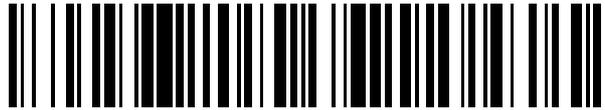


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 547 706**

51 Int. Cl.:

G02B 27/64 (2006.01)

H04N 5/232 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2013** **E 13731363 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2015** **EP 2753971**

54 Título: **Estabilización de una línea de visión de un sistema de formación de imágenes instalado a bordo de un satélite**

30 Prioridad:

06.06.2012 FR 1201632

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

08.10.2015

73 Titular/es:

AIRBUS DEFENCE AND SPACE SAS (100.0%)
51-61, Route de Verneuil
78130 Les Mureaux, FR

72 Inventor/es:

GEORGY, PIERRE-LUC

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 547 706 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

Estabilización de una línea de visión de un sistema de formación de imágenes instalado a bordo de un satélite

5 **Sector de la técnica**

La presente invención se refiere a un procedimiento de estabilización de una línea de visión de un sistema de formación de imágenes que está instalado a bordo de un satélite. Esta se refiere también a un sistema de formación de imágenes que está adaptado para permitir dicha estabilización.

10

Estado de la técnica

Es habitual utilizar imágenes que se captan de forma sucesiva desde un satélite para detectar variaciones de una línea de visión de formación de imágenes, y a continuación corregir esta línea de visión para compensar las variaciones de esta.

15

Cuando la línea de visión es fija con respecto al satélite, algunas modificaciones de la orientación del satélite entero que se realizan para compensar las variaciones de la línea de visión permiten estabilizar la actitud del satélite, es decir su orientación angular con respecto a unos puntos de referencia externos. En particular, estos puntos de referencia se pueden visualizar en las imágenes que se captan.

20

Otra aplicación de la estabilización de la línea de visión de un sistema de formación de imágenes que está instalado a bordo de un satélite consiste en reducir el desenfoque de las imágenes que se captan. Este desenfoque está causado por las variaciones involuntarias de la línea de visión que se producen mientras dura la exposición de los fotodetectores del sensor de imagen. Estas variaciones involuntarias pueden estar provocadas por las vibraciones que producen los elementos móviles del satélite, tales como los actuadores de control de actitud, o una rueda de filtros, o incluso del carburante en fase líquida.

25

El documento US 2009/021588 publicado el 22/01/2009 se refiere al movimiento de un dispositivo de formación de imágenes que se produce durante la exposición de una imagen. En particular, se refiere a las formas de realización de los procedimientos de tratamiento de señales digitales obtenidas por un sensor de imagen para determinar y corregir el movimiento del dispositivo.

30

De forma general, la estabilización de la línea de visión del sistema de formación de imágenes es más eficaz cuando el periodo de latencia es corto entre la aparición de una nueva variación de la línea de visión, por una parte, y el instante en que se obtiene el resultado de la caracterización de esta variación, por otra parte. Cuando este periodo de latencia es corto, se puede controlar de forma eficaz el sistema de control de actitud del satélite, o un soporte móvil del sistema de formación de imágenes, o incluso un sistema de apuntamiento variable, de tal modo que compense al menos en parte la variación de la línea de visión que se ha detectado y caracterizado. Dicho de otro modo, se puede estabilizar por tanto de forma eficaz la línea de visión, con una gran reactividad con respecto a sus variaciones involuntarias.

35

40

Otro objetivo general de los procedimientos de estabilización de la línea de visión consiste en producir caracterizaciones sucesivas de la dirección de esta línea de visión de acuerdo con una frecuencia de caracterización que sea lo suficientemente elevada.

45

Otro objetivo más de los procedimientos de estabilización de la línea de visión de un sistema de formación de imágenes que está instalado a bordo de un satélite consiste en permitir dicha estabilización con una precisión que sea elevada. En particular, es necesario caracterizar las variaciones de la línea de visión con una precisión superior a la que se puede obtener utilizando unos giroscopios o unos detectores estelares.

50

Por último, otro objetivo más de la invención consiste en la obtención de dicha estabilización mejorada de la línea de visión, que no precisa instalar a bordo del satélite unos equipos adicionales que sean pesados, voluminosos o caros. Dicho de otro modo, la invención pretende mejorar la estabilización de la línea de visión modificando lo menos posible los equipos que ya están presentes a bordo del satélite.

55

Objeto de la invención

Para conseguir estos objetivos y otros, la invención propone un nuevo procedimiento de estabilización de una línea de visión de un sistema de formación de imágenes que está instalado a bordo de un satélite, cuando este sistema de formación de imágenes comprende:

60

- un telescopio, que está dispuesto para formar una imagen de una escena en un plano focal siguiendo la línea de visión del sistema de formación de imágenes; y

65

- al menos un sensor matricial de imagen que está dispuesto en el plano focal, y adaptado para captar imágenes

5 sucesivas de acuerdo con un modo secuencial en el cual los fotodetectores del sensor se controlan de forma sucesiva e individual para una fase de acumulación de señal de detección de una radiación recibida seguida por una fase de lectura de una señal acumulada, de acuerdo con una orden de barrido de los fotodetectores que se repite de forma continua en bucle, correspondiendo cada repetición del barrido de los fotodetectores a una nueva imagen captada, y realizándose la fase de lectura para uno cualquiera de los fotodetectores al mismo tiempo que la fase de acumulación para otros de los fotodetectores.

10 Dicho de otro modo, el sensor de imagen que se utiliza para el procedimiento de la invención está adaptado para captar las imágenes en modo denominado "rolling shutter" en inglés, por oposición al modo denominado global, o "snapshot", para el cual la fase de acumulación de la señal de detección es síncrona para todos los fotodetectores, para captar una misma imagen.

15 En el procedimiento de la invención, para varias ventanas que están formadas cada una por un subconjunto diferente de fotodetectores adyacentes en el interior del sensor, y siendo cada ventana más pequeña que la superficie útil total del sensor, se compara una porción de imagen que se capta en una de las ventanas durante una de las repeticiones del barrido de los fotodetectores con un contenido de imagen de referencia para la misma ventana. De este modo, se puede caracterizar una variación de la línea de visión, entre la repetición del barrido de los fotodetectores y un barrido de referencia, y se obtiene una nueva caracterización de la variación de la línea de visión de forma separada para cada ventana en cada repetición del barrido de los fotodetectores. Se cambia entonces una orientación de una parte al menos del sistema de formación de imágenes de tal modo que se modifique la línea de visión, para compensar al menos parcialmente la variación de la línea de visión que se ha caracterizado.

20 De este modo, el procedimiento de estabilización de la invención utiliza el sensor de imagen que funciona en modo "rolling shutter", de modo que este sensor no se añade especialmente para estabilizar la línea de visión cuando ya está previsto para una función de formación de imágenes, en particular una función de formación de imágenes de alta resolución.

25 Por medio de la utilización de ventanas en el sensor para adquirir porciones de imagen que son reducidas, la duración total de la lectura de cada ventana es inferior al periodo de captación de una imagen completa con todos los fotodetectores del sensor. Aquella puede ser muy inferior a este último cuando la ventana es mucho más pequeña que la superficie total del sensor que se utiliza para la función de formación de imágenes. La porción de imagen que se capta en cada ventana en cada barrido del modo "rolling shutter" se compara con la que se ha captado durante un barrido anterior, pero la utilización de varias ventanas diferentes permite obtener comparaciones de porciones de imagen en la frecuencia del barrido del modo "rolling shutter" multiplicada por el número de ventanas. De este modo, la frecuencia de caracterización de las variaciones de la línea de visión es superior, y puede ser incluso muy superior, a la de la captación de imágenes completas por el sensor.

30 Además, gracias al tamaño reducido de las ventanas, estas se pueden leer con una duración total de lectura que sea corta para cada ventana. Este es el caso, en particular, cuando los fotodetectores de una misma ventana se leen de forma consecutiva, es decir unos a continuación de otros. Las porciones de imagen correspondientes constituyen también unas cantidades de datos que son reducidas, para las cuales se pueden realizar de forma rápida las operaciones de comparación y de correlación de contenidos de imágenes. Dicho de otro modo, el periodo de latencia entre la aparición de una nueva variación de la línea de visión y la obtención del resultado de su caracterización puede ser corto o muy corto. De este modo, se puede realizar una estabilización muy reactiva de la línea de visión.

35 Además, las variaciones de la línea de visión se caracterizan utilizando el mismo sensor de imagen que el de la función de formación de imágenes, que puede tener una resolución muy fina. De esta forma, las variaciones de la línea de visión se caracterizan con una sensibilidad y una precisión que son elevadas.

