

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 919**

51 Int. Cl.:

G01S 19/20 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2012** **E 12002388 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.10.2014** **EP 2648018**

54 Título: **Un algoritmo RAIM perfeccionado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.01.2015

73 Titular/es:

AIRBUS DS GMBH (100.0%)
Robert-Koch-Str. 1
82024 Taufkirchen, DE

72 Inventor/es:

TRAUTENBERG, HANS L., DR.

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 525 919 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

Un algoritmo RAIM perfeccionado

Campo técnico

5 El invento se refiere a un algoritmo RAIM (Vigilancia de Integridad Autónoma del Receptor) de acuerdo con la reivindicación 1.

Antecedentes

10 La RAIM (Vigilancia de Integridad Autónoma del Receptor) proporciona vigilancia de integridad de un GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) a receptores GNSS. Los algoritmos RAIM procesan señales GNSS y están basados en métodos estadísticos, con los que pueden ser detectadas señales de GNSS defectuosas. Los algoritmos RAIM mejorados permiten no solo la detección de un fallo (FD) de cualquier señal de GNSS recibida, sino también la exclusión de una señal de GNSS que es detectada como defectuosa del posicionamiento, permitiendo así una operación continua de un receptor de GNSS. Esto se conoce como detección de fallo y exclusión (FDE).

15 La solicitud de patente Europea no publicada previamente nº 10006518.4 describe un algoritmo RAIM perfeccionado que se puede emplear en un receptor de GNSS, en el que el algoritmo es particularmente adecuado para satisfacer los requisitos como se han descrito por la ICAO (Organización Internacional de Aviación Civil) para CAT-I.

20 Para la aceptación de un algoritmo RAIM por los usuarios, los usuarios deben tener suficiente confianza en el cálculo del riesgo de integridad con el algoritmo. El concepto de integridad del GNSS GALILEO Europeo planificado proporciona la diseminación de descripciones estadísticas con confianzas específicas. Las descripciones estadísticas describen características de posibles errores de una SIS (Señal en el Espacio), por ejemplo probabilidades de la ocurrencia de errores, y comprende parámetros para describir las características de errores posibles. En GALILEO, las descripciones estadísticas diseminadas comprenden como parámetros para describir las características de error posible valores de SISA (Exactitud de la Señal en el Espacio) para cada satélite. La SISA de un satélite es determinada en el segmento de suelo de GALILEO y es una predicción de la desviación estándar mínima de una distribución Gaussiana, que sobrelimita la distribución de SISE (Error de la Señal en el Espacio) de una SIS (Señal en el Espacio) libre de fallos de un satélite GALILEO. Una descripción detallada del concepto de integridad de GALILEO puede ser encontrada en "El Concepto de Integridad Galileo", V. Oehler, F. Luongo, J.-P. Boyero, R. Stalford, H. L. Trautenberg, 17ª Reunión Internacional Técnica de ION GNSS de la División de Satélites, 21-24 de Septiembre de 2004, Long Beach, CA. La confianza en la determinación de la SISA del parámetro de riesgo de integridad es de aproximadamente 1-1E-4. Sin embargo, esta confianza usualmente no basta con el fin de conseguir riesgos de integridad del orden de aproximadamente 1E-7 con un algoritmo RAIM.

25 Una descripción de los principios que subyacen a la RAIM puede ser encontrada en la publicación KAPLAN E D: "COMPRESIÓN GPS: PRINCIPIOS Y APLICACIONES", COMPRESIÓN GPS PRINCIPIOS Y APLICACIONES, XX, XX, 1 de Enero de 1996, páginas 306-314, XP002044171.

Resumen del invento

35 Así, es un objeto del invento proporcionar un algoritmo RAIM perfeccionado que se puede emplear en un receptor de GNSS, en el que el algoritmo permite aumentar la confianza en un riesgo de integridad calculado con el algoritmo comparado a los algoritmos RAIM conocidos.

Este objeto es conseguido por el objeto de las reivindicaciones independientes. Otras realizaciones están mostradas por las reivindicaciones dependientes.

