterior a  $t_2$ ).

25 El módulo de servocontrol 47 determina la evolución del consumo de energía  $Cons$  necesaria para modificar la orientación del seguidor solar según la segunda curva, con el fin de obtener una tercera curva de la evolución de este consumo de energía  $Cons$ ; consumiendo el seguidor solar 1 durante las fases de cambio de orientación, entre los instantes  $t_{10}$  y  $t_{11}$ , y después entre los instantes  $t_{12}$  y  $t_{13}$ .

30 El módulo de servocontrol 47 determina la evolución de la producción  $Prod$  suplementaria (o ganancia de producción) esperada siguiendo la segunda curva de evolución del ángulo de inclinación  $\Theta$  en lugar de quedarse en el ángulo de inclinación presente  $\Theta_p$ , con el fin de obtener una cuarta curva de la evolución de esta producción  $Prod$ . Esta producción  $Prod$  suplementaria corresponde por lo tanto a la ganancia de producción esperada si se sigue el escenario en lugar de quedarse en la situación inicial o presente sobre el ángulo presente  $\Theta_p$ .

35 En el ejemplo dado, la producción  $Prod$  es negativa entre los instantes  $t_{10}$  y  $t_1$  y entre los instantes  $t_2$  y  $t_{13}$  que corresponden a unos periodos en los que el ángulo de inclinación  $\Theta$  se aleja del ángulo de inclinación  $\Theta_{opt}$ , y la producción  $Prod$  es positiva entre los instantes  $t_1$  y  $t_2$  que corresponden a un periodo en el que el ángulo de inclinación  $\Theta$  se acerca, incluso es igual, al ángulo de inclinación  $\Theta_{opt}$ .

40 El módulo de servocontrol 47 determina la evolución del rendimiento energético  $Rend$  esperado basada en la diferencia entre la producción  $Prod$  y el consumo de energía  $Cons$ , dando una quinta curva que corresponde a la diferencia entre la cuarta curva y la tercera curva, dicho de otra manera  $Rnd = Prod - Cons$ .

45 En el ejemplo dado, el rendimiento  $Rend$  es negativo entre los instantes  $t_{10}$  y  $t_1$  y entre los instantes  $t_2$  y  $t_{13}$ , y el rendimiento  $Rend$  es positivo entre los instantes  $t_1$  y  $t_2$ .

50 Por último, el módulo de servocontrol 47 sigue el escenario (dicho de otra manera servocontrola el seguidor solar según la segunda curva) si el rendimiento energético es globalmente positivo para el escenario, si no, la orientación del seguidor solar 1 se mantiene en el ángulo de inclinación presente  $\Theta_p$ .

El rendimiento energético global se establece estudiando el rendimiento durante todo el periodo del escenario.

55 En el ejemplo de la figura 11, el rendimiento global es negativo, ya que la suma de las superficies  $S_{rn}$  en las que el rendimiento es negativo (entre  $t_{10}$  y  $t_1$  y entre  $t_2$  y  $t_{13}$ ) es superior a la superficie  $S_{rp}$  en la que el rendimiento es positivo (entre  $t_1$  y  $t_2$ ). El ejemplo de la figura 11 corresponde por ejemplo a una situación en la que el tiempo de paso previsional (que corresponde al intervalo  $[t_2 - t_1]$  de una nube delante del sol es demasiado corto comparativamente con el tiempo necesario para un cambio de orientación (que corresponde al intervalo  $[t_1 - t_{10}]$  o  $[t_{13} - t_2]$ ).

60 En el ejemplo de la figura 12, el rendimiento global es positivo, ya que la suma de las superficies  $S_{rn}$  en las que el rendimiento es negativo (entre  $t_{10}$  y  $t_1$  y entre  $t_2$  y  $t_{13}$ ) es inferior a la superficie  $S_{rp}$  en la que el rendimiento es positivo (entre  $t_1$  y  $t_2$ ). El ejemplo de la figura 12 corresponde, por ejemplo, a una situación en la que el tiempo de paso previsional (que corresponde al intervalo  $[t_2 - t_1]$  de una nube delante del sol es largo comparativamente con el tiempo necesario para un cambio de orientación (que corresponde al intervalo  $[t_1 - t_{10}]$  o  $[t_{13} - t_2]$ ).

65

En el ejemplo de la figura 11, el módulo de servocontrol 47 no sigue el escenario y mantiene así la orientación en el valor presente  $\Theta_p$ , mientras que en el ejemplo de la figura 12, el módulo de servocontrol 47 sigue el escenario y asegura un servocontrol del ángulo de inclinación según la segunda curva.

