

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 845**

51 Int. Cl.:

G01S 19/20

(2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09757623 .5**

96 Fecha de presentación: **05.06.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2318854**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.05.2011**

54 Título: **Procedimiento de protección de un usuario de receptor de radionavegación frente a una medidas de pseudodistancias aberrantes**

30 Prioridad:

06.06.2008 FR 0803169

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:

28.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:

28.12.2012

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
45, rue de Villiers
92200 Neuilly-sur-Seine, FR**

72 Inventor/es:

**VAN DEN BOSSCHE, MATHIAS;
KAROUBY, PHILIPPE;
MACABIAU, CHRISTOPHE y
PAIMBLANC, PHILIPPE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 393 845 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de protección de un usuario de receptor de radionavegación frente a unas medidas de pseudodistancias aberrantes

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de protección de un usuario de receptor de radionavegación frente a unas medidas de pseudodistancias aberrantes.

El error en la posición geográfica indicada por un receptor de radionavegación por satélite depende de los errores que ocultan las medidas de pseudodistancias determinadas por el algoritmo que utiliza ese receptor y de los errores que contiene el mensaje de navegación difundido por el satélite.

10 Con el fin de limitar estos errores y garantizar la protección de los usuarios, hay que disponer de unos medios que permitan identificar dichos errores para eliminarlos y calcular un límite sobre el error de posición en función de las medidas disponibles, teniendo en cuenta las especificaciones de integridad y de continuidad inherentes al contexto de utilización (aterrizaje de una aeronave, etc.). Estos medios constituyen la base de un dispositivo que dispone de una función RAIM (*Receiver Autonomous Integrity Monitoring*). Los receptores GNSS actuales de aviación civil no se pueden utilizar sin una función RAIM.

15 Los equipos actuales con función RAIM adolecen de dos problemas:

- están completamente integrados, lo que significa que no se puede seleccionar por separado el equipo que obtiene la señal de navegación y el que calcula la posición del equipo que garantiza las funciones de integridad;
 - se basan en unos algoritmos del tipo de mínimos cuadrados que se desestabilizan por la presencia de medidas erróneas sea cual sea la amplitud (incluso infinitesimal) del error que afecta a estas medidas, lo que plantea
- 20 unos problemas de fiabilidad de las soluciones de posición propuestas.

Por los documentos EP-A-1 729 145 y US2008/074317 A1 se conocen unos procedimientos de protección de datos de radionavegación geo-referenciados que se basan en el uso de estimadores estadísticos de tipo « mínimos cuadrados » o derivados (filtros), cuyos inconvenientes se han citado en el párrafo anterior.

25 La presente invención tiene por objeto un procedimiento de protección de un usuario de receptor de radionavegación frente a unas medidas de pseudodistancias aberrantes, pudiendo aplicarse este procedimiento mediante un equipo independiente del que obtiene la señal de navegación y que calcula la posición del equipo garantizando las funciones de integridad, y que no se desestabilice por la presencia de medidas erróneas, sea cual sea la amplitud de los errores que afecten a estas medidas.

30 El procedimiento de protección de acuerdo con la invención se caracteriza, en el caso más general, porque se ponderan los N residuos de la estimación del vector de estado después de la estimación de la solución de navegación, la ponderación realizándose según la estadística estimada de los errores de esas medidas, utilizando unos estimadores estadísticos robustos (como los *Least Trimmed Squares Estimator*, o *Minimum Covariance Determinant Estimator*, o *M-estimator*, o A-, D-, GM-, L-, MM-P-, R-, S- o W-*estimators* o MSTD), pudiendo ser esta ponderación total o parcial. Si esta es total, la consideración de los residuos es total, con un factor de ponderación igual a 1 o igual a 0 para la exclusión, y si es parcial, el factor de ponderación está comprendido entre 0 y 1. El caso

35 de la ponderación total engloba, entre otros, los métodos robustos « RAIM-MSTD » y « RAIM-LTS », y el caso de la ponderación parcial engloba los métodos robustos de tipo « RAIM-M-estimadores ». Los estimadores estadísticos robustos son bien conocidos en sí mismos, y se describen, por ejemplo, en el artículo de « Wikipedia » que se puede encontrar en la siguiente dirección: http://en.wikipedia.org/wiki/Robust_estimator, así como en las referencias que se citan al final de ese artículo.

40

De acuerdo con otra característica de la invención, se selecciona el subconjunto de h residuos de la estimación del vector de estado de menor varianza, y se utiliza esta varianza, incrementada con un coeficiente de adaptación, así como la media del mismo subconjunto, para centrar y a continuación normalizar las N entradas, que, una vez elevadas al cuadrado, se comparan con un umbral estadístico y se rechazan si son superiores a ese umbral, con

45 $h = N-1$ y/o $N-2$, siendo N el número de residuos. El objetivo de la comparación con el umbral estadístico es no tener que aislar de forma sistemática los h residuos de la estimación del vector de estado. Es el método « RAIM-MSTD ».

