



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 316 998**

⑤1 Int. Cl.:
G01S 3/786 (2006.01)
G01C 21/02 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑨6 Número de solicitud europea: **04742291 .0**
⑨6 Fecha de presentación : **19.03.2004**
⑨7 Número de publicación de la solicitud: **1606644**
⑨7 Fecha de publicación de la solicitud: **21.12.2005**

⑤4 Título: **Procedimiento y dispositivo de atribución de coeficientes de ponderación para cálculos de actitud con un sensor estelar.**

③0 Prioridad: **20.03.2003 FR 03 03407**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.04.2009

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.04.2009

⑦3 Titular/es:
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES
2, place Maurice Quentin
75001 Paris, FR

⑦2 Inventor/es: **Potteck, Serge**

⑦4 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

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 y dispositivo de atribución de coeficientes de ponderación para cálculos de actitud con un sensor estelar.

Campo técnico general

La presente invención se refiere al campo de los procedimientos de determinación de orientación de objetos en el espacio.

Más precisamente, se refiere a un procedimiento de atribución de coeficientes de masas a las mediciones de una sucesión de estrellas adquiridas por un sensor estelar con el fin de determinar una orientación en el espacio.

Estado de la técnica

Cada vez más satélites artificiales están en órbita alrededor de la Tierra o se lanzan al espacio. Evidentemente, es importante conocer la posición en el espacio de los satélites, pero es necesario asimismo conocer su actitud, es decir, su orientación con relación a un referencial inercial en la bóveda celeste.

Un sensor estelar es un equipo que suministra su propia medición de actitud, calculada a partir de las mediciones de dirección de estrellas que realiza, o bien que transmite directamente la lista de las mediciones de direcciones elementales a un dispositivo receptor, tal como el programa central de un satélite en el que está dispuesto el sensor por ejemplo.

La figura 1 representa un satélite 1, por ejemplo en una órbita 2 alrededor de un planeta, por ejemplo la Tierra, a una altitud 13 de la superficie del planeta. El satélite 1 comprende sobre una de sus paredes un sensor estelar 4 girado hacia las estrellas de la bóveda celeste, y tiene un campo de visión esquematizado por el tronco de cono 5. Mediante el círculo 8 se ha representado la parte de la bóveda celeste que se puede observar en el campo de visión 5. Las estrellas 10 y 11 representan esquemáticamente una parte de las estrellas que pueden ser observadas por el sensor 4. Se entiende que varias, incluso un gran número de estrellas se pueden observar al mismo tiempo en el círculo 8. Las estrellas 9 y 12 representan las estrellas de la bóveda celeste fuera del campo de visión del sensor.

El satélite 1 se desplaza sobre la órbita 2 según la flecha 6. Por consiguiente, se entiende que el círculo 8 se desplaza asimismo sobre la bóveda celeste según la flecha 7. Así, la estrella 9 estaba en el círculo 8 en el pasado, y la estrella 12 estará en el círculo 8 en el futuro del desplazamiento del satélite.

Lo más frecuentemente, la actitud del sensor 4 o del satélite 1 se calcula usando sólo una parte de las estrellas presentes en el campo de visión 8 del sensor 4 estelar. Por ejemplo, se puede elegir una decena de estrellas para efectuar un cálculo de actitud. En el cálculo de la actitud, se mide la dirección de la estrella 10 u 11 con relación a un punto de referencia 15 relacionado con el sensor 4. Por otro lado, conociendo la dirección de la estrella 10 u 11 con relación a un punto de referencia inercial conocido 14, se puede deducir la dirección del punto de referencia 15 y por lo tanto del satélite 1 o del sensor 4 con relación al punto de referencia 14 de la bóveda celeste.

El documento US-B-6.362.464 da a conocer una técnica para seleccionar unas estrellas mediante un sensor estelar con el fin de minimizar el error de apuntado. El documento US-B-6.330.988 da a conocer una técnica de equalización de un catálogo de estrellas para mejorar la determinación de la actitud. El documento XP002092467 da a conocer un sensor estelar que usa un sensor con píxeles activos. El documento US-B-6.272.432 da a conocer por su parte una técnica de estimación de actitud por comparación con una estimación de la actitud de un satélite gracias a tres ejes inerciales con una estimación de la actitud del satélite con las estrellas.

La elección de las estrellas a medir para el cálculo de la dirección es determinante de cara a la precisión de la estimación de actitud.

La elección de las estrellas es importante asimismo cuando las mediciones de las direcciones de las estrellas son transmitidas directamente y son explotadas por el dispositivo receptor del sensor estelar.

En ciertos casos, las estrellas no son rechazadas ni seleccionadas, pero se les asocia una masa, que pondera la importancia que darles en los tratamientos ulteriores.

En otros casos aún, el sensor estelar efectúa a su vez una primera selección de las estrellas, realiza unas mediciones sobre estas estrellas seleccionadas y las transmite eventualmente acompañadas de un peso o transformadas en una estimación de actitud global.

Las mediciones pueden tener asimismo por origen diferentes sensores estelares embarcados a bordo del mismo satélite.

En todos los casos, una selección es un conjunto de mediciones, potenciales o ya realizadas, de dirección de estrellas, mediciones cuya fecha de validez es idéntica. Como ya se ha mencionado, se asocian eventualmente unas

masas a cada medición. A lo largo del tiempo, un sensor estelar 4 genera una sucesión de selecciones, constituyendo la totalidad o parte de las estrellas seleccionadas el objeto de las mediciones.

Tradicionalmente, se selecciona el mayor tiempo posible las estrellas elegidas como las mejores. En efecto, en los orígenes del rastreo estelar, ya era difícil seguir una estrella. Por lo tanto, una vez rastreada ya no se dejaba de seguirla.