- 5 Evidentemente, el ejemplo de realización evocado anteriormente no presenta ningún carácter limitativo y otras mejoras y detalles pueden ser aportados al seguidor solar según la invención, sin apartarse por ello del marco de la invención en el que se pueden realizar por ejemplo otros tipos de estructura fija o de plataforma pueden.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de pilotaje de la orientación de un seguidor solar (1) de eje único orientable alrededor de un eje de rotación (A), realizando dicho procedimiento las etapas sucesivas siguientes:

- 5 a) observar la evolución en el tiempo de la cubierta nubosa por encima del seguidor solar (1), observando la cubierta nubosa en varios instantes consecutivos mediante un sistema de observación (2) del cielo por encima del seguidor solar (1);
- 10 b) traducir cada observación realizada por el sistema de observación (2) en una cartografía (5) de la luminancia solar y determinar la evolución en el tiempo de un ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) del seguidor solar (1) que corresponde sustancialmente a un máximo de radiación solar sobre el seguidor solar (1), en función de la cubierta nubosa observada, calculando para cada cartografía (5) en cada instante un ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) asociado a un máximo de luminancia solar sobre dicha cartografía (5);
- 15 c) prever la evolución futura de la cubierta nubosa en base a la evolución anterior observada de la cubierta nubosa, calculando en cada instante presente por lo menos una cartografía previsional (6) de la luminancia solar en un instante futuro, realizando un cálculo previsional que tiene en consideración una evolución de la distribución de la luminancia solar sobre unas cartografías (5) establecidas en varios instantes pasados y una velocidad de evolución de la luminancia solar entre dichas cartografías (5) establecidas en varios instantes pasados;
- 20 d) calcular la evolución futura del ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) en función de la previsión de la evolución futura de la cubierta nubosa, calculando para cada cartografía previsional (6), un ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) previsional en un instante futuro asociado a un máximo de luminancia solar sobre dicha previsional (6);
- 25 e) servocontrolar la orientación del seguidor solar (1) en función de la evolución anterior del ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) y en función de la evolución futura del ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ).
- 30

en el que, en la etapa e), el servocontrol de la orientación del seguidor solar (1) se realiza asimismo en función del consumo de energía (Cons) necesaria para modificar la orientación del seguidor solar (1) partiendo de un ángulo de inclinación presente ( $\Theta_p$ ) hasta alcanzar un ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) previsional establecido en un instante futuro en la etapa d),

y en el que, en la etapa e), se establece un escenario potencial durante el cual se modifica el ángulo de inclinación del seguidor solar (1) partiendo de un ángulo de inclinación presente ( $\Theta_p$ ) hasta alcanzar un ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) previsional en un instante futuro establecido en la etapa d), y a este escenario potencial están asociados los cálculos de:

- evolución del ángulo de inclinación del seguidor solar (1) durante el cambio de orientación partiendo del ángulo de inclinación presente ( $\Theta_p$ ) hasta alcanzar el ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) previsional, dependiendo esta evolución de la velocidad de desplazamiento en rotación del seguidor solar (1);
- la evolución del consumo de energía (Cons) necesaria para modificar la orientación del seguidor solar (1);
- la evolución de la producción de energía solar (Prod) suplementaria esperada con dicho cambio de orientación;
- la evolución del rendimiento energético (Rend) esperado basada en la diferencia entre la producción de energía solar y el consumo de energía;

y a continuación la orientación del seguidor solar (1) es servocontrolada sobre dicho ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) previsional si el rendimiento energético es globalmente positivo para el escenario, si no, la orientación del seguidor solar (1) se mantiene en el ángulo de inclinación presente.

2. Procedimiento de pilotaje según la reivindicación 1, en el que, en la etapa a), cada cartografía (5) es una cartografía bidimensional establecida según dos direcciones, una primera y una segunda direcciones y, en la etapa b), se calcula el ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) para cada cartografía (5) realizando las etapas siguientes:

- la cartografía (5) constituye un mapa de luminancia solar ( $Lum(i, j)$ ) distribuida según unas bandas (50(i)) paralelas a la primera dirección y asociadas respectivamente a diferentes ángulos de elevación ( $\Theta_i$ ) y según unas columnas (51(j)) paralelas a la segunda dirección y asociadas respectivamente a diferentes ángulos de azimut ( $R_j$ ), correspondiendo así a cada banda (50(i)) un ángulo de inclinación ( $\Theta_i$ ) del seguidor solar (1);