40 Una ventaja del procedimiento de la invención es resultado además del hecho de que la caracterización de las variaciones de la línea de visión se puede realizar mientras se captan las imágenes completas con el sensor, sin interrupción ni alteración de esta función de formación de imágenes.

45 Por último, el procedimiento de la invención no precisa componentes adicionales, ni las consiguientes adaptaciones, con respecto a los componentes ya previstos para la función de formación de imágenes.

50 En diferentes formas de aplicación de la invención, se pueden utilizar las siguientes mejoras, por separado o combinando varias de estas:

- 55 - se puede retomar el mismo contenido de imagen de referencia para varias caracterizaciones sucesivas de la variación de la línea de visión que se obtienen a partir de una misma de las ventanas, de tal modo que se utilice una misma dirección de referencia para estas caracterizaciones;
- 60 - como alternativa, para cada nueva caracterización de la variación de la línea de visión, el contenido de imagen

de referencia que se utiliza para cada ventana puede ser la porción de imagen que se ha captado en la misma ventana durante la repetición del barrido de los fotodetectores que corresponde a la caracterización de la variación de la línea de visión justo anterior a la nueva caracterización. Dicho de otro modo, una dirección de la línea de visión que es resultado de la caracterización anterior constituye una dirección de referencia para la nueva caracterización;

- 5
- las ventanas para las cuales se comparan las porciones de imágenes entre dos repeticiones del barrido de los fotodetectores pueden estar separadas en el interior del sensor;
- 10
- las ventanas para las cuales se comparan las porciones de imágenes entre dos repeticiones del barrido de los fotodetectores pueden corresponder a posiciones diferentes de una misma plantilla en el interior del sensor. Se determinan entonces las ventanas mediante traslaciones sucesivas de la plantilla en el interior del sensor a medida que avanza el barrido de los fotodetectores para cada imagen que se capta;
- 15
- se puede ponderar, seleccionar o rechazar un resultado de cada caracterización de la variación de la línea de visión en función de un contenido o de un nivel de calidad de la porción de imagen que se capta, y comparar con el contenido de imagen de referencia para esta caracterización;
- 20
- se pueden filtrar a continuación varios resultados de caracterizaciones de la variación de la línea de visión que se han obtenido de forma sucesiva para ventanas diferentes o para repeticiones diferentes del barrido de los fotodetectores, con respecto a una velocidad de variación de estos resultados;
- 25
- se puede calcular una variación media de la línea de visión a partir de varios resultados de caracterizaciones de la variación de la línea de visión que se han obtenido para ventanas diferentes o para repeticiones diferentes del barrido de los fotodetectores;
- 30
- se puede eliminar un error sistemático que puede estar presente en los resultados de las caracterizaciones sucesivas de la variación de la línea de visión, por ejemplo utilizando una descomposición de serie de Fourier. Para ello, el procedimiento de la invención puede comprender, además, las siguientes etapas:
- 35
- calcular la descomposición de serie de Fourier para los resultados de las caracterizaciones sucesivas de la variación de la línea de visión, en forma de una suma de componentes con variaciones periódicas que están asociadas respectivamente a unos valores de una frecuencia de variación de la línea de visión;
- 40
- aplicar una corrección en ciertas amplitudes de estas componentes con variaciones periódicas, de tal modo que se reduzcan las variaciones de estas amplitudes en unos intervalos que están limitados alrededor de múltiplos de la frecuencia del barrido de los fotodetectores; y a continuación
- 45
- calcular una recomposición de serie Fourier a partir de las componentes con variaciones periódicas, utilizando las amplitudes que se han corregido en el interior de los intervalos limitados alrededor de los múltiplos de la frecuencia del barrido de los fotodetectores, proporcionando esta recomposición de serie de Fourier unos resultados corregidos para las caracterizaciones sucesivas de la variación de la línea de visión;
- 50
- se puede realizar el barrido repetido de los fotodetectores para captar las imágenes sucesivas, en primer lugar en una primera frecuencia durante un primer periodo, y a continuación en una segunda frecuencia que es diferente de la primera frecuencia durante un segundo periodo, seleccionándose la primera y la segunda frecuencia de tal modo que los solapamientos de espectro que afectan a los resultados obtenidos durante cada periodo para la variación de la línea de visión sean diferentes. En este caso, el barrido de los fotodetectores durante uno del primero y del segundo periodo puede ser más lento que durante el otro de los periodos, utilizando un mismo número de fotodetectores para el modo secuencial que se implementa durante cada uno de los periodos. Como alternativa, el barrido que se realiza en la frecuencia más alta se puede restringir a un primer número de los fotodetectores del sensor de imagen, más pequeño que un segundo número de los fotodetectores del sensor de imagen que se utilizan para el barrido realizado en la frecuencia más baja; y
- 55
- se pueden disponer varios sensores matriciales de imagen en el plano focal para captar de forma simultánea imágenes respectivas de acuerdo con el modo secuencial que se implementa entonces de forma separada para cada sensor de imagen. En este caso, el barrido de los fotodetectores para el modo secuencial se puede repetir de manera ventajosa en una primera frecuencia para el primero de estos sensores de imagen y en una segunda frecuencia para el segundo de estos, con la primera y la segunda frecuencia que son diferentes y seleccionadas de tal modo que los múltiplos de la primera frecuencia no coincidan con los múltiplos de la segunda frecuencia.
- 60

De acuerdo con una forma preferente de implementación de la invención, se pueden prever varios canales de lectura de los fotodetectores del sensor de imagen para funcionar de manera simultánea y en paralelo. De esta forma, se puede aumentar aún más la frecuencia de caracterización de la variación de la línea de visión. Para ello, el sensor de imagen puede comprender al menos dos circuitos separados de control y de lectura que están dedicados respectivamente a unas partes complementarias del sensor formadas cada una por un subconjunto de

fotodetectores adyacentes, de tal modo que unas partes de imagen se captan respectivamente por las partes del sensor de acuerdo con el modo secuencial que se implementa de forma separada y simultánea en el interior de estas. Al menos una de las ventanas está definida en el interior de cada parte del sensor, y las porciones de imágenes que se captan en cada ventana en el interior de cada parte del sensor se comparan entre dos repeticiones diferentes del barrido de los fotodetectores de esta parte del sensor.

También se puede aumentar la frecuencia de caracterización de la variación de la línea de visión utilizando varios sensores de imagen en paralelo. Para ello, se pueden disponer unos sensores de imagen separados en el plano focal, de tal modo que capturen simultáneamente las imágenes respectivas de acuerdo con el modo secuencial implementado de forma separada para cada sensor. Se comparan entonces las porciones de imágenes que se captan en las ventanas en el interior de cada sensor entre dos repeticiones diferentes del barrido de los fotodetectores de este sensor, de forma simultánea para todos los sensores.

Para algunas aplicaciones de la invención entre las que está la reducción del desenfoque de las imágenes en movimiento, se puede cambiar la orientación de una parte al menos del sistema de formación de imágenes variando una orientación de un soporte móvil del sistema de formación de imágenes con respecto a una estructura principal del satélite. Como alternativa, se puede modificar de forma equivalente una orientación de un dispositivo de apuntamiento variable que está dispuesto para ajustar la línea de visión con respecto al sensor de imagen.

Para segundas aplicaciones de la invención entre las cuales está la estabilización de la actitud del satélite, se puede cambiar la orientación del sistema de formación de imágenes variando la actitud del satélite y manteniendo fija la línea de visión con respecto al satélite.

La invención propone también un sistema de formación de imágenes que está destinado a instalarse a bordo de un satélite, y que está adaptado para estabilizar una línea de visión de este sistema de formación de imágenes, comprendiendo:

- un telescopio, que está dispuesto para formar una imagen de una escena en un plano focal, siguiendo la línea de visión del sistema de formación de imágenes;
- al menos un sensor matricial de imagen, que está dispuesto en el plano focal, y adaptado para captar unas imágenes sucesivas de acuerdo con el modo secuencial; y
- una unidad de comparación de imágenes, que está adaptada para seleccionar varias ventanas formadas cada una por un subconjunto diferente de fotodetectores adyacentes en el interior del sensor, siendo cada ventana más pequeña que la superficie útil total del sensor, y adaptada para comparar una porción de imagen que se capta en una de las ventanas durante una de las repeticiones del barrido de los fotodetectores con un contenido de imagen de referencia para la misma ventana, de tal modo que se caracterice una variación de la línea de visión entre la repetición del barrido de los fotodetectores y un barrido de referencia, con una nueva caracterización de la variación de la línea de visión que se obtiene de forma separada para cada ventana en cada repetición del barrido de los fotodetectores; y
- una unidad de control, que está adaptada para controlar un cambio de una orientación de una parte al menos del sistema de formación de imágenes, de tal modo que modifique la línea de visión para compensar al menos parcialmente su variación.