Uno de los criterios de elección de las estrellas de una selección es en particular la magnitud de cada estrella que se puede observar en el campo de visión. Se eligen así las estrellas más brillantes, es decir, las que tienen la magnitud más baja. Uno de los otros criterios de elección es la distancia de la estrella con el eje óptico del campo de visión. En la figura 2 se muestra más precisamente el círculo 8 en desplazamiento según la flecha 7 sobre la bóveda celeste. La elección en el círculo 8 de unas estrellas alejadas del centro óptico 83 y situadas en una zona referenciada mediante 81 permite mejorar la precisión de la estimación según el eje óptico 83 del sensor. En efecto, el eje 83 es el más sujeto a los errores de medición. Las estrellas situadas en una zona referenciada mediante 82 estarán, en un momento u otro, cercanas al eje óptico 83 y provocarán unos errores de medición. Se rechaza la estrella demasiado cercana al centro óptico 83 y se selecciona entonces otra estrella más alejada del centro óptico 83.

Los procedimientos de selección dan actualmente una importancia preponderante a estos dos criterios, que conducen a no cambiar frecuentemente de estrellas.

Los procedimientos anteriores adolecen sin embargo de inconvenientes.

En efecto, ciertas estrellas, cuya dirección está particularmente mal estimada por el sensor 4, perturban la estimación de actitud global durante todo el tiempo en el que se seleccionan. Esta duración puede ser bastante prolongada cuando la actitud del sensor estelar 4 evoluciona poco y cuando su campo de visión es más bien amplio. La figura 3 representa esquemáticamente dicha situación. Se ha trazado sobre la figura 3 el error sobre la actitud del sensor 4 en función del tiempo. Los cambios 30 de nivel de error del gráfico se deben a unos cambios de selección de estrellas para la determinación de la actitud. Se observa que los errores debidos a la elección de una selección son relativamente largos con relación a las oscilaciones 31 sobre cada meseta de la curva, que se deben por su parte a los errores de observación de cada estrella de la selección. Se observa que los errores 31 se anulan debido a su media sobre un tiempo relativamente corto con relación al tiempo durante el cual se observa cada selección. Dicho de otra manera, el ruido debido a las oscilaciones 31 se puede filtrar fácilmente mediante las técnicas actuales de tratamiento de los datos recibidos de los sensores estelares por los dispositivos receptores, puesto que está situado en las altas frecuencias del espectro de frecuencia de la señal adquirida por el sensor. El hecho de no cambiar frecuentemente de selección provoca al contrario un ruido de baja frecuencia, difícilmente filtrable.

Más generalmente, los procedimientos de atribución de coeficiente de ponderación según la técnica anterior no permiten controlar la dispersión temporal del ruido debido a cada selección.

Además, ciertos fenómenos -por ejemplo la distorsión- varían según la posición de las estrellas de cada selección en el campo de visión.

Más generalmente, los procedimientos de atribución de coeficientes de ponderación según la técnica anterior no permiten controlar estos fenómenos de dispersión espacio-temporal de las estrellas a las que se atribuyen unas importantes masas.

Exposición de la invención

La invención propone paliar estos inconvenientes.

Uno de los objetivos de la invención es proponer un procedimiento de atribución de coeficientes de ponderación o de masa para un cálculo de una orientación en el espacio que permite dominar los errores de medición de un sensor estelar.

Otro de los objetivos de la invención es dispersar más o menos las estrellas cuyas mediciones de dirección son explotadas, bien por el sensor estelar en sí, o bien por el dispositivo receptor del sensor estelar.

Otro objetivo de la invención es proponer un procedimiento que permite una dispersión espacio-temporal de las selecciones de estrellas.

Por último, otro objetivo de la invención es proponer un procedimiento que pueda tomar en consideración las selecciones pasadas con el fin de esparcir más o menos, sobre todo el espectro, el ruido de baja frecuencia relacionado con las selecciones de estrellas.

Para ello, la invención propone un procedimiento de atribución de coeficientes de masas a las mediciones de una sucesión de estrellas adquiridas mediante un sensor estelar unido a un dispositivo receptor con el fin de determinar una orientación en el espacio, caracterizado porque se favorece o desfavorece la renovación en el tiempo, mediante el sensor estelar y/o su dispositivo receptor, de la posición de las mediciones que tienen las masas más importantes y/o

ES 2 316 998 T3

de las estrellas a las que se refieren estas mediciones, con el fin de desplazar en el espectro de frecuencia una parte de la potencia del error asociado al conjunto de las mediciones estelares.

La invención se completa ventajosamente mediante las características siguientes, consideradas solas o en cualquiera de sus combinaciones técnicamente posibles:

- en el cálculo de las masas de las mediciones de una selección en curso, el refuerzo o la atenuación interviene mediante un peso de distancia asociado a cada medición de la selección en curso y característico de una distancia media entre dicha medición por una parte y las mediciones de las selecciones anteriores y las demás mediciones de la selección en curso por otra parte;
- se calcula el peso de distancia asociado a una medición de la selección en curso como una media ponderada de las distancias respectivas entre dicha medición por un lado, y respectivamente las mediciones de las selecciones anteriores y las demás mediciones de la selección en curso por otro lado;
- en el coeficiente de ponderación asociado a la distancia entre una primera medición de la selección en curso y una segunda medición de una selección anterior o de otra medición de la selección en curso, intervienen un coeficiente de memoria asociado a dicha segunda medición y/o el peso de la segunda medición si ésta pertenece a una selección anterior o un peso provisional si ésta pertenece a la selección en curso;
- el cálculo de la distancia combina la distancia angular entre las dos mediciones, y una distancia identitaria función de la diferencia de naturaleza de las dos estrellas que constituyen el objeto de las mediciones;
- se define el coeficiente de memoria de una medición m , en un momento t mediante la fórmula:

$$Mem(m_i / t) = \mu \times \Pi^{-[t - T(m_i)]},$$

en la que

- $T(m_k)$ es una fecha de validez de una medición m_k .
- μ y Π son unas constantes.