De acuerdo con otra característica de la invención, se selecciona el subconjunto de N-h residuos de la estimación del vector de estado de tal modo que la suma de esas medidas al cuadrado es mínima, se estima la media y la varianza de ese subconjunto, y se utiliza esa media y esa varianza (esta última multiplicándose de manera ventajosa por un coeficiente de adaptación superior a 1) para centrar y a continuación normalizar las N entradas, que, una vez elevadas al cuadrado, se comparan con un umbral estadístico y se rechazan si son superiores a ese umbral. Es el método « RAIM-LTS ».

50

De acuerdo con otra característica de la invención, se ponderan los N residuos de la estimación del vector mediante un método iterativo que consiste, en cada iteración, en estimar la media y la varianza de los residuos de la estimación del vector de estado, en calcular unos pesos por medio de una función de ponderación cuyas entradas son los residuos centrados y normalizados por la varianza, y en multiplicar los residuos por esos pesos, el proceso

55

iterativo deteniéndose cuando la suma de los cuadrados de las diferencias entre dos residuos consecutivos es inferior a un umbral, utilizándose la media y la varianza (esta última incrementada con un coeficiente de adaptación) resultantes de este proceso para centrar y a continuación normalizar las N entradas, que, una vez elevadas al cuadrado, se comparan con un umbral estadístico y se rechazan si son superiores a ese umbral. Es el método « RAIM-M-estimadores ».

De forma detallada, el procedimiento de protección de acuerdo con la invención se caracteriza porque comprende las siguientes etapas de cálculo de la información de integridad mediante el cálculo de los residuos de medidas de pseudodistancias que se obtienen a partir de la posición geográfica y del desfase del reloj que suministra un receptor primario de radionavegación y a partir de las medidas que utiliza el receptor primario para obtener estos valores:

- formación de todos los subconjuntos de residuos de cardinal $h = N-1$ y/o $N-2$, siendo N el número de residuos;
- cálculo de la desviación estándar de cada subconjunto y determinación, $\sigma_{\min}$ siendo la desviación estándar más pequeña y que se utiliza para ponderar los residuos, $h_{\min}$ el valor de cardinal para el cual se ha obtenido $\sigma_{\min}$, $Y_{\min}$ el vector de cardinal $h_{\min}$ correspondiente y $m_{\min}$ la media de $Y_{\min}$;
- cálculo de un primer vector definido por:

$$r_{\text{vec},1} = \frac{\sqrt{(Y - m_{\min})^2}}{\sigma_{\min}}$$

- los vectores $r_{\text{vec},1}$ se clasifican por orden creciente para obtener : $r_{\text{vec},1}^{\text{clas}}$;
- cálculo del factor f definido por:

$$f = (\chi^2)^{-1} \left(\frac{h_{\min}}{N}, 1 \right), \text{ donde } (\chi^2)^{-1}(\cdot, 1) \text{ es la inversa de la distribución del } \chi^2 \text{ con un grado de libertad;}$$

- $\sigma_{\min}$ se vuelve a ponderar entonces de la siguiente forma:

$$\sigma_{\min,2} = \sqrt{\frac{r_{\text{vec},1}(h_{\min})}{f}} * \sigma_{\min}$$

- cálculo de un nuevo vector de residuos:

$$r_{\text{vec},2} = \frac{\sqrt{(Y - m_{\min})^2}}{\sigma_{\min,2}}$$

- determinación de un umbral T de tal modo que: $T = (\chi^2)^{-1}(P, 1)$, donde P es una probabilidad cuyo valor óptimo se debe determinar mediante simulación probabilística;
- cada elemento de $r_{\text{vec},2}$ se compara con T. Si $r_{\text{vec},2}(i) > T$, se informa de que se ha detectado un fallo y se excluye el satélite i.

La presente invención se entenderá mejor tras la lectura de la descripción detallada de un modo de realización, que se da a título de ejemplo no excluyente y se ilustra mediante la figura que se adjunta, en la que:

- la figura única es un diagrama simplificado de las etapas sucesivas de aplicación del procedimiento de la invención.

En el diagrama de la figura, se ha simbolizado en 1 un receptor primario clásico de radionavegación por satélite que proporciona, por una parte, en una ruta 2, la solución estimada por el receptor primario (posición geográfica y desfase del reloj), y en otra ruta 3 las medidas de pseudodistancias que utiliza el receptor primario para obtener la solución.