40 Una idea básica que subyace en el presente invento es la determinación de un subgrupo de señales de medición de distancias "libres de fallo" a partir de todas las señales de medición de distancia "libres de fallo" recibidas y determinar el riesgo de integridad utilizando este subgrupo. Así, la confianza en la determinación del riesgo de integridad puede ser incrementada ya que la descripción estadística de una solución de posicionamiento total es solo errónea si al menos dos señales de medición de distancias "libres de fallo" de todas las señales de medición de distancias "libres de fallo" recibidas son de hecho estadísticamente "no correctas". Así, el invento utiliza redundancia contenida en las señales de medición de distancias "libres de fallo" recibidas con el fin de aumentar la confianza en el proceso de determinar el riesgo de integridad. El invento puede en principio ser aplicado a cada GNSS, en el que son diseminadas señales de medición de distancias, y en el que particularmente las señales de medición de distancias diseminadas contienen una descripción estadística que determina las señales de medición de distancias como defectuosas o libres de fallo, tal como señales de medición de distancias de GALILEO que soportan los Servicios Sol. (Seguridad de Vida) ofrecidos por GALILEO.

50 Una realización del invento se refiere a un algoritmo RAIM para determinar un riesgo de integridad en un GNSS procesando varias señales de medición de distancias recibidas procedentes de satélites del GNSS en que el algoritmo comprende las siguientes acciones:

- determinar un primer grupo de señales de medición de distancias procedentes de señales de medición de distancias recibidas para determinar el riesgo de integridad, en que una descripción estadística de cada señal de medición de distancias del primer grupo determina las señales de medición de distancias como libres de fallo,
- 5
- seleccionar del primer grupo de señales de medición de distancias al menos una señal de medición de distancias asumiendo que la descripción estadística de esta señal de medición de distancias no es correcta,
 - determinar un segundo grupo de señales de medición de distancias a partir del primer grupo eliminando al menos una señal de medición de distancias seleccionada del primer grupo de señales de medición de distancias, y
- 10
- determinar el riesgo de integridad como el máximo de los riesgos de integridad de todas las posibilidades calculadas a partir del segundo grupo de señales de medición de distancias en el límite de alerta.

La determinación del riesgo de integridad puede comprender limitar el riesgo de integridad en el límite de alerta p_{HMI} por el máximo del máximo de todos los riesgos de integridad libres de fallo en el límite de alerta menos $d_{n,i}$ $p_{HMI,fn}$ y el riesgo de integridad libre de fallos $p_{HMI,ff}$ de acuerdo con la siguiente fórmula:

15 $p_{HMI} = \max(p_{HMI,ff}, p_{HMI,fn}) + p_{mf}$

en la que $d_{n,i}$ es la estadística de ensayo para la detección de un fallo en un satélite n en dirección i , y p_{mf} es la probabilidad de que más de una señal de medición de distancias sea defectuosa.

El riesgo de integridad libre de fallo $p_{HMI,ff}$ puede ser calculado de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$p_{HMI,ff} = \left(\max_{n \in N} \left(\left(\prod_{\substack{m=1 \\ n \neq m}}^N K'_m \right) \left(\sum_{i=1}^I \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{AL_i - \mu'_{S_{n,i}}}{\sqrt{2}\sigma'_{S_{n,i}}} \right) \right) \right) \right) \right) + \left(1 - \prod_{m=1}^N (p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) - \sum_{m=1}^N (1 - p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) \prod_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^N (p_{\mu'_n} \cdot p_{\sigma'_n}) \right)$$

20 con $\mu'_{S_{n,i}} = \sum_{m=1}^N \|(S_{n,i})_m\|_2 \mu'_m$

y $\sigma'_{S_{n,i}} = \sum_{m=1}^N ((S_{n,i})_m \sigma'_m)^2$

en que AL_i es un Límite de Alerta.

El máximo del máximo de todos los riesgos de integridad libres de fallo en el límite de alerta menos $p_{HMI,fn}$ puede ser calculado de acuerdo con la siguiente fórmula:

25 $p_{HMI,fn} = \max_{n=1..N} (p_{HMI,fn,n})$ con

$$p_{HMI,fn,n} = \left(\max_{o \in N} \left(\left(\prod_{\substack{m=1 \\ n \neq m \\ o \neq m}}^N K'_m \right) \left(\sum_{i=1}^I \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{AL_i - d_{n,i} \mu'_{S_{n,o,i}}}{\sqrt{2}\sigma'_{S_{n,o,i}}} \right) \right) \right) \right) \right) + \left(1 - \prod_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^N (p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^N (1 - p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) \prod_{\substack{o=1 \\ o \neq m \\ o \neq n}}^N (p_{\mu'_o} \cdot p_{\sigma'_o}) \right)$$

con
$$\mu'_{S_{n,o,i}} = \sum_{m=1}^N \left\| (S_{n,o,i})_m \right\|_2 \mu'_m$$

y
$$\sigma'_{S_{n,o,i}} = \sum_{m=1}^N \left((S_{n,o,i})_m \sigma'_m \right)^2$$

en que AL_i es un Límite de Alerta.