- se asigna a cada estrella que constituye el objeto de una medición una carga que resume las masas atribuidas a las mediciones de dicha estrella en el pasado, atenuadas por el paso del tiempo;
- se define la carga de la estrella e_p en un momento T mediante la fórmula:

$$Cha(e_p, T) = \sum_{\substack{i=P+1 \\ E(m_i)=e_p}}^N [A(m_i) \times Mem(m_i / T)]$$

en la que $Mem(m_i / T)$ es el coeficiente de memoria de la medición m_i en el momento T , $E(m_i)$ es la estrella a la que se refería la medición m_i y $A(m_i)$ es la masa de la medición m_i ;

- antes de hacerla intervenir en el cálculo de la masa asociada a una medición, se actualiza la carga asociada a una estrella a la que se refiere una medición de la selección en curso, gracias a un coeficiente que depende de la diferencia Δ entre la fecha en curso y la fecha de la última actualización de la misma carga;
- el coeficiente es multiplicativo y se presenta en forma de $\Pi^{-\Delta}$, en la que Π es una constante;
- el coeficiente es aditivo y se presenta en forma $-\rho \times \Delta$, en la que ρ es una constante;
- después de haber calculado la masa asociada a una medición de la selección en curso, se actualiza la carga asociada a la estrella que ha constituido el objeto de esta medición;
- la actualización se efectúa añadiendo la masa asociada a la medición;
- se hace intervenir una función aleatoria en el cálculo de las masas;
- se efectúa una iteración del cálculo del peso de distancia con una masa provisional para las mediciones de la selección en curso, permitiendo el peso de distancia calcular una nueva masa que permite a su vez calcular un nuevo peso de distancia, y así sucesivamente hasta la convergencia hacia una masa final;

- se registran los valores digitales del procedimiento en unos medios de memoria y de tratamiento del sensor y/o del dispositivo receptor;
- se aumenta la renovación de las estrellas que tienen un peso importante elevando la frecuencia de las mediciones del sensor estelar y/o del dispositivo receptor;
- se hace intervenir directamente en las masas la dispersión del conjunto de una nueva selección gracias a unos medios de tratamiento conectados al sensor y/o al dispositivo receptor;
- para hacer intervenir directamente la dispersión en las masas, se usan unos medios de tratamiento conectados al sensor y/o al dispositivo receptor que comprende una estructura neuronal.

La invención se refiere asimismo al dispositivo para poner en práctica dicho procedimiento.

Descripción de las figuras

Otras características, objetivos y ventajas de la invención se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción siguiente, que es puramente ilustrativa y no limitativa, y que se debe leer haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1, ya comentada, representa esquemáticamente un satélite artificial en órbita alrededor de un planeta y que comprende un sensor estelar;
- la figura 2, ya comentada, representa esquemáticamente un campo de visión de un sensor estelar en la bóveda celeste;
- la figura 3, ya comentada, representa esquemáticamente un gráfico del error sobre la actitud en función del tiempo en unos procedimientos de atribución de coeficientes de ponderación según el estado de la técnica; y
- la figura 4 representa esquemáticamente un gráfico del error de la actitud en función del tiempo en un procedimiento de atribución de coeficientes de ponderación según la invención.

Descripción detallada

En algunas de sus fases de cálculo, un sensor 4 estelar visible en la figura 1 elige seleccionar tal o tal estrella (10 y 11 en la figura 1) que detecta en su campo de visión 8, para usarla él mismo en el cálculo de la actitud, o bien para transmitir directamente la medición de su dirección al dispositivo receptor, el satélite 1 por ejemplo.

La selección pasa entonces por la atribución de una masa a cada estrella 10 y 11, que caracteriza el potencial de la estrella frente a unas necesidades del dispositivo receptor 1 del sensor estelar 4.

Según otros procedimientos, las estrellas intervienen en el cálculo de la actitud con una ponderación, o bien se transmite una masa al dispositivo receptor 1 con la medición de dirección de la estrella. Todas las estrellas se transmiten entonces eventualmente, siendo una estrella transmitida con una masa nula equivalente a una estrella no seleccionada.

En cada caso, se asocia una masa, en un momento u otro, a una medición de dirección de estrella. Esta masa caracteriza el potencial de la medición frente a unas necesidades del dispositivo receptor 1 del sensor estelar 4.

Se describirá ahora un primer procedimiento posible de atribución de coeficientes de masas a las mediciones de una sucesión de estrellas adquiridas por un sensor estelar con el fin de determinar una orientación en el espacio. Según este primer procedimiento, las masas se atribuyen individualmente a las mediciones.

Según un primer procedimiento, se controla la importancia acordada a las mediciones según que se refieran a nuevas estrellas o no, lo que se puede denominar como dispersión temporal de las mediciones de estrellas. Toma en consideración las selecciones anteriores. Se amplifica el efecto de dispersión de las mediciones.

Según un primer modo de realización posible, durante la observación de las estrellas, se reduce el tiempo consecutivo durante el cual se selecciona una misma estrella. Se han representado esquemáticamente los efectos de dicha situación en la figura 4. Así, se ha trazado en la figura 4 el error en la actitud del sensor 4 de la figura 1 en función del tiempo. Al igual que en la figura 3, los cambios 30 de nivel de error del gráfico se deben a unos cambios de selecciones de estrellas para la determinación de la actitud. Se observa que los errores debidos a la elección de una selección son relativamente más cortos que los de la figura 3. Son, a partir de ahora, del orden de tamaño de los errores 31 debidos a los errores de observación de cada estrella de la selección. Desde el punto de vista espectral, una frecuencia más rápida de cambio de selección de estrellas equivale a intercambiar un ruido de baja frecuencia (inducido por unas estrellas ruidosas por las oscilaciones 31 y conservadas durante mucho tiempo) por un ruido de frecuencia más alta (inducido por un cambio más frecuente de las estrellas que intervienen en la estimación de la actitud). Más precisamente, equivale a esparcir la potencia a muy baja frecuencia en una gama de frecuencias más ancha. En el caso en el que el dispositivo receptor del sensor estelar tiene unas capacidades de medición de alta frecuencia (lo que es el caso cuando

usa unos giroscopios competentes), esta operación puede ser particularmente interesante. Se puede, en efecto, filtrar fácilmente el ruido.