- calcular para cada banda (50(i)) un valor de luminancia equivalente ( $L_{eq}(i)$ ) a partir del conjunto de los valores de luminancia ( $lum(i, j)$ ) tomados en la banda (50(i));
  - 5 - calcular para cada banda (50(i)) un valor de luminancia percibida ( $L_{perc}(i)$ ) por el soporte seguidor (1) a partir de los valores de luminancia equivalentes ( $L_{eq}(i)$ ) calculados para todas las bandas y a partir de los ángulos de inclinación asociados a las bandas;
  - 10 - considerar que el ángulo de inclinación ( $\Theta_{opt}$ ) es el ángulo de inclinación asociado a la banda que presenta el valor de luminancia percibida más elevado.
3. Procedimiento de pilotaje según la reivindicación 2, en el que la primera dirección (X) es paralela al eje de rotación (A) del seguidor solar (1) y la segunda dirección (Y) es horizontal y ortogonal a la primera dirección (X).
- 15 4. Procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la observación de la cubierta nubosa se realiza según uno de los procedimientos siguientes:
- toma de imágenes del cielo a partir del suelo mediante un aparato de toma de vistas, tal como una cámara,
  - 20 - medición de la luminancia solar a partir del suelo mediante un conjunto de varias células fotosensibles;
  - recuperación de imágenes satélites del cielo por encima del seguidor solar (1).
- 25 5. Procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en la etapa b), se realiza una etapa de ponderación frecuencial aplicada sobre la observación que depende al mismo tiempo de una respuesta en frecuencia del sistema de la observación (2) y de una banda frecuencial útil para el sensor solar.
- 30 6. Procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que:
- para realizar la etapa a), se observa periódicamente la cubierta nubosa en varios instantes consecutivos, correspondiendo el instante t al instante presente y correspondiendo la duración P al periodo de tiempo entre dos observaciones consecutivas, de manera que a cada instante t está asociada una cartografía (5);
  - 35 - para realizar la etapa c), en cada instante presente t se calcula por lo menos una cartografía provisional (6) en un instante futuro  $t+nP$ , en el que n es un número entero no nulo, por lo menos a partir de las cartografías (5) establecidas en varios instantes pasados  $t-mP$ , en el que m es un número entero no nulo;
  - 40 - para realizar la etapa d), para cada cartografía provisional (6) en un instante futuro  $t+nP$  se calcula un ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) provisional.
- 45 7. Procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en la etapa d), se calcula el ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) para una cartografía provisional (6) según un procedimiento de cálculo equivalente al empleado en la etapa b) para calcular el ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) para una cartografía (5).
- 50 8. Procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en la etapa e), el servocontrol de la orientación del seguidor solar (1) se realiza asimismo en función de un ángulo de inclinación denominado directo establecido mediante un cálculo astronómico de la posición del sol.
9. Procedimiento de pilotaje según la reivindicación 8, en el que el ángulo de orientación presente corresponde al ángulo de inclinación directo.
- 55 10. Procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en la etapa e), el servocontrol de la orientación del seguidor solar (1) se realiza asimismo en función de un porcentaje de desgaste de órganos mecánicos del seguidor solar (1) solicitados en un cambio de orientación del seguidor solar (1) partiendo de un ángulo de inclinación presente ( $\Theta_p$ ) hasta alcanzar un ángulo de inclinación óptimo ( $\Theta_{opt}$ ) provisional establecido en un instante futuro en la etapa d).
- 60 11. Seguidor solar (1) de eje único orientable alrededor de un eje de rotación (A), del tipo que comprende una estructura fija (11) de anclaje al suelo y una plataforma (12) apropiada para soportar por lo menos un sensor solar (13), siendo dicha plataforma (12) accionable en rotación sobre la estructura fija (11) según dicho eje de rotación (A) mediante un sistema de accionamiento, estando dicho seguidor solar (1) caracterizado por que comprende además un sistema de observación (2) de la evolución en el tiempo de la cubierta nubosa por encima del seguidor solar (1) y una unidad de control (4) vinculada, por un lado, al sistema de observación (2) para
- 65

recibir sus datos de observaciones y, por otro lado, al sistema de accionamiento (3) para pilotar la rotación de la plataforma (12), en el que dicha unidad de control (4) está conformada para realizar las etapas b) a e) del procedimiento de pilotaje de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