5 De acuerdo con otra realización del invento, puede proporcionarse un programa de ordenador, que implementa un algoritmo de acuerdo con el invento y como se ha descrito anteriormente y que permite la determinación de un riesgo de integridad en un GNSS cuando es ejecutado por un ordenador. El programa de ordenador puede ser por ejemplo instalado sobre un dispositivo informático con un receptor para señales de medición de distancias procedentes de un GNSS, por ejemplo señal de medición de distancias procedente de NAVSTAR-GPS y/o el próximo GNSS GALILEO Europeo y/o GNSS GLONASS Ruso y/o GNSS KOMPASS Chino.

10 De acuerdo con otra realización del invento, puede ser proporcionado un portador de registro que almacena un programa de ordenador de acuerdo con el invento, por ejemplo un CD-ROM, un DVD, una tarjeta de memoria, un disquete, o un portador de datos similar adecuado para almacenar el programa de ordenador para acceso electrónico.

Aún otra realización del invento proporciona un receptor para señales de medición de distancias procedentes del satélite de un GNSS, que comprende

- 15
- una memoria que almacena un programa de ordenador del invento y como se ha descrito antes y
 - un procesador que es configurado por el programa de ordenador almacenado para procesar señales de medición de distancias recibidas con el algoritmo implementado por el programa de ordenador.

El receptor puede estar por ejemplo integrado en un dispositivo móvil tal como un dispositivo de navegación móvil, un teléfono inteligente, una tableta informática, o un ordenador portátil.

20 Estos y otros aspectos del invento serán evidentes y resultarán esclarecidos con referencia a las realizaciones descritas a continuación.

El invento será descrito con más detalle a continuación con referencia a realizaciones ejemplares. Sin embargo, el invento no está limitado a estas realizaciones ejemplares.

Breve descripción de los dibujos

25 La fig. 1 muestra un diagrama de flujo de una realización del algoritmo RAIM de acuerdo con el invento;

La fig. 2 muestra la fórmula para el cálculo del riesgo de integridad libre de fallos ($p_{HMI,ff}$) de acuerdo con el invento;

La fig. 3 muestra la fórmula para el cálculo del máximo del máximo de todos los riesgos de integridad libres de fallos en el (límite de alerta menos $d_{n,i}$) ($p_{HMI,fm}$) de acuerdo con el invento.

Descripción de realizaciones

30 A continuación, se ha explicado una realización del algoritmo de RAIM del invento. El algoritmo RAIM procesa señales de medición de distancias recibidas en una cierta posición desde satélites de un GNSS. Una señal de medición de distancias recibida es también denominada una medición. Otro término común para una señal de medición de distancias recibida es medición de pseudo-telemetría.

35 El algoritmo RAIM procesa la información contenida en las señales de medición de distancias recibidas con el fin de proporcionar vigilancia de integridad para aplicaciones tales como la aviación. Si el algoritmo RAIM detecta una señal de medición de distancias defectuosa, puede emitir un aviso o alarma a un usuario por ejemplo un piloto proporcionando una alerta.

40 Para CAT-I, la ICAO ha descrito varios requisitos para GPS, que deben ser satisfechos por algoritmos RAIM. Los requisitos se refieren a disponibilidad, exactitud, integridad, y continuidad de un servicio de posicionamiento basado en GNSS.

De acuerdo con la ICAO, la integridad es definida como una medida de la confianza que puede estar ubicada en la exactitud de la información suministrada por el sistema total. Integridad incluye la capacidad de un sistema para proporcionar alarmas oportunas y válidas para el usuario (alertas) cuando el sistema no debe ser utilizado para la operación (o fase de vuelo) pretendida.