Se comprende que recíprocamente si las capacidades de filtración de alta frecuencia del dispositivo receptor son bajas, y si el ruido de alta frecuencia es molesto, puede ser interesante favorecer las bajas frecuencias conservando cada estrella durante más tiempo. Por lo tanto, se tendrá un modo de realización del procedimiento que controla la dispersión temporal de las mediciones que será diferente.

Según otro procedimiento posible según la invención, se controla la dispersión espacial de las mediciones de estrellas.

Según un primer modo de realización posible, durante la observación de las estrellas, se dispersan las estrellas seleccionadas, geoméricamente en el campo de visión. Así, se controla la distorsión de las mediciones. Esta dispersión se refiere a una selección realizada en un momento dado.

Se comprende asimismo que según otro modo de realización, se desea no dispersar espacialmente las mediciones.

Se combina la dispersión espacio-temporal de las mediciones para controlar el error debido a cada selección en el cálculo de la orientación.

Para ello, la invención hace intervenir, en el cálculo de la masa asociada a una medición, la distancia media de la medición correspondiente con las mediciones de las selecciones anteriores y presentes. Si se desea que las mediciones a las que se ha acordado una alta masa perduren durante mucho tiempo, se buscará minimizar esta distancia media. Si por el contrario se desea que las mediciones se renueven frecuentemente se buscará maximizar la distancia.

Definiciones

Mediante la expresión “peso de distancia” se define una distancia media de una medición con las mediciones de las selecciones anteriores y presente. El peso de distancia intervendrá después en el cálculo de la masa, el cual hace intervenir otras consideraciones (por ejemplo la posición de la medición sobre el campo de visión, o la magnitud de la estrella considerada). Una expresión posible del peso de distancia se proporciona a continuación en la presente descripción. Se define en primer lugar un cierto número de sus posibles variables.

Sea $\{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ la sucesión de las mediciones de direcciones de estrellas anteriores y presentes. Dos elementos distintos de esta sucesión pueden corresponder a la misma estrella física, medida en dos momentos diferentes.

La sub-sucesión $\{m_1, m_2, \dots, m_P\}$, siendo $P \leq N$, es la sucesión de las estrellas de la selección presente.

$\delta(m_i, m_j)$ caracteriza el espacio entre las mediciones m_i y m_j , y hace intervenir dos términos de naturalezas muy diferentes, por ejemplo mediante su producto:

- $DA(m_i, m_j)$ - Se trata de la diferencia angular en el punto de referencia del sensor 4 estelar (o cualquier otra distancia correspondiente a, por ejemplo la distancia geométrica sobre la matriz de detección de este mismo sensor). Caracterizar esta diferencia angular permite dispersar o reagrupar, sobre la matriz del sensor, las mediciones a las que se atribuirá una alta masa. Esto puede permitir librarse, por ejemplo, de una parte de los errores de distorsión óptica.
- $DE(m_i, m_j)$ - Se trata de la diferencia identitaria, es decir, la diferencia de característica de las estrellas que constituyen el objeto de las dos medidas. Por ejemplo, esta diferencia puede ser igual a 0 si las dos estrellas son idénticas, y a un valor positivo si no son idénticas (teniendo en cuenta el movimiento del sensor estelar según la dirección 6 de la figura 1, dos mediciones que corresponden a unas estrellas idénticas pueden estar alejadas en el sentido de la distancia DA). La caracterización de esta distancia permite sustituir más o menos frecuentemente las estrellas que constituyen el objeto de las mediciones. Esto permite asimismo favorecer unas estrellas que tienen unos espectros o unas magnitudes diferentes (o parecidos) a las estrellas seleccionadas anteriormente.

Una posibilidad consiste en usar la diferencia identitaria para caracterizar la diferencia entre la medición en curso y las mediciones de las selecciones anteriores, y la diferencia angular para caracterizar los espacios entre las mediciones de la selección presente.

Eventualmente, la distancia puede ser una función de una o de las dos distancias anteriores. Si la función es decreciente al mismo tiempo en función de DA y de DE , se calculará, en lugar de un peso de distancia, un peso de proximidad. Es el que se podrá hacer intervenir en la fórmula de cálculo de la masa en lugar o además del peso de distancia.

Por ejemplo, se elegirá $\delta(m_i, m_j) = q \times (e^{DA(m_i, m_j)} - 1) \times DE(m_i, m_j)$, en la que q es una constante. $DA(m_i, m_j)$ es la distancia angular entre las dos mediciones, y $DE(m_i, m_j)$ tiene como valor 0 si las estrellas objeto de las dos mediciones son idénticas, y si no 1. $\delta(m_i, m_j)$ es por lo tanto no nulo sólo si las estrellas son diferentes.

Se asocia a cada medición m_i de las selecciones anteriores su masa $A(m_i)$ calculada anteriormente, que hace intervenir en particular el peso de distancia.

En el cálculo del peso de distancia que corresponde a una medición m_j de la selección en curso, la masa de las mediciones anteriores disminuye por el hecho de que el tiempo ha borrado la memoria que se guarda de esta medición. El resultado de esta disminución es la masa remanente.

La masa remanente se puede calcular como el producto de la masa y de un coeficiente de memoria $Mem(m_i/t)$ que caracteriza la memoria que se guarda, de la medición m_i a la fecha t . A la fecha $T(m_j)$ de la medición m_j , el coeficiente de memoria de la medición m_i se escribe $Mem(m_i/T(m_j))$.

El coeficiente de memoria $Mem(m_i/t)$ decrece cuando la medición m_i se aleja en el pasado. Esto traduce el borrado progresivo de la memoria de las mediciones estelares.