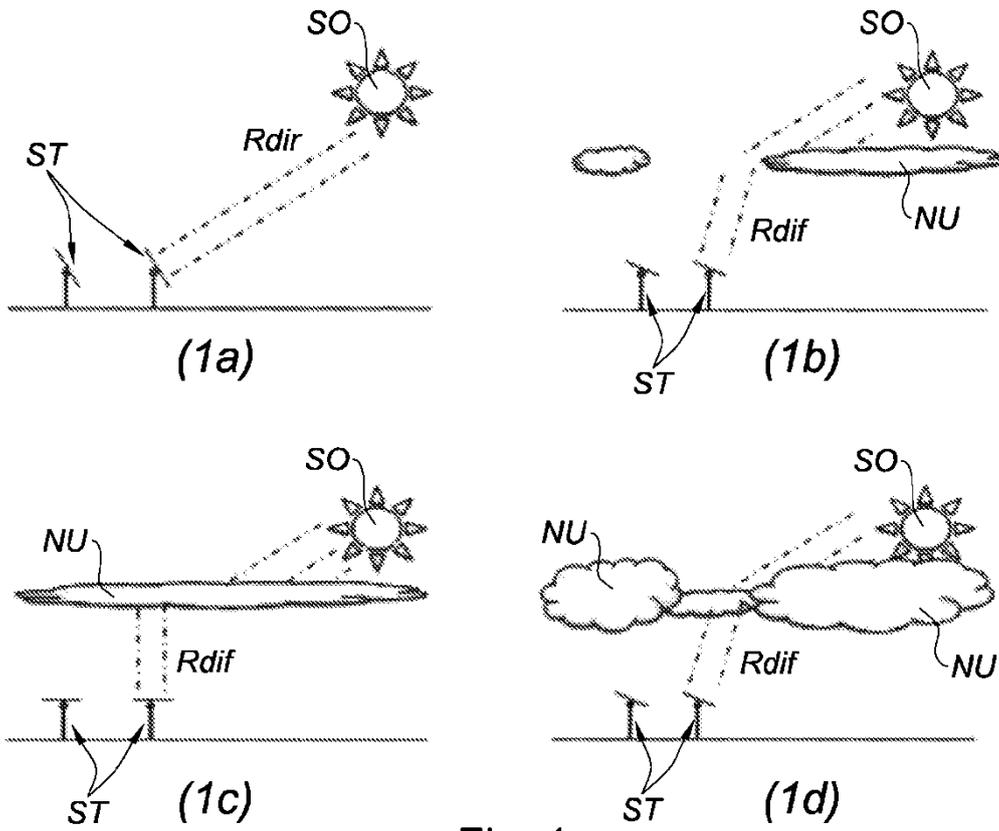


Fig. 1

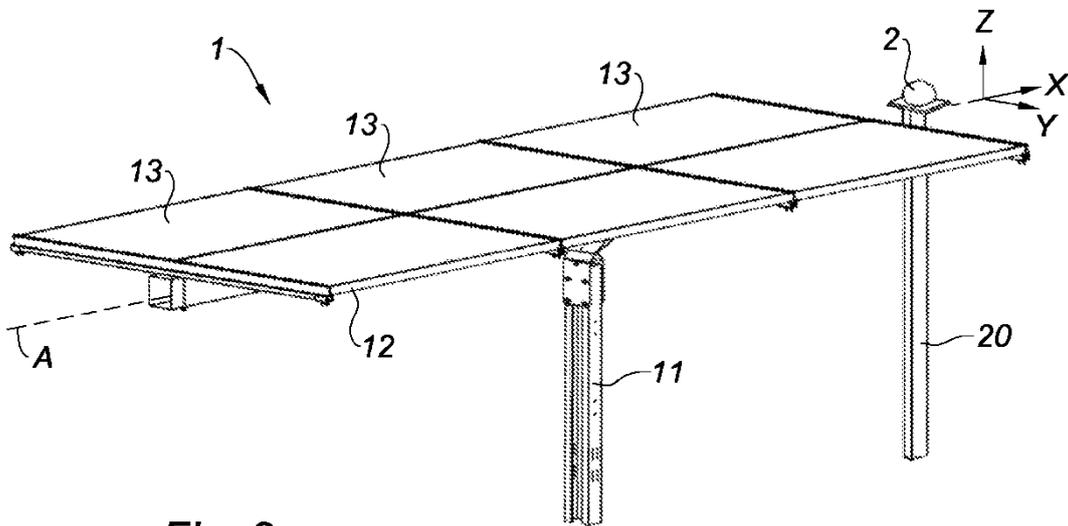


Fig. 2

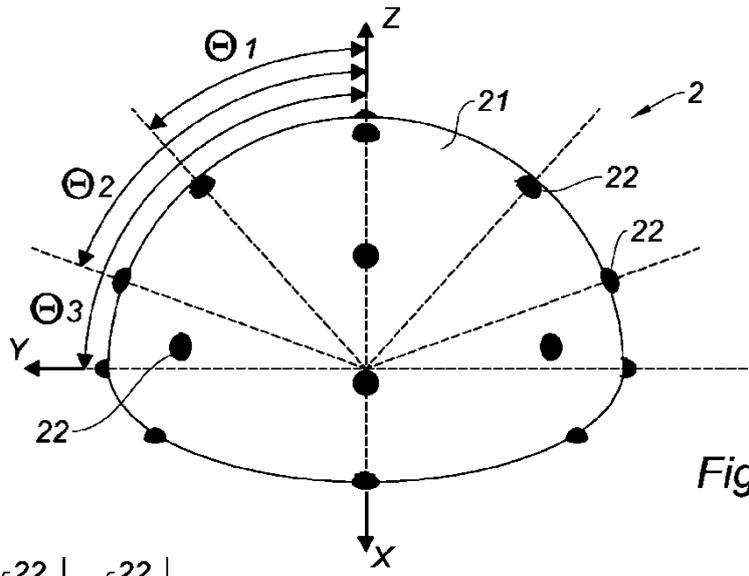


Fig. 3

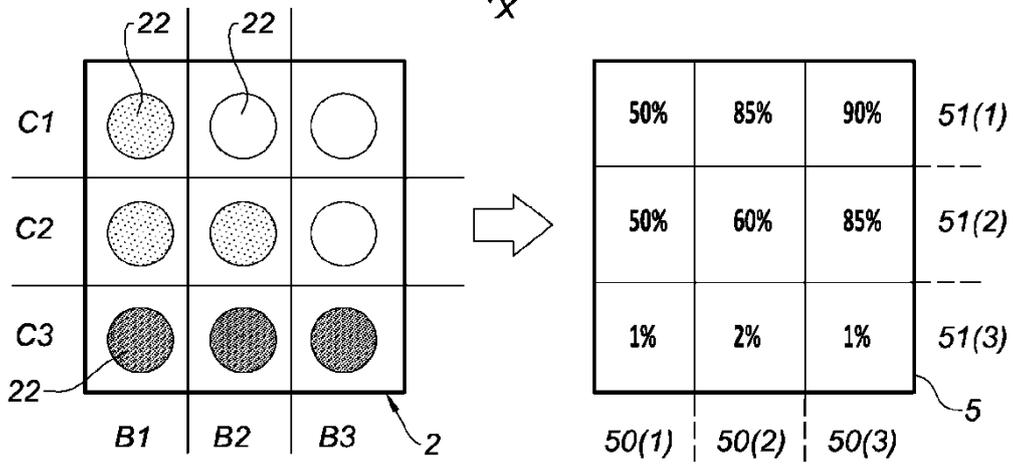


Fig. 4