Dicho sistema está adaptado para implementar un procedimiento de estabilización tal como se ha descrito con anterioridad.

En función de la aplicación de la invención, la unidad de control puede estar dispuesta para controlar un cambio de orientación, un desplazamiento o un funcionamiento de al menos un equipo móvil para compensar al menos parcialmente la variación de la línea de visión. Este equipo puede ser un soporte móvil del sistema de formación de imágenes que está adaptado para modificar la orientación de este último, un dispositivo de apuntamiento variable del sistema de formación de imágenes que está dispuesto para modificar la línea de visión con respecto al sensor de imagen, o también un sistema de control de actitud y de órbita del satélite. Eventualmente, varios de estos equipos móviles pueden controlarse de una forma combinada por la unidad de control.

Descripción de las figuras

Se mostrarán otras particularidades y ventajas de la presente invención en la siguiente descripción de unos ejemplos de implementación no limitativos, en referencia los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 representa de forma esquemática un satélite que está equipado con un telescopio de observación, al cual se puede aplicar la invención;
- las figuras 2a y 2b representan respectivamente dos sensores de imagen que funcionan en modo secuencial,

que se pueden utilizar para implementar la invención;

- la figura 3a es un diagrama temporal que ilustra una secuencia de un procedimiento de acuerdo con la invención, para caracterizar las variaciones de una línea de visión;
- la figura 3b corresponde a la figura 3a para una variante de la forma de caracterización de las variaciones de la línea de visión; y
- las figuras 4a a 4e ilustran una mejora de la invención, para eliminar un error sistemático de caracterización de la línea de visión.

Descripción detallada de la invención

En aras de la claridad, las dimensiones de los elementos que están representados en estas figuras no corresponden ni a dimensiones reales ni a relaciones de dimensiones reales. Además, las referencias idénticas que están indicadas en figuras diferentes designan elementos idénticos o que tienen funciones idénticas. En las figuras 3a y 3b, los pequeños círculos huecos simbolizan unas operaciones de correlación o de comparación de contenidos de imágenes, que producen los resultados de las caracterizaciones de variación de línea de visión.

La figura 1 representa de forma simbólica un satélite 100, que puede ser un satélite geoestacionario o un satélite de órbita baja alrededor de la Tierra. Está equipado con un telescopio 10, cuya línea de visión lleva la referencia LS por "line of sight" en inglés. A título ilustrativo, el telescopio 10 puede tener una estructura con dos espejos: un espejo primario 11 y un espejo secundario 12. Las referencias 13 y 14 designan respectivamente un espejo deflector y la entrada óptica del telescopio 10. El telescopio 10 forma la imagen de una porción de superficie de la Tierra en un plano focal, en el interior del cual está dispuesto un sensor de imagen 20. El sensor de imagen 20 es fijo con respecto al telescopio 10.

El objeto de la invención consiste en estabilizar de forma eficaz la línea de visión LS, para eliminar o reducir las variaciones involuntarias de esta línea de visión. Dichas variaciones pueden estar provocadas por vibraciones del propio satélite 100, causadas por ejemplo por la atmósfera terrestre residual en la altitud del satélite 100, o por los elementos móviles que están presentes a bordo de este.

Cuando se trata de estabilizar la línea de visión LS con el fin de la formación de imágenes por ejemplo, puede ser conveniente modificar la orientación del telescopio 10 con respecto a la estructura principal del satélite 100, si el telescopio está montado en la estructura por medio de un soporte móvil orientable (no representado). Como alternativa, se puede utilizar al menos un sistema de apuntamiento variable del telescopio, que puede ser un sistema de apuntamiento fino, un sistema de apuntamiento grueso o una combinación de los dos, para ajustar la línea de visión LS con respecto al sensor de imagen 20. El experto en la materia conoce la arquitectura y el funcionamiento de dichos sistemas de apuntamiento, por lo que no es necesario repetirlos aquí.

Por último, el telescopio 10 se puede fijar de forma rígida sobre el satélite 100 y la línea de visión LS se dirige hacia una zona de observación en la superficie de la Tierra ajustando directamente la actitud del propio satélite. En este caso, la estabilización de la línea de visión LS se obtiene controlando directamente un funcionamiento del sistema de control de órbita y de actitud del satélite 100, conocido por el acrónimo SCAO. La referencia 101 designa una representación simbólica de este sistema SCAO.

En referencia a la figura 2a, el sensor de imagen 20 comprende una matriz de fotodetectores 21 que están dispuestos en líneas y en columnas. Por ejemplo, este sensor de imagen puede comprender dos mil fotodetectores 21 de en sus dos direcciones de líneas y de columnas, que llevan las referencias respectivamente DL y DC. El sensor 20 está adaptado para captar imágenes de forma continua en modo secuencial, o "rolling mode". De acuerdo con esta forma particular de captación de imágenes, todos los fotodetectores 21 o una selección de entre estos se leen alternativamente de acuerdo con una orden de barrido fija de los fotodetectores, y cada nueva ejecución del barrido corresponde a una nueva imagen que se capta. Cada lectura de uno de los fotodetectores 21 es consecutiva a un periodo de exposición del fotodetector, durante el cual se acumula una señal eléctrica de manera proporcional a una intensidad luminosa que recibe este fotodetector durante el periodo de exposición. Dicho funcionamiento se puede implementar para una misión de formación de imágenes, en particular para una misión de observación en alta definición. Por ejemplo, la frecuencia de adquisición de las imágenes, que es igual a la frecuencia de repetición del barrido de los fotodetectores 21, puede ser del orden de 0,1 Hz (hercios). Cuando el barrido recorre todos los fotodetectores 21 del sensor 20, las imágenes que se captan se denominan a continuación imágenes de fotograma completo ("full frame images" en inglés), o modo de captación de imagen de fotograma completo ("full frame image capture mode").

La referencia 102 en la figura 1 designa una unidad de tratamiento de las imágenes que se captan. Esta está conectada en la entrada a una salida de datos del sensor de imagen 20, y en la salida a una unidad de mando 103, que está adaptada para controlar el funcionamiento del equipo móvil utilizado para modificar la dirección de la línea de visión LS.

De forma conocida, el orden de barrido de los fotodetectores 21 puede ser cualquiera con respecto a la ubicación de cada fotodetector en la matriz 20. La presente invención es compatible con cualquier orden de barrido, pero en aras de la simplicidad de la ilustración, las figuras 2a y 2b representan un (unos) barrido(s) que se realiza(n) de forma progresiva en la matriz 20 siguiendo cada línea en la dirección DL, y a continuación pasando a la línea siguiente en la dirección DC. Después de haber terminado de leer el último fotodetector 21 de la última línea, el barrido vuelve a comenzar sin interrupción en el primer detector de la primera línea, de forma cíclica.

Para implementar la invención, se definen varias ventanas en la matriz 20, que están formadas cada una por fotodetectores 21 adyacentes. De preferencia, los fotodetectores 21 de una misma ventana se pueden leer de forma consecutiva unos a continuación de los otros durante el barrido del modo secuencial, con el fin de reducir al máximo la duración total de la lectura de la ventana. Además, también se puede minimizar una distorsión de imagen en el interior de cada ventana, que se debe al modo secuencial de captación de imagen, mediante dicha lectura consecutiva. El mismo conjunto de ventanas se retoma en cada repetición del barrido.

La unidad de tratamiento 102 puede realizar la definición o el cálculo de las ventanas, así como unas operaciones de comparación o de correlación entre los contenidos de imagen que se captan en las diferentes ejecuciones del barrido del modo secuencial.

Las ventanas que se utilizan se pueden definir de varias formas. Por ejemplo, puede tratarse de unas ventanas fijas que se identifican mediante las coordenadas de los fotodetectores 21 en la matriz del sensor 20. En este caso, estas pueden estar separadas y distribuidas de forma regular por toda la superficie útil del sensor 20. Como alternativa, cada ventana puede ser el resultado de una plantilla de ventana, con unas dimensiones fijas pero que se desplaza en la matriz del sensor 20 a medida que se produce el barrido. Por otra parte dicha forma de definición de las ventanas puede ser ventajosa cuando el orden de recorrido de los fotodetectores 21 en el barrido del modo secuencial de captación de las imágenes está fijado. Cada ventana puede ser rectangular o cuadrada en el interior de la matriz, y consta de un número de fotodetectores 21 inferior, o muy inferior, al número total de fotodetectores del sensor de imagen 20. Por ejemplo, cada ventana puede constar de 100 x 100 fotodetectores, aunque la duración total de la lectura de una ventana puede ser 400 veces más corto que el de la matriz entera. En la figura 2a, se han fijado cuatro ventanas, que llevan las referencias 22a a 22d.