Se considerará por ejemplo el producto siguiente:

$$Mem(m_i / t) = \mu \times \Pi^{-[t-T(m_i)]},$$

en el que

- $T(m_k)$ es la fecha de validez de la medición m_k .

- μ y Π son unas constantes.

Los valores de las constantes pueden depender de la diferencia $\delta(m_i, m_j)$. Así, haciendo variar μ , el coeficiente de memoria puede pasar del valor 0 cuando $[t - T(m_i)]$ sobrepasa un cierto valor. Esto borra la memoria de la medición. El coeficiente puede asimismo pasar del valor 0 cuando $[t - T(m_i)]$ es inferior a un cierto valor. Esto permite forzar la selección de estrellas presentes en las selecciones muy recientes. Esto permite asimismo excluir de la fórmula del peso de distancia las mediciones de la selección en curso.

Cálculo del peso de distancia

El peso de distancia asociado a la medición m_j es una media, sobre el conjunto de las mediciones de las selecciones anteriores y de las mediciones de la selección en curso (salvo m_j).

La media se puede ponderar mediante las masas remanentes de las mediciones que intervienen en la media.

La media se calculará por ejemplo en forma:

$$P(m_j) = \left[\frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N [A(m_i) \times Mem(m_i / T(m_j))]^\Omega \times \delta(m_j, m_i)^\varphi}{\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N [A(m_i) \times Mem(m_i / T(m_j))]^\Omega} \right]^{1/\varphi};$$

en la que Ω y φ son unas constantes. Si Ω y φ tienen como valor 1 se trata de una media lineal de las distancias. Si φ tiene por valor 2 se trata de una media cuadrática de estas mismas distancias (Ω tendrá por valor en principio 1). Si $\varphi < 1$, se acentúa el alejamiento que se refiere a los pares de mediciones muy cercanas.

Si la medición m_j forma parte de la selección presente, la masa $A(m_j)$ no hace intervenir el peso de distancia.

En la práctica, la masa de una medición de la selección en curso se puede calcular a partir de un peso de distancia arbitrario. Como consecuencia de este primer cálculo, se puede poner en práctica un método iterativo: cada vez intervienen, en el cálculo de los pesos de distancia de las mediciones de la selección en curso, las masas respectivamente asociadas a estas mediciones, y que toman en cuenta el peso de distancia calculado en la iteración anterior. Todos los pesos de distancia de las mediciones de la selección en curso se recalculan así hasta su convergencia.

Otra posibilidad consiste, en el cálculo de los pesos de distancia de la selección en curso, en no hacer intervenir las demás mediciones de la selección en curso. Esto equivale a elegir $Mem(m_i/t)=0$ para todos los valores de i de tal forma que m_i sea una medición de la selección en curso.

El cálculo del peso de distancia permite obtener una masa para cada medición de estrella.

Por ejemplo, se calculará la masa como $A(m_j)=e^{-M} \times \Psi(m_j) \times P(m_j)$, en la que M es la magnitud de la estrella objeto de la medición m_j , $\Psi(m_j)$ la distancia angular entre la medición m_j y el eje óptico del sensor estelar, y $P(m_j)$ el peso de distancia asociado a la medición m_j .

Así, se favorecen en una selección las estrellas que tienen las masas más importantes.

Se entiende entonces que se controla la dispersión espacio-temporal de las selecciones actuando sobre las diferentes variables del peso de distancias, que da una masa final diferente de las mediciones. Se cambian más o menos rápidamente las selecciones, y las selecciones son más o menos dispersadas entre sí sobre la matriz del sensor, en función de los parámetros de las variables que se eligen.

Se describirá ahora una variante del procedimiento según la cual, para limitar la información a memorizar y para simplificar los cálculos, el peso de distancia de las mediciones de las selecciones anteriores se calcula recursivamente.

Para esta variante del procedimiento, se utiliza la distancia identitaria para definir la proximidad entre las mediciones.

Definiciones

Según la variante del procedimiento, la información que resume el pasado no caracteriza directamente las mediciones en sí, sino las estrellas a las que se refieren las mediciones de las selecciones anteriores. Esta información se resume a un par C_p asociado a cada estrella e_p cuya medición ha formado parte de una selección anterior definido por:

$$C_p = \{Cha, fecha\},$$

en la que fecha es la fecha de validez de la carga Cha, la cual evoluciona en el tiempo. La carga cha es el cúmulo, en el momento considerado, de las masas remanentes asociadas al conjunto de las mediciones que, en las selecciones anteriores, se han referido a la estrella e_p . La carga asociada a la estrella e_p en un momento T se define por lo tanto teóricamente, según las anotaciones definidas anteriormente y si $E(m_i)$ es la estrella a la que se refería la medición m_i , mediante:

$$Cha(e_p, T) = \sum_{\substack{i=1 \\ E(m_i)=e_p}}^N [A(m_i) \times Mem(m_i / T)]$$

Para tomar en consideración la dispersión espacial entre las selecciones sucesivas (pudiendo la zona diana en el cielo evolucionar bajo el efecto del movimiento del satélite), se puede multiplicar el término en el interior de la suma mediante una función de la distancia angular entre la medición en curso que se refiere a la estrella e_p y la medición m_i . Esta función tomará por ejemplo la forma:

$$e^{-\eta \times d(m(e_p), m_i)}$$

en la que $m(e_p)$ es la medición de la selección en curso que se refiere a la estrella p, d la distancia entre las dos mediciones en argumento, y η un coeficiente.

En lugar de una carga, se puede calcular un recuerdo asociado a la estrella, media de los coeficientes de memoria asociados a las mediciones que se referían a la estrella considerada, ponderados por sus masas, por ejemplo:

$$SOU(e_p, T) = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ E(m_i)=e_p}}^N [A(m_i) \times Mem(m_i / T)]}{\sum_{\substack{i=1 \\ E(m_i)=e_p}}^N A(m_i)}$$

Este recuerdo es una “carga normalizada” que intervendrá en el cálculo de la masa.