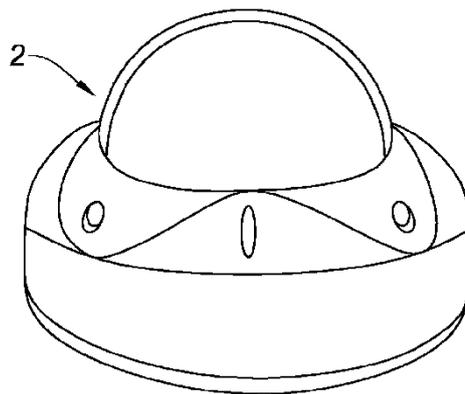


Fig. 5

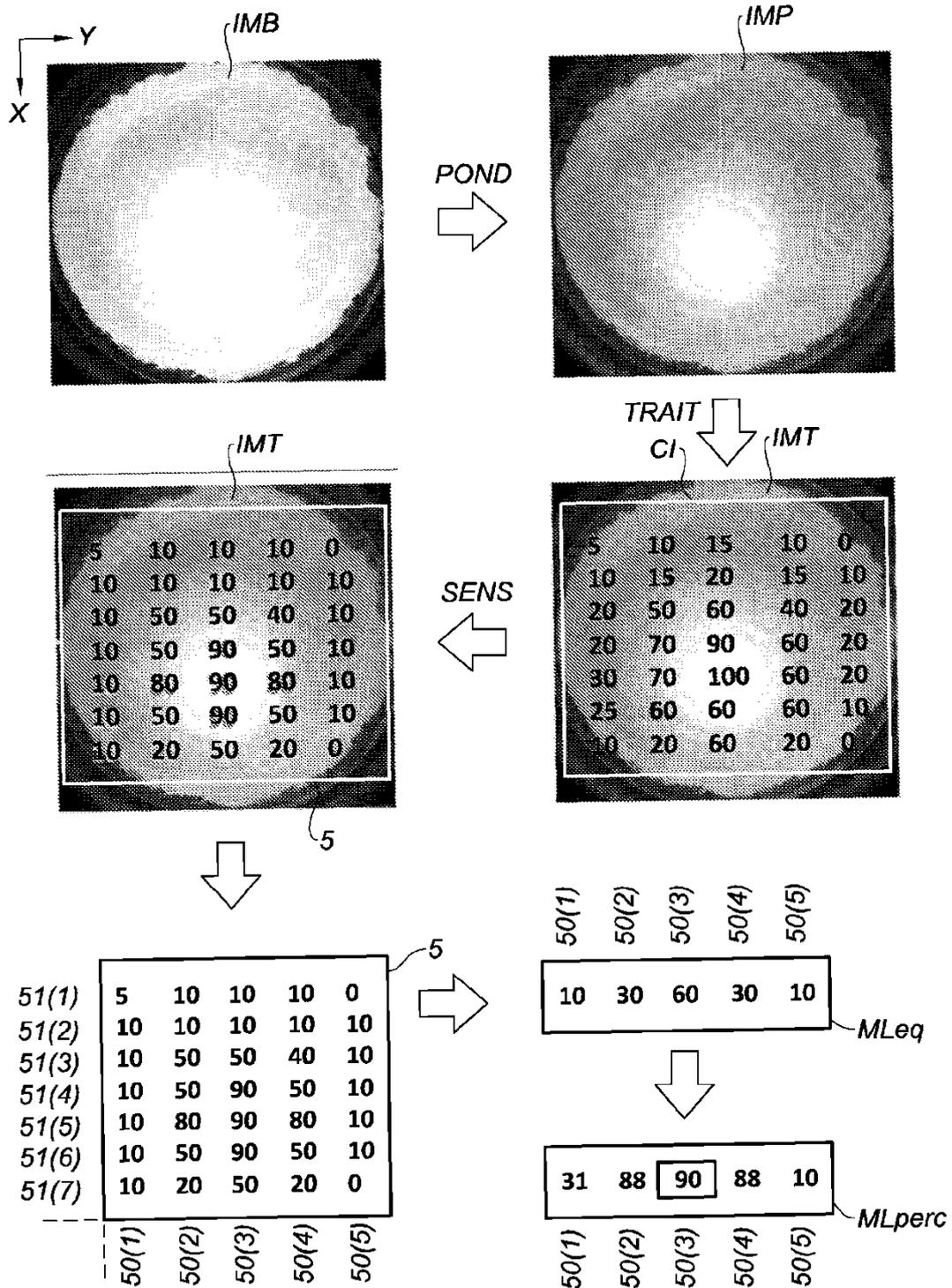


Fig. 6

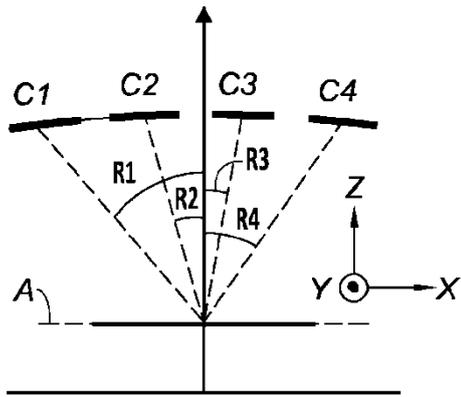


Fig. 7a

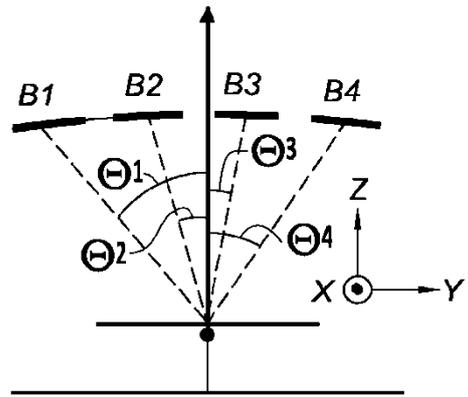