En la captación de una primera imagen de fotograma completo de acuerdo con el modo secuencial, se memoriza el contenido de imagen en el interior de cada ventana. A continuación, en cada captación posterior de una nueva imagen, el contenido de imagen de cada ventana se compara con el de la primera imagen captada para la misma ventana. Dicha comparación se puede realizar utilizando uno de los métodos conocidos de correlación de imágenes. Dichos métodos pueden implementar unos reajustes de contenido de imágenes unos con respecto a los otros, para obtener unas correlaciones entre contenidos de imágenes hasta unas escalas más finas que el paso de los fotodetectores en el sensor de imagen que se utiliza. De esta forma, se determina una variación de la línea de visión LS a partir de la variación de contenido de imagen para cada ventana entre el primer barrido y cada nuevo barrido del modo secuencial de captación de imagen. Dicho de otro modo, una ventana que se utiliza en la primera imagen captada se retoma en la imagen posterior, de tal modo que la variación de posición del contenido de imagen en esta ventana entre las dos ejecuciones del barrido permite medir la variación de la línea de visión LS. La frecuencia de obtención de un nuevo resultado de caracterización de la variación de la línea de visión LS es por lo tanto igual a la frecuencia de repetición del barrido del modo secuencial, multiplicada por el número de ventanas que se utilizan.

La figura 3a ilustra simbólicamente una secuencia completa de implementación de un procedimiento de acuerdo con la invención. El eje de las ordenadas señala todos los detectores 21 del sensor 20, indicando las ventanas 22a-22d. El eje de las abscisas señala el tiempo que lleva la referencia t, y cada valor entero que está indicado en este corresponde a un barrido adicional del conjunto de los fotodetectores 21 de acuerdo con el modo secuencial de captación de imagen. De este modo, se representan los barridos correspondientes a cuatro imágenes de fotograma completo que se captan de forma sucesiva, y Δt_f es la duración de cada barrido de fotograma completo. Para cada uno de los fotodetectores 21, la duración de la fase de acumulación es Δt_i y Δt_r la duración de la fase de lectura. Cuando todos los fotodetectores 21 de cada ventana se leen de forma sucesiva, las duraciones respectivas de lectura de las ventanas 22a-22d son respectivamente $\Delta t_a, \dots, \Delta t_d$, siendo $\Delta t_a = N_a \times \Delta t_r$ donde N_a es el número de los fotodetectores 21 que están en el interior de la ventana 22a, y lo mismo para las demás ventanas 22b-22d. Para el primer barrido de la matriz del sensor 20, se obtiene por lo tanto un contenido de imagen de referencia con la referencia R_a para la ventana 22a al final del periodo Δt_a . Del mismo modo, durante este mismo primer barrido, se obtiene un contenido de imagen de referencia con la referencia R_b para la ventana 22b al final del periodo Δt_b , y lo mismo también para las ventanas 22c y 22d. Para el segundo barrido de la matriz del sensor 20, se obtiene un contenido de imagen de medición que lleva la referencia M_a para la ventana 22a al final de un nuevo periodo Δt_a en el interior del periodo de adquisición de la segunda imagen completa. Del mismo modo, durante este mismo segundo barrido, también se obtienen los contenidos de imagen de medición M_b - M_d para las ventanas 22b-22d, respectivamente. Cuando se obtiene el contenido de imagen de medición M_a , este se compara con el contenido de imagen de referencia R_a para obtener el primer resultado C_1 de caracterización de la variación de la línea de visión LS. Δt_x es la duración de tratamiento que es necesaria para obtener el resultado C_1 a partir de los dos contenidos de imágenes R_a y M_a . Del mismo modo, también se obtienen los resultados C_2 - C_4 de caracterización de la variación

de la línea de visión LS para cada una de las ventanas 22b-22d durante el segundo barrido de la matriz del sensor 20, y la recogida de los resultados sucesivos C5,..., C12,... continúa de forma idéntica en los barridos posteriores. Para el procedimiento tal y como se ilustra en la parte inferior de la figura 3a, el contenido de imagen Ma que se obtiene en cada barrido de la matriz del sensor 20 a partir del segundo de estos barridos se compara con el mismo contenido de imagen de referencia Ra que se ha obtenido en el primer barrido. Del mismo modo, los contenidos de imagen de referencia Rb-Rd se retoman de forma idéntica en cada barrido posterior para compararlo con el contenido de imagen de medición Mb-Md para la ventana 22b-22d correspondiente. De este modo, la dirección de la línea de visión que corresponde a cada porción de imagen de referencia Ra-Rd se retoma como dirección de referencia para las variaciones que se caracterizan con posterioridad, de forma separada para cada ventana 22a-22d.

A partir de la segunda imagen de fotograma completo que capta el sensor 20, la frecuencia media de obtención de los resultados de caracterización de la variación de la línea de visión LS es la frecuencia de adquisición de las imágenes con todos los detectores de la matriz 20, multiplicada por el número N de las ventanas utilizadas, es decir $N \times 1/\Delta t_f$. La invención permite, por lo tanto, caracterizar la dirección instantánea de la línea de visión LS con una frecuencia de actualización que puede ser superior en un orden de magnitud al menos con respecto a la frecuencia de captación de las imágenes de observación cuando se utilizan más de diez ventanas.

La duración mínima que es necesaria para obtener un nuevo resultado para la variación de la línea de visión LS, a partir de una variación real de la dirección de la línea de visión, es $\Delta t_a + \Delta t_x$ para la ventana 22a, y con expresiones similares para las demás ventanas 22b-22d. Esta duración para cada ventana se llama habitualmente periodo de latencia. Este es muy inferior al que resultaría de una caracterización de la variación de la línea de visión realizada a partir de las imágenes de fotograma completo. En este último caso, es decir sin utilizar la invención, el periodo de latencia sería en efecto igual a la suma de Δt_f y de la duración de tratamiento necesaria para correlacionar dos imágenes de fotograma completo. Tradicionalmente, la invención permite reducir en más de dos órdenes de magnitud el periodo de latencia para caracterizar la variación de la línea de visión.

Con las primeras mejoras de la invención, se pueden ponderar, seleccionar o rechazar algunos al menos de los resultados de las caracterizaciones de la variación de la línea de visión LS entre la serie de todos los resultados C1, C2,... que se obtienen de forma sucesiva. Por ejemplo, un resultado que se obtiene para una ventana cuyo contenido de imagen de medición tiene poco contraste se puede asociar a un valor bajo de un coeficiente de fiabilidad, o bien a un valor nulo de este coeficiente que corresponde a un rechazo del resultado. Este puede ser el caso cuando el contenido de imagen de la ventana es una zona de cobertura nubosa en la superficie de la Tierra o una zona marítima. También se puede asignar un valor bajo del coeficiente de fiabilidad a todos los resultados que proceden de una misma ventana cuyo contenido de imagen de referencia presenta un contraste bajo o una mala calidad de imagen en la primera imagen que se capta.

Con las segundas mejoras de la invención, la serie de los resultados C1, C2,... que se obtienen de forma sucesiva para las variaciones de la línea de visión LS se puede tratar de diferentes formas. Por ejemplo, se puede cortar en subconjuntos sucesivos de resultados, siendo cada subconjunto el que contiene un número fijo de resultados que se han obtenido a su vez de forma sucesiva. Se puede entonces calcular una media de los resultados para la variación de la línea de visión LS para cada subconjunto, eventualmente utilizando unos valores de un coeficiente de fiabilidad que se han determinado de acuerdo con una de las primeras mejoras de la invención. Cuando el número de resultados elementales en cada subconjunto es igual al número de ventanas que se utilizan en la matriz del sensor 20, cada resultado de media corresponde a una variación de la línea de visión LS que está asociada a una nueva imagen de fotograma completo captada de acuerdo con el modo secuencial. Como alternativa, se puede aplicar un filtrado a los resultados elementales C1, C2,... que se obtienen para la variación de la línea de visión LS, de forma sucesiva para todas las ventanas y para las repeticiones del barrido. Por ejemplo, dicho filtrado puede consistir en promediar un número fijo de resultados elementales, de una forma deslizante con una separación progresiva en la serie ordenada de todos los resultados elementales que se obtienen de forma sucesiva. Dicho filtrado es de tipo paso bajo con respecto a la velocidad de variación de los resultados C1, C2... Como alternativa, se pueden aplicar otros filtrados, con unas características de los filtros que son diferentes.