Propagación de las cargas

En el momento del tratamiento de las mediciones de la selección en curso, se propagan las cargas de la siguiente manera.

Se efectúa una actualización de las cargas y una puesta al día de las fechas asociadas. Las cargas asociadas a las estrellas que pertenecen de las selecciones anteriores disminuyen para traducir el borrado de la memoria. Eventualmente, esta puesta al día puede referirse sólo a las estrellas de la selección en curso, pero se deben conservar todas las informaciones que se refieren a las demás estrellas. Las cargas asociadas a las estrellas que no pertenecen a ninguna selección anterior siguen siendo nulas. Las fechas asociadas a las cargas de las estrellas de las selecciones anteriores se pasan a la fecha de la selección en curso.

Esta disminución de la carga puede efectuarse si Δ es la diferencia temporal definida como sigue:

$$\Delta = \text{fecha de la selección en curso} - \text{fecha anteriormente asociada a la carga},$$

mediante uno de los dos procedimientos siguientes:

1. multiplicación de la carga anterior por un factor:

$\Pi^{-\Delta}$, en el que Π es una constante

2. adición a la carga anterior de un factor:

$-\rho \times \Delta$, en el que ρ es una constante.

La carga así obtenida está forzada a 0 si el resultado de la operación anterior es negativa.

La carga se calcula sin ninguna aproximación, cuando se elige al mismo tiempo el primer procedimiento y cuando el coeficiente de memoria se presenta en forma exponencial. En los demás casos, el cálculo es aproximado.

Después, se atribuyen unos pesos de distancia. Se atribuye como peso de distancia a cada medición de la selección en curso la carga actualizada asociada a la estrella que constituye el objeto de la medición considerada. Si la estrella no ha sido objeto de ninguna medición anterior, su carga de partida es nula y por lo tanto su peso de distancia se vuelve también nulo.

Se calculan a continuación las masas. Los pesos de distancia calculados durante la etapa anterior permiten el cálculo de las masas asociadas a las mediciones de la selección en curso, por ejemplo gracias a la fórmula $A(m_j) = e^{-M} \times \Psi(m_j) \times P(m_j)$.

Después, se actualizan las cargas. Las cargas de las estrellas a las que se refieren las mediciones de la selección en curso aumentan el valor de las masas respectivas de las mediciones. Para cada estrella e_h que no estaba anteriormente caracterizada por un par $C_h = \{\text{Cha}, \text{fecha}\}$, la fecha se fija en la fecha de la selección en curso. Para todas las estrellas en cuestión, la asignación de la fecha se puede realizar en esta etapa más que en la etapa de actualización de las cargas.

Por último, se anulan las cargas demasiado bajas. Esta etapa es opcional. Las cargas que son inferiores a un valor mínimo se pueden anular, lo que equivale a olvidar que la estrella ha constituido el objeto de por lo menos una selección en el pasado.

En el cálculo de las masas, se puede asimismo hacer intervenir una función aleatoria, por ejemplo una variable aleatoria de Gauss o uniforme. Esto contribuye a dispersar espacio-temporalmente las estrellas, esta vez bajo el efecto del azar.

Puesta en práctica del procedimiento

El cálculo del peso de distancia o del par de carga supone memorizar unas informaciones relativas a las mediciones de las selecciones anteriores, seleccionadas por ejemplo, para cada medición, de entre:

- La fecha de la medición,
- La masa finalmente atribuida a la medición,
- La dirección de la medición, localizada angularmente en un punto de localización 15 unido al sensor 4, o vectorialmente en un punto de localización unido a su matriz,
- Ciertas características de la estrella que ha dado lugar a la medición.

ES 2 316 998 T3

En el caso del uso del procedimiento recursivo, se guarda el par $C_p=\{Cha, fecha\}$ para cada estrella que ha constituido el objeto de un conjunto de mediciones cuya memoria no está borrada.

Unos medios de memoria y de tratamiento están por lo tanto asociados al sensor y/o a su dispositivo receptor, es decir el satélite.

En el caso en el que se alcanza el límite de la memoria disponible, se pueden suprimir las informaciones que se refieren a las mediciones cuya memoria es la más baja. El criterio podrá referirse:

- al producto de la memoria asociada a la medición por la masa de esta misma medición.
- a la carga, en particular en caso de uso del procedimiento recursivo.

Se describirá ahora un segundo procedimiento posible de atribución de coeficientes de masas a las mediciones de una sucesión de estrellas adquiridas por un sensor estelar con el fin de determinar una orientación en el espacio. Según este segundo procedimiento, se elige directamente la mejor selección de estrellas para la determinación de la orientación en el espacio. Ya no se consideran las estrellas individualmente para determinar las que tienen los mayores coeficientes, antes de reagruparlas en unas selecciones. Se hace intervenir directamente en las masas la dispersión del conjunto de una nueva selección gracias a unos medios de tratamiento conectados al sensor. Según este procedimiento, los medios de tratamiento conectados al sensor pueden comprender una estructura neuronal. La estructura neuronal permite atribuir unas masas a las estrellas para la determinación de la orientación del sensor o del satélite, después de un proceso de aprendizaje por ejemplo. El criterio de aprendizaje de la red neuronal puede hacer intervenir los coeficientes de distancias, distancias medias, cargas y/o recuerdo definidos anteriormente. También puede hacer intervenir la media, sobre las estrellas de una selección, de los pesos de distancia eventualmente ponderados mediante las masas de las estrellas (o mediante las masas provisionales que no toman en cuenta los pesos de distancia).