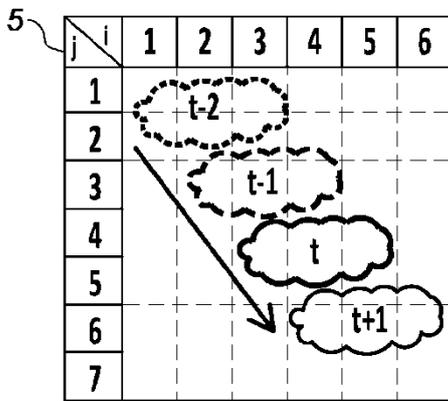
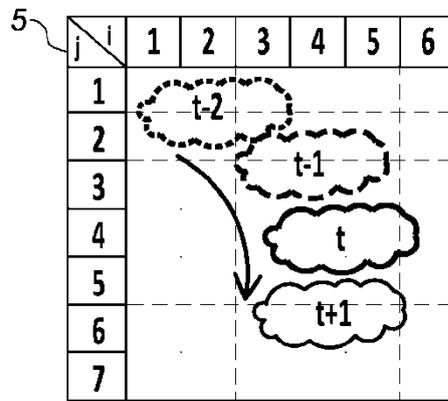


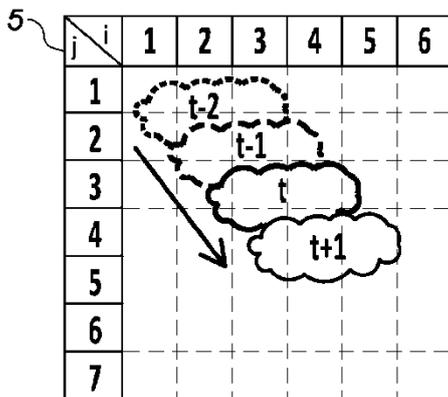
Fig. 7b



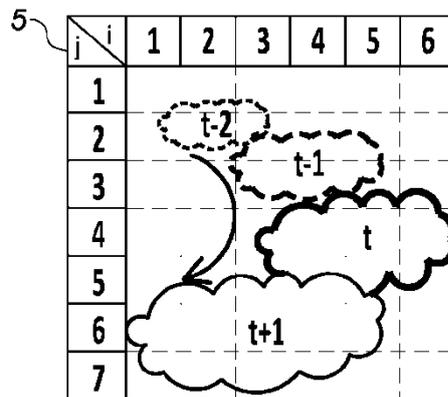
(8a)



(8b)



(8c)



(8d)