Una tercera mejora de la invención que se describe a continuación permite eliminar un error sistemático que podría producirse en los resultados sucesivos C1, C2,... que se obtienen para las variaciones de la línea de visión LS. Dicho error sistemático puede derivar del hecho de que las direcciones de referencia para la línea de visión LS, que se utilizan para las caracterizaciones realizadas a partir de ventanas diferentes, son a su vez diferentes. Esta dificultad deriva del hecho de que se utilizan instantes de referencia distintos para fijar la dirección de referencia de la línea de visión LS para cada ventana, y la línea de visión LS puede haber variado entre estos instantes. Pero, un error de este tipo que afecta a la serie de los resultados C1, C2,... presenta un periodo temporal que es igual al de la repetición del barrido de la matriz del sensor 20, para el modo secuencial de captación de las imágenes. Es por tanto posible eliminar o reducir este error de varias formas, en particular utilizando los filtros de Wiener o de Kalman, o incluso a partir de una descomposición de serie de Fourier de la sucesión de los resultados elementales que se obtienen para la variación de la línea de visión LS. El principio de este último método se describe a continuación a título ilustrativo no limitativo, en referencia a las figura 4a a 4e. Este consiste en eliminar las componentes de Fourier cuyas frecuencias temporales son múltiplos de la de la repetición del barrido de los fotodetectores 21, o en llevar las

amplitudes de estas componentes a un nivel local medio mediante su suavizado.

En los diagramas de las figuras 4a, 4b y 4e, el eje de las abscisas indica el tiempo t como en la figura 3a, indicando el número de imagen de fotograma completo que se ha captado. Se supone que el número N de las ventanas utilizadas es lo suficientemente elevado para que las curvas de los diagramas 4b-4e se muestren continuas.

El diagrama de la figura 4a representa de manera esquemática un ejemplo de variaciones reales de la línea de visión LS, que se indican ΔLS_{real} en las ordenadas. Estas variaciones se representan en una única coordenada en los diagramas de las figuras 4a-4e para facilitar su visualización, sobreentendiéndose que estas corresponden en realidad a dos coordenadas angulares separadas.

El recuadro que lleva la referencia Ref en la figura 4a corresponde a la captación de la primera imagen, para la cual los contenidos de imagen en el interior de las ventanas se retoman posteriormente como contenidos de imagen de referencia.

La curva en línea continua del diagrama de la figura 4b une los resultados $C1, C2, \dots$ que se obtienen para la variación de la línea de visión LS utilizando la secuencia del procedimiento de la figura 3a. Estos resultados, que se recogen en el eje de las ordenadas con la referencia $\Delta LS_{\text{medición directa}}$, se deducen directamente de las comparaciones entre cada contenido de imagen de medición adquirido durante un barrido posterior, y el contenido de imagen de referencia correspondiente adquirido durante el barrido de captación de la primera imagen Ref. El desplazamiento real de la línea de visión LS que se ha producido durante este primer barrido Ref aparece por lo tanto de forma invertida como un error sistemático en todos los resultados sucesivos de caracterización de la línea de visión. Este error sistemático presenta por lo tanto un periodo temporal que es igual al periodo Δt_f del barrido de la trama completa del detector 20. La curva en línea discontinua del diagrama de la figura 4b se retoma en la figura 4a, ya que constituye la base de las variaciones de la línea de visión que se calculan, sobre la cual se superpone el error sistemático.

El diagrama de la figura 4c representa las amplitudes $A_{\text{Fourier directa}}$ de las componentes de la descomposición de Fourier de las variaciones que se han calculado para la línea de visión LS, tal como se representan en la curva en línea continua de esta figura 4b. El eje de las abscisas del diagrama es, por lo tanto, una frecuencia temporal, que se expresa en múltiplos de la frecuencia $1/\Delta t_f$ del barrido del modo secuencial. Las componentes cuyas frecuencias están situadas alrededor de la frecuencia nula corresponden a la variación real de la línea de visión LS en los barridos sucesivos del modo secuencial. Pero las componentes cuyas frecuencias son múltiplos de $1/\Delta t_f$ corresponden a las recuperaciones repetidas de las variaciones de la línea de visión que se producen durante el barrido de captación de la primera imagen Ref, a causa de las recuperaciones sucesivas de los contenidos de imagen de referencia para correlacionarlos con los contenidos de imágenes de medición.

Se realiza entonces un suavizado de la curva de las amplitudes de las componentes de Fourier, como se representa en el diagrama de la figura 4d. El suavizado se limita al interior de los intervalos de frecuencia que se extienden alrededor de los múltiplos sucesivos de $1/\Delta t_f$, y las amplitudes de las componentes de Fourier que de este modo se modifican se indican en el eje con la referencia $A_{\text{Fourier corregida}}$. Por intervalo que se extiende alrededor de cada múltiplo de $1/\Delta t_f$, se entiende por ejemplo un intervalo que se extiende hasta menos de $0,2/\Delta t_f$, o menos de $0,1/\Delta t_f$ a ambos lados del múltiplo de $1/\Delta t_f$.

A continuación se calcula una descomposición de Fourier inversa, o recomposición, a partir de las amplitudes suavizadas de las componentes de Fourier. El diagrama de la figura 4e ilustra el resultado de esta recomposición con la referencia $\Delta LS_{\text{corregida}}$: las variaciones medidas de la línea de visión que se han filtrado de este modo reproducen las variaciones reales de la figura 4a, sin el error causado por el desplazamiento de la línea de visión durante el barrido de captación de la primera imagen Ref.

Una cuarta mejora permite detectar las componentes de la variación real de la línea de visión LS, cuyas frecuencias son múltiplos de la del barrido del modo secuencial de captación de las imágenes. En efecto, por principio, estas componentes no se pueden detectar utilizando un muestreo que esté restringido por la frecuencia de repetición del barrido del modo secuencial. Para resolver esta limitación, se cambia de forma voluntaria la frecuencia de repetición del barrido del modo secuencial entre dos series de imágenes sucesivas. Por ejemplo, la captación de imágenes en modo secuencial se continúa durante un primer periodo de formación de imágenes de acuerdo con la frecuencia máxima que permite el sensor de imagen 20 con un funcionamiento de fotograma completo, que corresponde a la utilización de todos los fotodetectores. A continuación la captación de imágenes se puede realizar durante un segundo periodo de formación de imágenes aumentando la duración de un barrido de fotograma completo a un valor que es superior a Δt_f . De este modo, las frecuencias para las cuales las variaciones de la línea de visión no se pueden detectar, son diferentes entre los dos periodos de formación de imágenes. Si una componente con variación periódica de la línea de visión se prolonga al menos en parte en los dos periodos de formación de imágenes, esta se detecta entonces necesariamente durante uno al menos de los dos periodos de formación de imágenes. La duración de un barrido de fotograma completo se puede aumentar por ejemplo introduciendo de forma voluntaria unos retardos en el encadenamiento de las fases de acumulación y de lectura que se realizan para los fotodetectores en el barrido, sin modificar el número de fotodetectores que se utilizan. Como alternativa, la duración efectiva de un

barrido del modo secuencial se puede reducir manteniendo al mismo tiempo un flujo constante para la lectura de los fotodetectores, pero reduciendo el número de los fotodetectores que se utilizan en un barrido. Por ejemplo, se utiliza un número reducido de fotodetectores para las imágenes que se captan durante el segundo periodo de formación de imágenes, aunque la frecuencia del barrido del modo secuencial es más elevada durante el segundo periodo de formación de imágenes, que la que es efectiva durante el primer periodo de formación de imágenes. En particular, los fotodetectores que se utilizan durante el segundo periodo de formación de imágenes pueden estar limitados a un número determinado de columnas del sensor de imagen 20, contadas de forma progresiva a partir de un borde de este. Las ventanas que se utilizan durante el segundo periodo de formación de imágenes se sitúan entonces en el interior de este conjunto de columnas. Desde un punto de vista matemático, esta cuarta mejora consiste en modificar la frecuencia del barrido del modo secuencial para que los solapamientos de espectro, que están causados por los muestreos de medición de las variaciones de la línea de visión, sean diferentes para los dos periodos de formación de imágenes.