En los dos procedimientos, el fenómeno de dispersión de las estrellas seleccionadas se puede amplificar forzando el sensor estelar a trabajar a una frecuencia más elevada que la frecuencia estrictamente útil. En efecto, mediante la puesta en práctica de los procedimientos anteriores aumentará el número de selecciones usadas, dando como resultado un esparcido suplementario del ruido sobre el espectro. Las ventajas así obtenidas son de una naturaleza que compensa, desde el punto de vista del dispositivo receptor del sensor estelar, el aumento de ruido inducido por el acortamiento de la integración de información luminosa por el sensor estelar.

Antes del uso, las mediciones estelares se pueden entonces filtrar y después sub-muestrear, para volver a la frecuencia deseada. La filtración pasa en principio por el cálculo del cuaternio de actitud. El método es eficaz incluso si no se usan, en el criterio, los pesos del pasado y de proximidad.

Los desarrollos anteriores se aplican tanto por un lado a un conjunto de estrellas detectado y seleccionado regularmente (por ejemplo una vez por segundo), en el mismo momento - como es el caso para un funcionamiento habitual del sensor estelar con un detector CCD, o por otro lado a un conjunto de estrellas en el que las estrellas se detectan irregularmente (uso de nuevos tipos de detectores) y en el que las selecciones se producen irregularmente, tal como es el caso de los sensores estelares con APS (Active Pixel Sensor).

Los procedimientos se pueden realizar en varios niveles, eventualmente simultáneamente, por ejemplo: el nivel de la selección de las estrellas sobre las que el o los sensores estelares realizarán sus mediciones; la ponderación de las mediciones efectuadas a nivel del o de los sensores estelares; la ponderación de las mediciones efectuadas a nivel del dispositivo receptor de las mediciones.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de atribución de coeficientes de masas a las mediciones de una sucesión de estrellas adquiridas mediante un sensor estelar (4) conectado a un dispositivo (1) receptor con el fin de determinar una orientación en el espacio, **caracterizado** porque se favorece o se desfavorece la renovación en el tiempo, mediante el sensor (4) estelar y/o su dispositivo (1) receptor, de la posición de las mediciones que tienen las masas más importantes y/o de las estrellas a las que se refieren estas mediciones, con el fin de desplazar en el espectro de frecuencia una parte de la potencia del error asociado al conjunto de las mediciones estelares.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque, en el cálculo de las masas de las mediciones de una selección en curso, el refuerzo o la atenuación intervienen mediante un peso de distancia asociado a cada medición de la selección en curso y característico de una distancia media entre dicha medición por un lado y las mediciones de las selecciones anteriores y las demás mediciones de la selección en curso por otro lado.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado** porque se calcula el peso de distancia asociado a una medición de la selección en curso como una media ponderada de las distancias respectivas entre dicha medición por un lado, y respectivamente las mediciones de las selecciones anteriores y las demás mediciones de la selección en curso por otro lado.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado** porque, en el coeficiente de ponderación asociado a la distancia entre una primera medición de la selección en curso y una segunda medición de una selección anterior o de otra medición de la selección en curso, intervienen un coeficiente de memoria asociado a dicha segunda medición y/o el peso de la segunda medición si ésta pertenece a una selección anterior o un peso provisional si ésta pertenece a la selección en curso.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 3 ó 4, **caracterizado** porque el cálculo de la distancia combina la distancia angular entre las dos mediciones y una distancia identitaria función de la diferencia de naturaleza de las dos estrellas que constituyen el objeto de las mediciones.

6. Procedimiento según una de las reivindicación 4 ó 5, **caracterizado** porque se define el coeficiente de memoria de una medición m_i en un momento t mediante la fórmula:

$$Mem(m_i / t) = \mu \times \prod^{[t-T(m_i)]}$$

en la que

- $T(m_k)$ es una fecha de validez de una medición m_k ,
- μ y Π son unas constantes.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 6, **caracterizado** porque se asigna a cada estrella que constituye el objeto de una medición una carga que mide las masas atribuidas a las mediciones que se han referido a dicha estrella en el pasado, atenuadas por el paso del tiempo.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado** porque se define la carga de la estrella e_p en un momento T mediante la fórmula:

$$Cha(e_p, T) = \sum_{\substack{i=P+1 \\ E(m_i)=e_p}}^N [A(m_i) \times Mem(m_i / T)]$$

en la que $Mem(m_i / T)$ es el coeficiente de memoria de la medición m_i en el momento T , $E(m_i)$ es la estrella a la que se refería la medición m_i y $A(m_i)$ es la masa de la medición m_i .

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 u 8, **caracterizado** porque antes de hacerla intervenir en el cálculo de la masa asociada a una medición, se actualiza la carga asociada a una estrella a la que se refiere una medición de la selección en curso, gracias a un coeficiente que depende de la diferencia Δ entre la fecha en curso y la fecha de la última actualización de la misma carga.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado** porque el coeficiente es multiplicativo y se presenta en forma $\Pi^{-\Delta}$, en la que Π es una constante.

11. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado** porque el coeficiente es aditivo y se presenta en forma $-\rho \times \Delta$, en la que ρ es una constante.

ES 2 316 998 T3

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 a 11, **caracterizado** porque, después de haber calculado la masa asociada a una medición de la selección en curso, se actualiza la carga asociada a la estrella que ha constituido el objeto de dicha medición.

5 13. Procedimiento según la reivindicación 12, **caracterizado** porque la actualización se efectúa adicionando la masa asociada a la medición.

10 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado** porque se hace intervenir una función aleatoria en el cálculo de las masas.

15 15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado** porque se efectúa una iteración del cálculo del peso de distancia con una masa provisional para las mediciones de la selección en curso, permitiendo el peso de distancia calcular una nueva masa que permite a su vez calcular un nuevo peso de distancia, y así sucesivamente hasta la convergencia hacia una masa final.

20 16. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 15, **caracterizado** porque se registran los valores digitales del procedimiento en unos medios de memoria y de tratamiento del sensor (4) y/o del dispositivo (1) receptor.

25 17. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado** porque se aumenta la renovación de las estrellas que tienen un peso importante elevando la frecuencia de las mediciones del sensor estelar (4) y/o del dispositivo (1) receptor.