Si las medidas que transmite el receptor prioritario no se han tratado previamente, es conveniente someterlas a un pretratamiento, conocido en sí mismo, para liberarlas de los errores de propagación y de medidas, tal y como se simboliza con el rectángulo 4 en línea discontinua.

El cálculo de la información de integridad comprende a continuación las siguientes etapas, a partir del cálculo de los residuos (5) de las medidas de pseudodistancias (con la referencia Y_i , donde i es el índice del satélite, y N es el número de esos residuos):

- 5 1. Formación de todos los subconjuntos de residuos de cardinal $h = N-1$ y/o $N-2$.
2. Cálculo de la desviación estándar de cada subconjunto (6). Siendo $\sigma_{\min}$ la desviación estándar más pequeña. Esta se toma como referencia (7). Se determina a continuación:

- a. $h_{\min}$ el valor de cardinal para el cual se ha obtenido $\sigma_{\min}$;
- b. $Y_{\min}$ el vector de cardinal $h_{\min}$ correspondiente;
- c. $m_{\min}$ la media de $Y_{\min}$.

- 10 3. $\sigma_{\min}$ se utiliza para ponderar los residuos. Se calcula un primer vector tal que:

$$r_{vec,1} = \frac{\sqrt{(Y - m_{\min})^2}}{\sigma_{\min}}$$

4. Para los diferentes satélites, se clasifican los primeros vectores $r_{vec,1}$ por orden creciente para obtener: $r_{vec,1}^{clas}$. Se calcula, por otra parte, el factor f definido por:

$$f = (\chi^2)^{-1}\left(\frac{h_{\min}}{N}, 1\right), \text{ où } (\chi^2)^{-1}(., 1),$$

- 15 donde $(\chi^2)^{-1}(., 1)$ es la inversa de la distribución del χ^2 con un grado de libertad.

5. Entonces $\sigma_{\min}$ se pondera de nuevo de la siguiente forma:

$$\sigma_{\min,2} = \sqrt{\frac{r_{vec,1}^{trid}(h_{\min})}{f}} * \sigma_{\min}$$

6. Se calcula un nuevo vector de residuos:

$$r_{vec,2} = \frac{\sqrt{(Y - m_{\min})^2}}{\sigma_{\min,2}}$$

- 20 7. El umbral T se define por: $T = (\chi^2)^{-1}(P, 1)$, donde P es una probabilidad cuyo valor óptimo se debe determinar mediante simulación con una técnica probabilística del tipo « Monte-Carlo ».

8. Cada elemento de $r_{vec,2}$ se compara con T . Si $r_{vec,2}(i) > T$, se informa de que se ha detectado un fallo y se excluye (8) el satélite i .

- 25 9. Una vez realizada la detección de las medidas eventualmente incorrectas, el cálculo de los radios de protección (10) se puede hacer de la forma habitual teniendo en cuenta las medidas seleccionadas.

Hay que señalar que P , que representa la probabilidad de excluir un satélite no-defectuoso, sin embargo no se puede equiparar directamente a la probabilidad de exclusión establecida por la OACI. Por otra parte, la prueba del punto 8 se realiza de manera independiente para cada satélite: no hay, por lo tanto, detección sin exclusión.

Las salidas de ese dispositivo son, por lo tanto:

- 30 - Una solución de posición eventualmente corregida (11), si se detecta un error en las medidas de entrada.
- Un valor de radio de protección (12) que permite garantizar la solución de posición del dispositivo, incluyendo eventualmente una alarma.

El procedimiento de la invención permite, de forma autónoma cualquier segmento terrestre (por lo tanto, implementando una funcionalidad RAIM):

- 35 - aumentar los rendimientos de un receptor (denominado « primario ») comercial sin función de integridad;
- detectar eventuales errores que contaminan las medidas en la entrada del cálculo de la posición, mediante la utilización de un algoritmo estadístico de estimación robusto, es decir al cual realmente no le afectan los errores en las medidas, y que aplica un criterio dinámico;
- calcular una corrección robusta para la posición que suministra el receptor primario, excluyendo dicho error si

este se detecta;

- calcular unos límites en el error de posición en función de las medidas disponibles, y teniendo en cuenta las especificaciones de integridad y de continuidad inherentes al contexto de utilización (por ejemplo en la fase de aterrizaje de una aeronave). Esos límites son unos umbrales que no se deben sobrepasar más de una vez para N medidas de distancias, con $N = 10^5$ a 10^7 , por ejemplo;
- unos rendimientos superiores a los del algoritmo RAIM estándar (que utiliza el método de los mínimos cuadrados).