Fig. 8

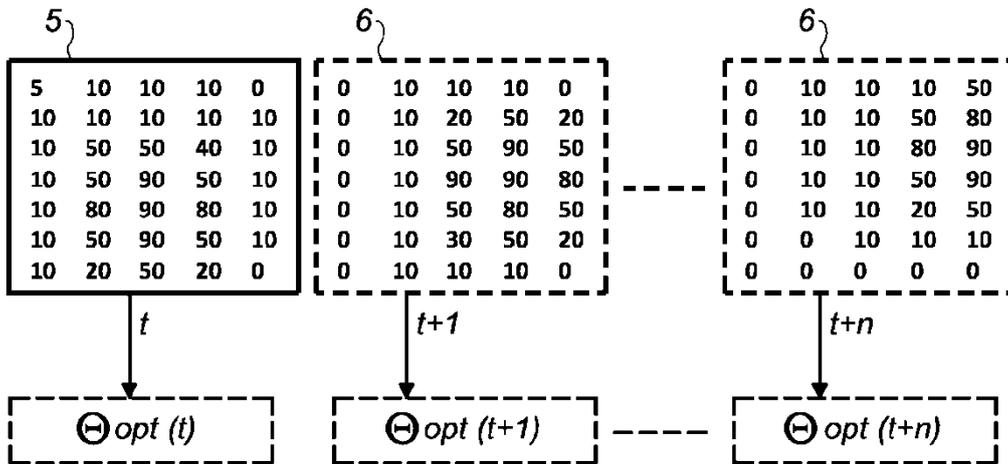


Fig. 9

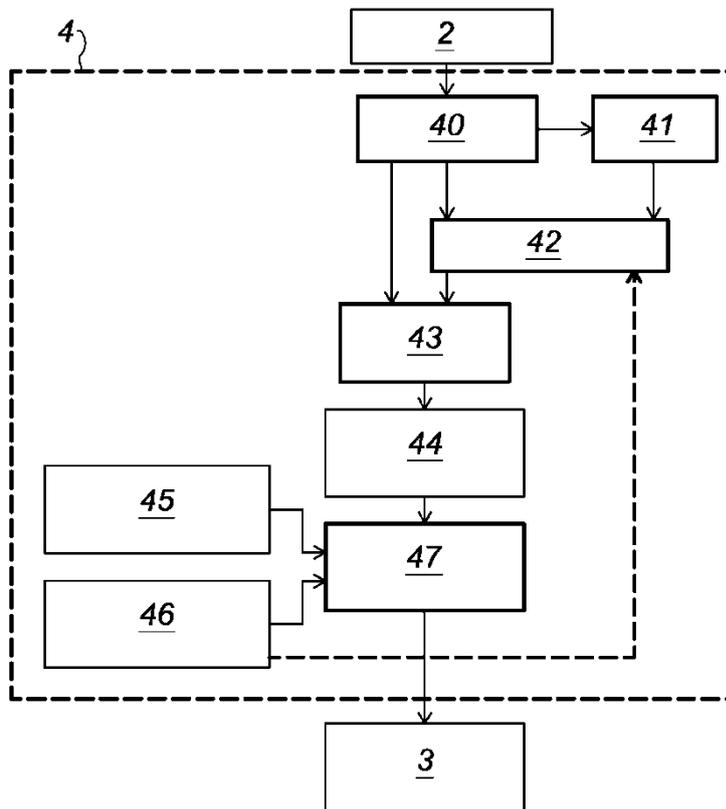