30 18. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se hace intervenir directamente en las masas la dispersión del conjunto de una nueva selección gracias a unos medios de tratamiento conectados al sensor (4) y/o al dispositivo (1) receptor.

35 19. Procedimiento según la reivindicación 18, **caracterizado** porque para hacer intervenir directamente la dispersión en las masas, se usan unos medios de tratamiento conectados al sensor (4) y/o al dispositivo (1) receptor que comprende una estructura neuronal.

40 20. Sistema de seguimiento o de adquisición de estrellas que comprende un sensor estelar (4) conectado a un dispositivo (1) receptor que comprende unos medios de atribución de coeficientes de masas a las mediciones de una sucesión de estrellas adquiridas mediante el sensor o su dispositivo receptor con el fin de determinar una orientación en el espacio, **caracterizado** porque comprende unos medios apropiados para favorecer o desfavorecer la renovación en el tiempo, mediante el sensor estelar (4), de las mediciones que tienen las masas más importantes, y unos medios apropiados para desplazar en un espectro de frecuencia una parte de la potencia del error asociado al conjunto de las mediciones estelares.

45 21. Sistema según la reivindicación 20, **caracterizado** porque comprende unos medios conectados al sensor (4) y/o al dispositivo (1) receptor que comprenden una estructura neuronal.

50

55

60

65

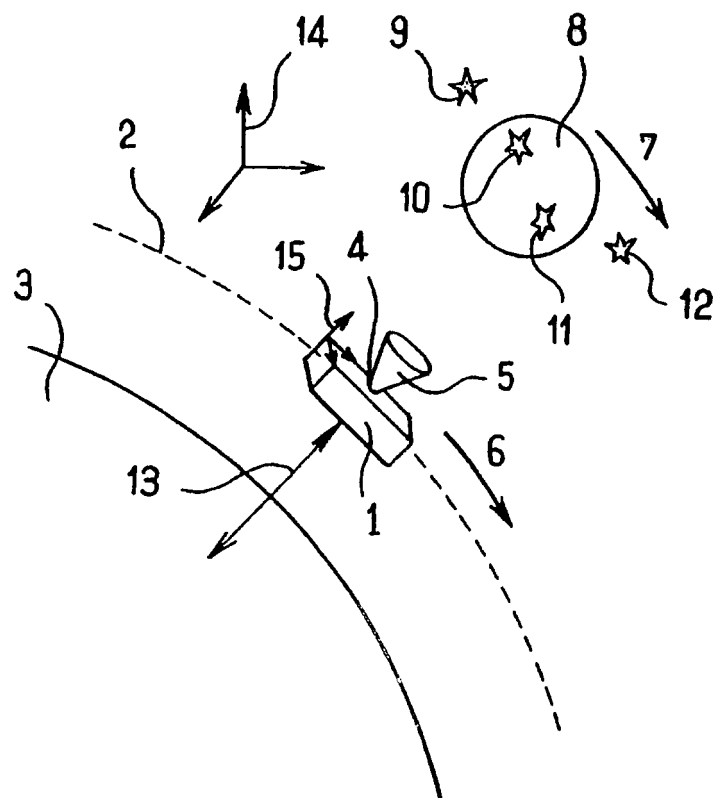


FIG. 1

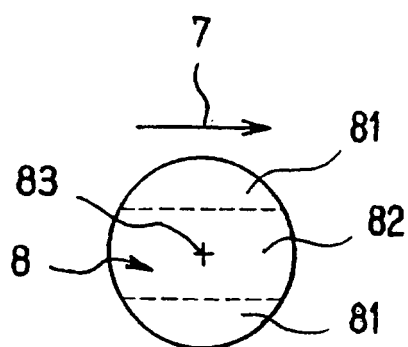


FIG. 2

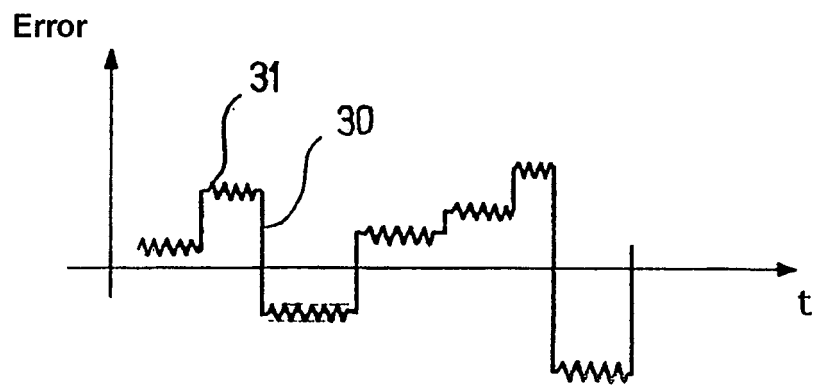


FIG. 3

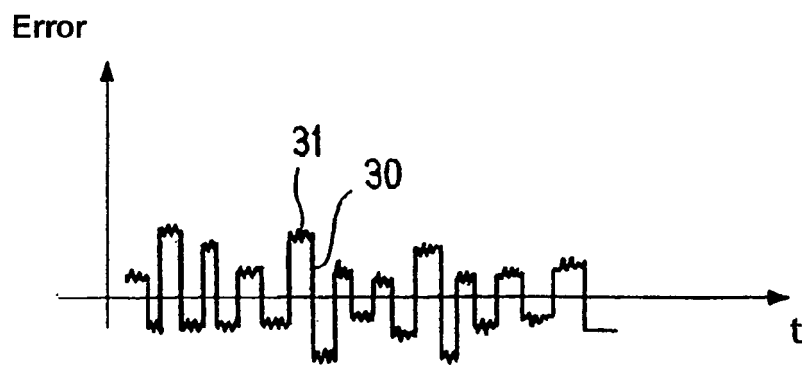


FIG. 4