Debido a que no existe en la actualidad ningún procedimiento que permita añadir una función de integridad a un receptor que no la tiene de origen, los dispositivos del estado de la técnica, para obtener un rendimiento equivalente de integridad/disponibilidad, no pueden utilizar los algoritmos habituales. Para mejorar los rendimientos, una solución alternativa sería utilizar unos tratamientos secuenciales o filtrantes, pero como se excluye recurrir a este tipo de tratamientos para la estimación del punto (tiempo de alarma de integridad demasiado largo, que es por ejemplo del orden de 6 segundos para las aplicaciones civiles, pero puede ser del orden de varias centenas de segundos con un filtrado eficiente), no existe otra solución plenamente autónoma para garantizar la integridad con ese nivel de rendimiento.

- El procedimiento de la invención permite optimizar la elección del material de adquisición de la señal de navegación de manera independiente del de tratamiento RAIM.
- El procedimiento RAIM robusto de acuerdo con la invención permite fiabilizar la estimación del punto (posición geográfica), mejorando los rendimientos de integridad (detección y exclusión) con respecto a un RAIM estándar.
- Este procedimiento aporta una capacidad de detección y de exclusión de medidas GNSS erróneas optimizada con respecto al RAIM estándar. En particular, permite mejorar la tasa de disponibilidad de un sistema GNSS compatible con las exigencias de la aviación civil.

En resumen, el procedimiento de la invención ofrece unos rendimientos mucho mejores que los de los algoritmos estándar tanto en términos de integridad (detección) como de disponibilidad (falsas alarmas, optimización de los radios de protección) y se puede aplicar a un receptor de radio-navegación que no presenta de origen una protección RAIM robusta frente a los errores de medición.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de protección de un usuario de receptor de radionavegación frente a unas medidas de pseudodistancias aberrantes, **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas de cálculo de la información de integridad mediante el cálculo de los residuos (5) de medidas de pseudodistancias que se obtienen a partir de la posición geográfica y del desfase del reloj (2) que suministra un receptor primario de radionavegación y a partir de las medidas (3) que utiliza el receptor primario para obtener esos valores:

- a. formación de todos los subconjuntos de residuos de cardinal $h = N-1$ y/o $N-2$, siendo N el número de residuos;
- b. cálculo de la desviación estándar de cada subconjunto (6) y determinación, siendo $\sigma_{\min}$ la desviación estándar más pequeña y que se utiliza como referencia (7) para ponderar los residuos, $h_{\min}$ el valor de cardinal para el cual se ha obtenido $\sigma_{\min}$, $Y_{\min}$ el vector de cardinal $h_{\min}$ correspondiente y $m_{\min}$ la media de $Y_{\min}$;
- c. cálculo de un primer vector definido por

$$r_{\text{vec},1} = \frac{\sqrt{(Y - m_{\min})^2}}{\sigma_{\min}}$$

- d. los vectores $r_{\text{vec},1}$ se clasifican por orden creciente para obtener : $r_{\text{vec},1}^{\text{clas}}$;

- e. cálculo del factor f definido por:

$$f = (\chi^2)^{-1} \left(\frac{h_{\min}}{N}, 1 \right), \text{ donde } (\chi^2)^{-1}(\cdot, 1) \text{ es la inversa de la distribución del } \chi^2 \text{ con un grado de libertad;}$$

- f. $\sigma_{\min}$ se pondera de nuevo entonces de la siguiente forma:

$$\sigma_{\min,2} = \sqrt{\frac{r_{\text{vec},1}^2(h_{\min})}{f}} * \sigma_{\min}$$

- g. cálculo de un nuevo vector de residuos:

$$r_{\text{vec},2} = \frac{\sqrt{(Y - m_{\min})^2}}{\sigma_{\min,2}}$$

- h. determinación de un umbral T de tal modo que: $T = (\chi^2)^{-1}(P, 1)$, donde P es una probabilidad cuyo valor óptimo se debe determinar mediante simulación probabilística;

- i. cada elemento de $r_{\text{vec},2}$ se compara con T . Si $r_{\text{vec},2}(i) > T$, se informa de que se ha detectado un fallo (8) y se excluye el satélite i ...

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la simulación probabilística que se utiliza para la determinación del umbral T es un método del tipo « Montecarlo ».

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** cuando las medidas que transmite el receptor primario no se han tratado previamente, se las somete a un pretratamiento para liberarlas de los errores de propagación y de medidas (4).

4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se calcula una posición corregida (9) cuando se detecta un error en las medidas de entrada.

5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se calcula un valor de reloj corregido (11) cuando se detecta un error en las medidas de entrada.

6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se calculan unos radios de protección (10) en relación con las medidas de forma habitual.

7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se emite una alarma (12) cuando se detecta un error en las medidas de entrada.

8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se aplica a un receptor de radionavegación que no presenta de origen una protección robusta frente a los errores de medición.