Fig. 10

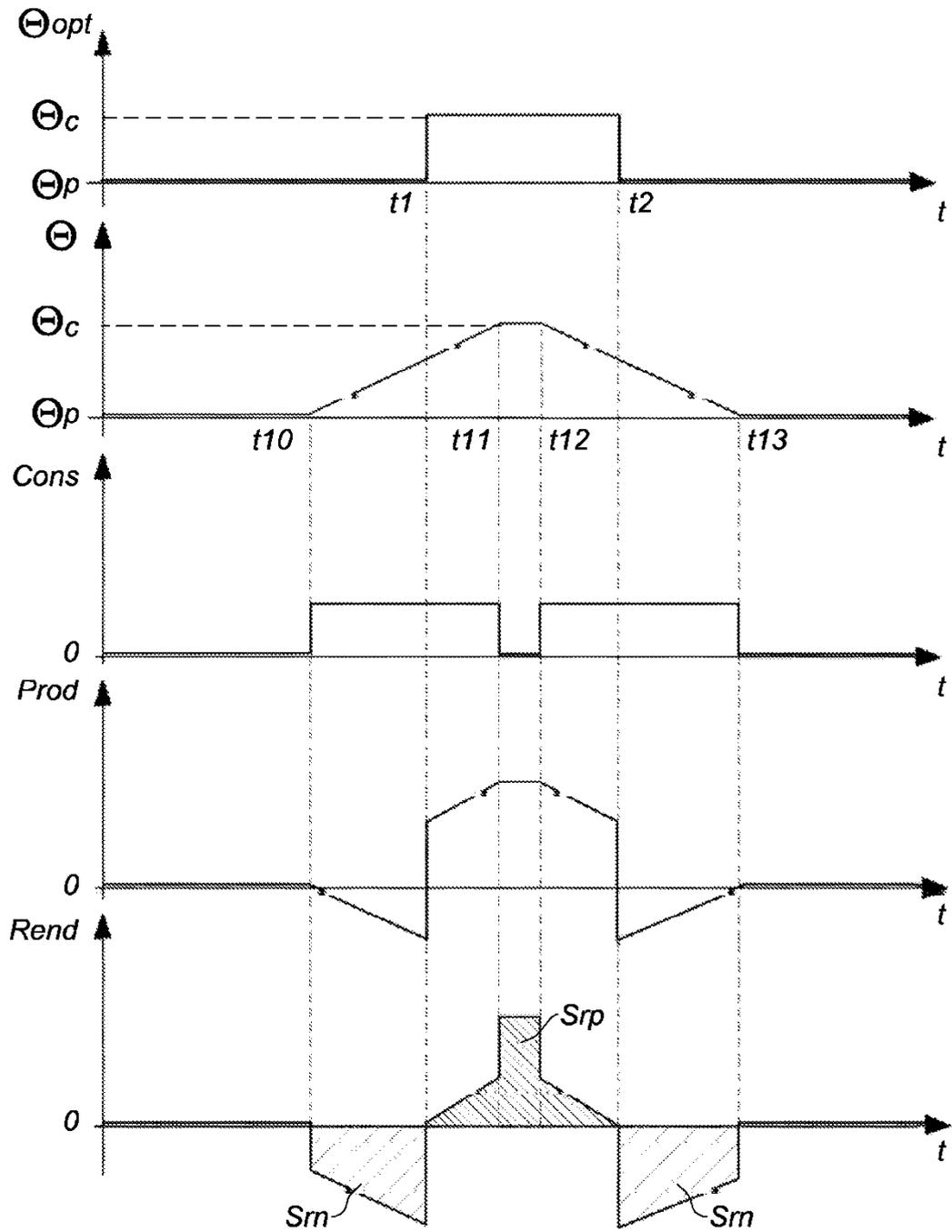


Fig. 11

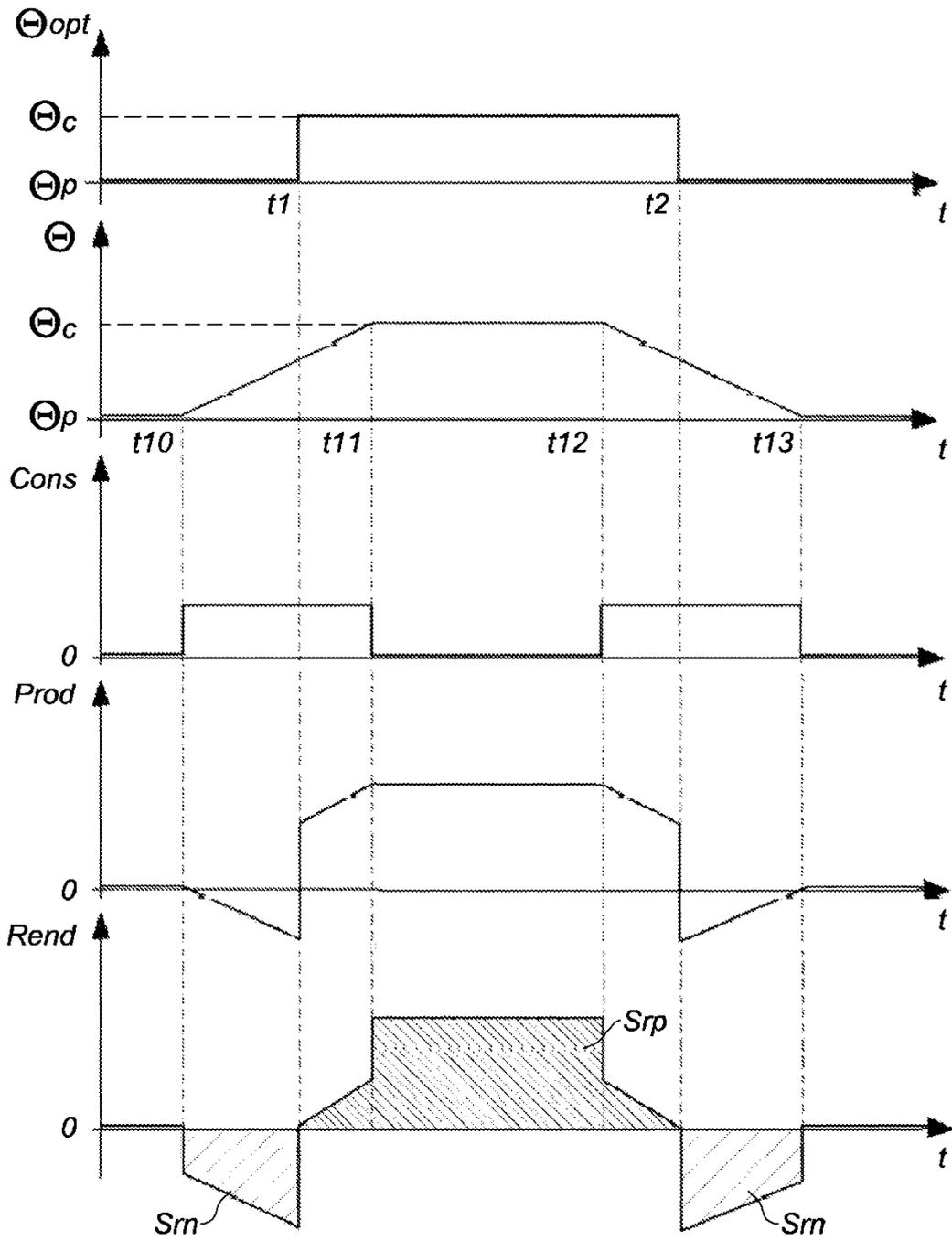


Fig. 12