Cuando se utilizan varios sensores de imágenes distintos en el plano focal, por ejemplo para captar en imágenes de forma simultánea y respectivamente los elementos de escena que están contenidos en partes diferentes del campo de observación, también se puede implementar la cuarta mejora de la invención modificando la frecuencia de lectura entre algunos al menos de los sensores. De esta forma, las frecuencias para las cuales las variaciones de la línea de visión no se pueden detectar, porque estas coinciden con múltiplos de frecuencias de repetición del barrido del modo secuencial, difieren de un sensor a otro. Dicho de otro modo, uno de los sensores de imagen resuelve las carencias espectrales de otro de los sensores, para restituir el conjunto de los valores de frecuencia posibles para las variaciones de la línea de visión mediante la unión de los intervalos espectrales en los que cada uno de los sensores es eficaz. Por ejemplo, la frecuencia de repetición del barrido del modo secuencial puede ser inicialmente de 5 Hz (hercios) para todos los sensores de imagen pero, para uno de los sensores, se puede introducir una pausa de 50 ms (milisegundos) después de cada barrido completo de sus fotodetectores. Para este sensor, la frecuencia aparente de repetición del barrido del modo secuencial pasa a 4 Hz, mientras que esta se mantiene igual en 5 Hz para el (los) otro(s) sensor(es).

Como alternativa a la cuarta mejora de la invención que se acaba de describir, las componentes de la variación de la línea de visión LS que presentan unas frecuencias múltiplos de la del barrido del modo secuencial de captación de imágenes, se pueden determinar utilizando otros medios distintos de los del sistema de formación de imágenes. Por ejemplo, las amplitudes de estas componentes se pueden determinar a partir de unas mediciones que se realizan utilizando unos sensores inerciales del satélite 100, como unos giroscopios, o utilizando unos sensores estelares. Los resultados de dichas mediciones complementarias se pueden combinar con los que se obtienen utilizando el sistema de formación de imágenes de acuerdo con la invención.

En la secuencia de procedimiento que se representa en la figura 3a, el mismo contenido de imagen que se capta en el primer barrido Ref, se retoma en cada barrido posterior para comparar los contenidos de imagen de medición que se leen sucesivamente con los contenidos de imagen de referencia resultantes del primer barrido para cada ventana. La figura 3b corresponde a la parte inferior de la figura 3a para una variante de implementación de la invención, y se retoman las mismas referencias. De acuerdo con la variante de la figura 3b, en cada nueva repetición del barrido del modo secuencial, el contenido de imagen de cada ventana se compara con el obtenido para la misma ventana en la repetición anterior del barrido. Dicho de otro modo, cada contenido de imagen que se lee en una ejecución del barrido del modo secuencial de captación de imagen para una de las ventanas, se utiliza como contenido de imagen de referencia para la misma ventana en la caracterización de la línea de visión que resulta de la ejecución siguiente del barrido.

La figura 2b corresponde a la figura 2a para otra variante de implementación de la invención. De acuerdo con esta otra variante, el sensor de imagen 20 está equipado con varios, por ejemplo dos, circuitos de control y de lectura de los fotodetectores, que están dedicados cada uno a una parte complementaria del sensor 20. De este modo, los fotodetectores de una primera mitad 20a de la superficie útil del sensor 20 los controla y lee un primer circuito (no representado), y los de una segunda mitad 20b de la superficie útil los controla y lee un segundo circuito (tampoco representado), separado del primero. La utilización en paralelo de varios circuitos de control y de lectura combinados con una misma matriz de fotodetectores la conoce bien el experto en la materia. Se pueden realizar unas operaciones de captación de imagen en modo secuencial en paralelo y de forma simultánea en cada mitad de sensor 20a, 20b, aunque la duración total de captación de una imagen de fotograma completo se divide por dos. El procedimiento de la invención se puede por tanto implementar en el interior de cada mitad de sensor 20a, 20b, al utilizar al menos una ventana en el interior de cada una de estas. De este modo, las ventanas 22a-22c están situadas en la mitad 20a del sensor de imagen 20, y las ventanas 22d-22f están situadas en la mitad 22b del mismo sensor. Esta variante de la invención permite duplicar la frecuencia máxima de las variaciones de la línea de visión LS que se pueden medir.

De acuerdo con otra variante más de implementación de la invención, cuyo objetivo es también aumentar la frecuencia máxima de las variaciones de la línea de visión que se pueden medir, el sensor de imagen 20 se puede sustituir por varios sensores independientes que se sitúan en el plano focal del telescopio 10. Se entiende por varios sensores independientes unos sensores matriciales del tipo del de la figura 2a, y que tienen unas matrices respectivas y separadas de fotodetectores. Los resultados de las caracterizaciones de la variación de la línea de

visión que se obtienen a partir de las imágenes captadas por los diferentes sensores se agrupan en una serie única ordenada cronológicamente, que se puede tratar como se ha descrito con anterioridad.

- 5 Para las dos variantes con varios circuitos de control y de lectura que están asociados al mismo sensor, y de varios sensores independientes que están dispuestos en el plano focal, las ventanas se seleccionan de preferencia en el interior de cada parte de sensor o de cada sensor para que se lean todas en unos instantes que son diferentes. De esta forma, se puede obtener una precisión superior para caracterizar las variaciones de la línea de visión, a partir del conjunto de las ventanas así seleccionadas. Además, estas dos variantes se pueden combinar con una cualquiera de las cuatro mejoras que se han descrito, o con varias de estas. En particular, la variante de
- 10 implementación que se ilustra en la figura 3b puede presentar un error sistemático que afecta a las caracterizaciones sucesivas de la variación de la línea de visión, similar a la de la forma de implementación de la figura 3a. Esta se puede eliminar por tanto de la misma forma utilizando la tercera mejora descrita.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de estabilización de una línea de visión (LS) de un sistema de formación de imágenes instalado a bordo de un satélite (100), comprendiendo dicho sistema de formación de imágenes:

- un telescopio (10) dispuesto para formar una imagen de una escena en un plano focal siguiendo la línea de visión del sistema de formación de imágenes; y
- al menos un sensor matricial de imagen (20) dispuesto en el plano focal, y adaptado para captar imágenes sucesivas de acuerdo con un modo secuencial, en el cual los fotodetectores (21) del sensor se controlan de forma sucesiva e individual para una fase de acumulación de señal de detección de una radiación recibida seguida por una fase de lectura de una señal acumulada, de acuerdo con una orden de barrido de los fotodetectores que se repite de forma continua en bucle, correspondiendo cada repetición del barrido de los fotodetectores a una nueva imagen captada, y realizándose la fase de lectura para uno cualquiera de los fotodetectores al mismo tiempo que la fase de acumulación para otros de los fotodetectores;

según el cual, para varias ventanas (22a-22d) formadas cada una por un subconjunto diferente de fotodetectores adyacentes en el interior del sensor, y siendo cada ventana más pequeña que la superficie útil total del sensor, se compara una porción de imagen (Ma-Md) que se capta en una de las ventanas en una de las repeticiones del barrido de los fotodetectores con un contenido de imagen de referencia (Ra-Rd) para la misma ventana de tal modo que se caracterice una variación de la línea de visión entre dicha repetición del barrido de los fotodetectores y un barrido de referencia, y obteniéndose una nueva caracterización de la variación de la línea de visión de forma separada para cada ventana en cada repetición del barrido de los fotodetectores; y según el cual se cambia una orientación de una parte al menos del sistema de formación de imágenes de tal modo que se modifique la línea de visión para compensar al menos parcialmente la variación de dicha línea de visión.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, según el cual se retoma el mismo contenido de imagen de referencia (Ra-Rd) para varias caracterizaciones sucesivas de la variación de la línea de visión (LS) obtenidas a partir de una misma de las ventanas, de tal modo que se utilice una misma dirección de referencia para dichas caracterizaciones de la variación de la línea de visión.

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, según el cual para cada nueva caracterización de la variación de la línea de visión (LS), el contenido de imagen de referencia utilizado para cada ventana (22a-22d) es la porción de imagen que se ha captado en la misma ventana en la repetición del barrido de los fotodetectores (21) que corresponde a la caracterización de la variación de la línea de visión justo anterior a dicha nueva caracterización, de tal modo que una dirección de la línea de visión resultante de la caracterización anterior constituye una dirección de referencia para la nueva caracterización

4. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual las ventanas (22a-22d) para las cuales se comparan las porciones de imágenes entre dos repeticiones del barrido de los fotodetectores (21) están separadas en el interior del sensor (20).

5. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual las ventanas (22a-22d) para las cuales se comparan las porciones de imágenes entre dos repeticiones del barrido de los fotodetectores (21) corresponden a unas posiciones diferentes de una misma plantilla en el interior del sensor (20), y las ventanas se determinan mediante las traslaciones sucesivas de la plantilla en el interior del sensor a medida que avanza el barrido de los fotodetectores para cada imagen captada.

6. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual el sensor de imagen (20) comprende al menos dos circuitos separados de control y de lectura dedicados respectivamente a unas partes del sensor (20a, 20b) complementarias y formadas cada una por un subconjunto de fotodetectores (21) adyacentes, de tal modo que las partes de imagen se captan respectivamente por las partes del sensor según el modo secuencial implementado de forma separada y simultánea en el interior de dichas partes del sensor, estando al menos una de las ventanas (20a-20f) definida en el interior de cada parte del sensor, y según el cual se comparan las porciones de imágenes captadas en cada ventana en el interior de cada parte del sensor, entre dos repeticiones diferentes del barrido de los fotodetectores de dicha parte del sensor.

7. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual varios sensores de imágenes separados están dispuestos en el plano focal de tal modo que capten de forma simultánea imágenes respectivas de acuerdo con el modo secuencial implementado de forma separada para cada sensor, y según el cual se comparan las porciones de imágenes captadas en unas ventanas en el interior de cada sensor, entre dos repeticiones diferentes del barrido de los fotodetectores de dicho sensor, de forma simultánea para dichos varios sensores.

8. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual se pondera, se selecciona o se rechaza un resultado de cada caracterización de la variación de la línea de visión (LS) en función de un contenido o de un nivel de calidad de la porción de imagen que se capta y se compara con el contenido de

imagen de referencia para dicha caracterización.

5 9. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual se filtran a continuación varios resultados de caracterizaciones de la variación de la línea de visión (LS), que se han obtenido de forma sucesiva para unas ventanas (22a-22d) diferentes o para unas repeticiones diferentes del barrido de los fotodetectores (21), con respecto a una velocidad de variación de dichos resultados.

10 10. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual se calcula una variación media de la línea de visión (LS) a partir de varios resultados de caracterizaciones de la variación de la línea de visión que se han obtenido para unas ventanas (22a-22d) diferentes o para unas repeticiones diferentes del barrido de los fotodetectores (21).

15 11. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además las siguientes etapas:

- calcular una descomposición de serie de Fourier para unos resultados de caracterizaciones sucesivas de la variación de la línea de visión (LS), en forma de una suma de componentes con variaciones periódicas respectivamente asociadas a unos valores de una frecuencia de variación de la línea de visión;
- 20 - aplicar una corrección en ciertas amplitudes de las componentes con variaciones periódicas, de tal modo que se reduzcan las variaciones de dichas amplitudes en unos intervalos limitados alrededor de múltiplos de la frecuencia del barrido de los fotodetectores (21); y a continuación
- calcular una recomposición de serie de Fourier a partir de las componentes con variaciones periódicas, utilizando las amplitudes corregidas en interior de los intervalos limitados alrededor de los múltiplos de la frecuencia del barrido de los fotodetectores, proporcionando dicha recomposición de serie de Fourier unos resultados corregidos para las caracterizaciones sucesivas de la variación de la línea de visión.

30 12. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual el barrido repetido de los fotodetectores (21) para captar las imágenes sucesivas se realiza, en primer lugar, en una primera frecuencia durante un primer periodo, y a continuación en una segunda frecuencia diferente de la primera frecuencia durante un segundo periodo, seleccionándose la primera y la segunda frecuencia de tal modo que unos solapamientos de espectro, que afectan a los resultados obtenidos durante cada periodo para la variación de la línea de visión (LS), sean diferentes.

35 13. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, según el cual el barrido de los fotodetectores (21) durante uno del primero y del segundo periodo es más lento que durante el otro de dichos periodos, utilizando un mismo número de fotodetectores para el modo secuencial que se implementa durante cada uno de dichos periodos.

40 14. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, según el cual el barrido que se realiza en la frecuencia más elevada está restringido a un primer número de los fotodetectores (21) del sensor de imagen (20), más pequeño que un segundo número de los fotodetectores de dicho sensor de imagen utilizados para el barrido que se realiza en la frecuencia más baja.

45 15. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual varios sensores matriciales de imagen están dispuestos en el plano focal para captar de forma simultánea unas imágenes respectivas de acuerdo con el modo secuencial implementado de forma separada para cada sensor de imagen, y según el cual el barrido de los fotodetectores para el modo secuencial se puede repetir en una primera frecuencia para el primero de dichos sensores de imagen y en una segunda frecuencia para el segundo de dichos sensores de imagen, siendo la primera y la segunda frecuencia diferentes y seleccionándose de tal modo que los múltiplos de la primera frecuencia no coincidan con los múltiplos de la segunda frecuencia.

50 16. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, según el cual se cambia la orientación de la parte del sistema de formación de imágenes (10) variando una orientación de un soporte móvil de dicho sistema de formación de imágenes con respecto a una estructura principal del satélite (100), o variando una orientación de un dispositivo de apuntamiento variable dispuesto para ajustar la línea de visión (LS) con respecto al sensor de imagen (20).

60 17. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, según el cual se cambia la orientación del sistema de formación de imágenes (10) variando una actitud del satélite (100) y manteniendo fija la línea de visión (LS) con respecto al satélite.

65 18. Sistema de formación de imágenes destinados a instalarse a bordo de un satélite (100) y adaptado para estabilizar la línea de visión (LS) de dicho sistema de formación de imágenes, que comprende:

- un telescopio (10) dispuesto para formar una imagen de una escena en un plano focal, siguiendo la línea de visión del sistema de formación de imágenes;
- al menos un sensor matricial de imagen (20) dispuesto en el plano focal, y adaptado para captar unas imágenes

- 5 sucesivas de acuerdo con un modo secuencial, en el cual unos fotodetectores (21) del sensor se controlan de forma sucesiva e individual para una fase de acumulación de señal de detección de una radiación recibida seguida por una fase de lectura de una señal acumulada, de acuerdo con una orden de barrido de los fotodetectores que se repite de forma continua en bucle, correspondiendo cada repetición del barrido de los fotodetectores a una nueva imagen captada, y realizándose la fase de lectura para uno cualquiera de los fotodetectores al mismo tiempo que la fase de acumulación para otros de los fotodetectores; y
- 10 - una unidad de comparación de imágenes (102), adaptada para seleccionar varias ventanas (22a-22d) formadas cada una por un subconjunto diferente de fotodetectores adyacentes en el interior del sensor, siendo cada ventana más pequeña que la superficie útil total del sensor, y adaptada para comparar una porción de imagen (Ma-Md) que se ha captado en una de las ventanas en una de las repeticiones del barrido de los fotodetectores con un contenido de imagen de referencia (Ra-Rd) para la misma ventana, de tal modo que se caracterice una variación de la línea de visión entre dicha repetición del barrido de los fotodetectores y un barrido de referencia, y adaptada para obtener una nueva caracterización de la variación de la línea de visión de forma separada para cada ventana en cada repetición del barrido de los fotodetectores; y
- 15 - una unidad de control (103) adaptada para controlar un cambio de una orientación de una parte al menos del sistema de formación de imágenes, de tal modo que se modifique la línea de visión para compensar al menos parcialmente la variación de dicha línea de visión.
- 20 19. Sistema de acuerdo con la reivindicación 18, adaptado para implementar un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15.
- 25 20. Sistema de acuerdo con la reivindicación 18 o 19, que comprende además un soporte móvil del sistema de formación de imágenes dispuesto para modificar una orientación de dicho sistema de formación de imágenes, y la unidad de control está dispuesta para controlar un cambio de una orientación del soporte móvil, de tal modo que modifique la línea de visión (LS) para compensar al menos parcialmente la variación de dicha línea de visión.
- 30 21. Sistema de acuerdo con la reivindicación 18 o 19, que comprende además un dispositivo de apuntamiento variable dispuesto para modificar la línea de visión (LS) con respecto al sensor de imagen (20), y la unidad de control está dispuesta para controlar un desplazamiento del dispositivo de apuntamiento variable de tal modo que compense al menos parcialmente la variación de dicha línea de visión.
- 35 22. Sistema de acuerdo con la reivindicación 18 o 19, en el cual la unidad de control (103) está adaptada para controlar el funcionamiento de un sistema de control de actitud y de órbita (101) del satélite (100), de tal modo que se modifique la actitud del satélite para compensar al menos parcialmente la variación de la línea de visión (LS).

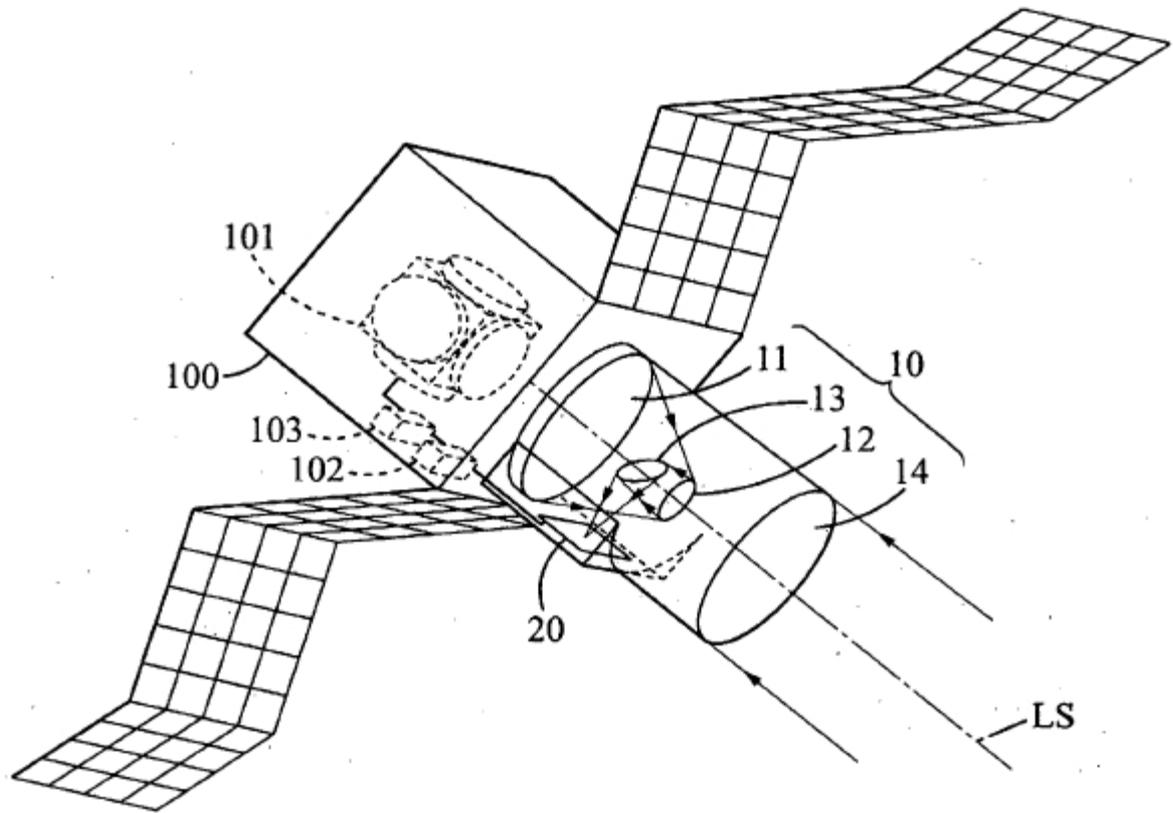


FIG. 1

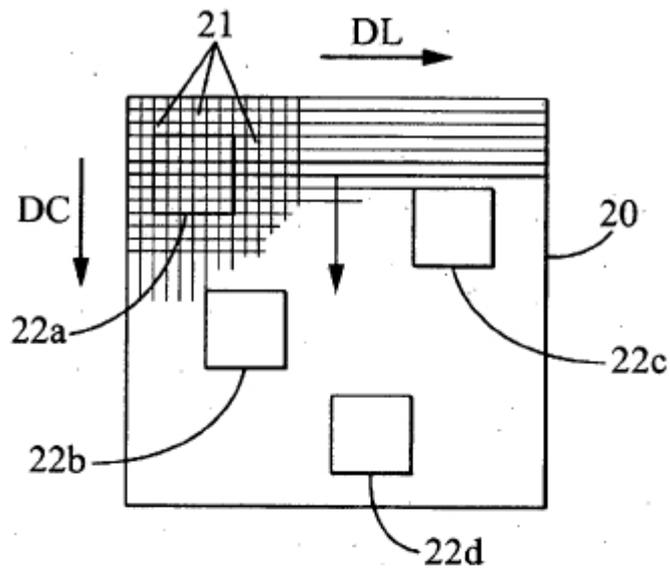


FIG. 2a

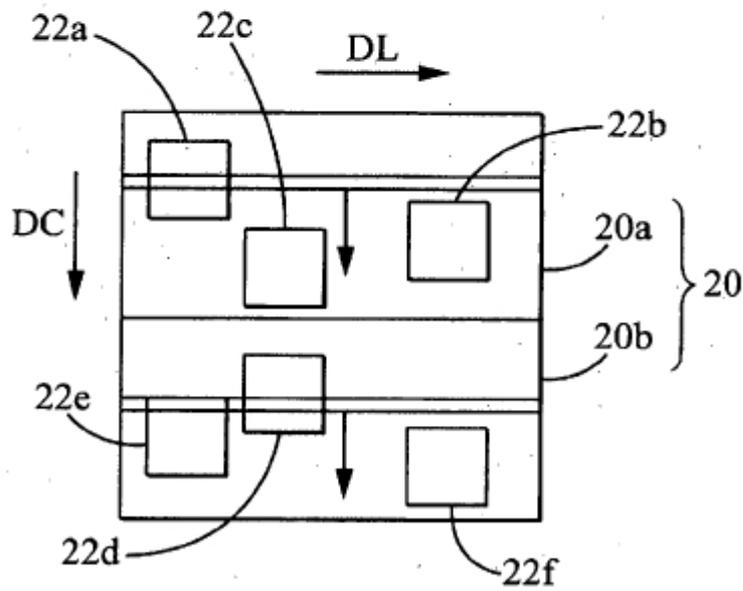


FIG. 2b

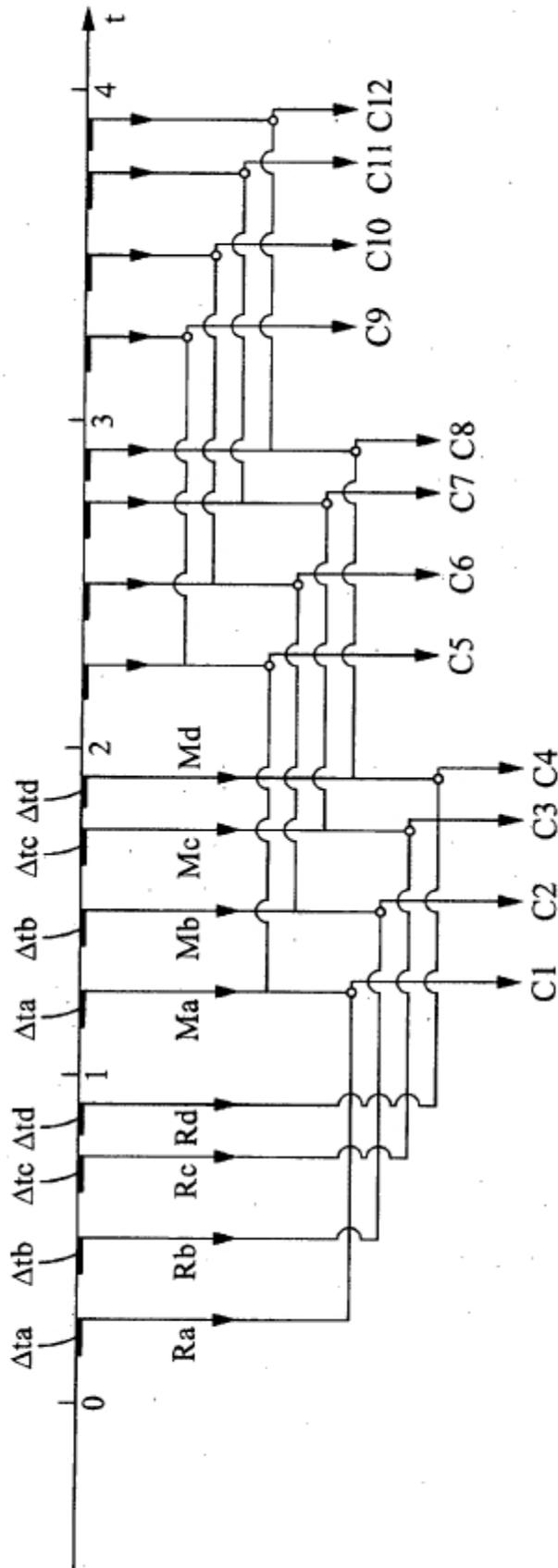


FIG. 3b