Para describir el rendimiento de intensidad se han utilizado los siguientes parámetros:

- Límite de alerta: Para una medición de parámetro dada, la tolerancia de error no ha de ser excedida sin emitir una alerta.
- 5 • Tiempo hasta la alerta: El tiempo máximo permisible transcurrido desde el comienzo del sistema de navegación que está fuera de tolerancia hasta que el equipo enuncia la alerta.
- Riesgo de integridad: Probabilidad de que una alarma no sea proporcionada dentro del periodo de tiempo hasta la alerta después de que se haya excedido del límite de alerta.

10 Las definiciones de los términos Límite de Alerta y Tiempo hasta la Alerta pueden ser encontradas en "Normas Internacionales y Prácticas Recomendadas de Telecomunicaciones Aeronáuticas, Anexo 10 a la Convención sobre Aviación Civil, Volumen I (Ayudas de Navegación por Radio) (se han considerado Enmiendas hasta la Enmienda 84)", Sexta Edición, Julio de 2006. La definición para el término Riesgo de Integridad está por ejemplo especificada en los requisitos del sistema GALILEO.

Modelo de Error de Posición

15 Para la comprensión básica del algoritmo RAIM del invento se ha explicado a continuación el Modelo de Error de Posición.

Se ha asumido que la solución de posición es derivada por un algoritmo de mínimo cuadrado ponderado. Se ha asumido además que la relación linealizada entre el error de posición-tiempo Δx y los errores de medición de distancia Δr vienen dados por

$$\Delta x_0 = S_0 \Delta r \quad (0.1)$$

20 donde

$$S_0 = (G^T W_\xi G)^{-1} G^T W_\xi \quad (0.2)$$

donde G es la matriz de diseño y W_ξ es una matriz diagonal cuyo enésimo elemento diagonal es una función del modelo de error ξ de distancia del satélite y el modelo de error aéreo asumido para el satélite enésimo. N es el número de distancias en la solución de posición asociada con S_0 .

25 Para GPS $\xi = URA$ (Precisión en la Distancia para el Usuario) y es

$$(W_{URA})_{n,n} = \frac{1}{(URA_n)^2 + (\sigma_{n,usuario})^2 + (\sigma_{n,tropo})^2} \quad (0.3)$$

Para GALILEO $\xi = SISA$ (Precisión de Señal en el Espacio) y es

$$(W_{SISMA})_{n,n} = \frac{1}{(SISA_n)^2 + (\sigma_{n,usuario})^2 + (\sigma_{n,tropo})^2} \quad (0.4)$$

en que

30 $\sigma_{n,usuario}$ tiene en cuenta múltiples trayectos y el ruido del receptor del usuario.

$\sigma_{n,tropo}$ tiene en cuenta el modelado erróneo de la troposfera.

En la descripción actual se ha asumido que la ionosfera es corregido por mediciones de doble frecuencia. Si este no es el caso el modelado erróneo de la ionosfera ha de ser añadido como el modelado erróneo de la troposfera anterior.

El modelo de error de posición para la solución de posición, donde el satélite enésimo ha sido retirado viene dado por

35
$$\Delta x_n = S_n \Delta r \quad (0.5)$$

donde

$$S_n = (G^T M_n W_\xi G)^{-1} G^T M_n W_\xi \quad (0.6)$$

siendo M_n la matriz de identidad en que el elemento (n,n) es establecido a cero.

El modelo de error de posición para la solución de posición, en que el satélite enésimo y emésimo han sido retirados

viene dado por

$$\Delta x_{n,m} = S_{n,m} \Delta r \quad (0.7)$$

donde

$$S_{n,m} = (G^T M_{n,m} W_\xi G)^{-1} G^T M_{n,m} W_\xi \quad (0.8)$$

5 siendo $M_{n,m}$ la matriz de identidad en que los elementos (n,n) y (m,m) son establecidos a cero.

Algoritmo RAIM de Separación de Posición

A continuación, se ha explicado la separación de posición como es aplicada por el algoritmo RAIM del invento.

Las estadísticas de ensayo para la detección de un fallo en el satélite n es

$$d_n = \max_{\substack{m \in N \\ m \neq n}} (\Delta x_{n,m} - \Delta x_0) \quad (0.9)$$

10 o más precisamente, cuando las estadísticas de ensayo son en cada dirección espacial independientes,

$$d_n = \max_{\substack{m \in N \\ m \neq n}} (e_i^T (\Delta x_{n,m} - \Delta x_0)) \equiv \max_{\substack{m \in N \\ m \neq n}} ((\Delta x_n - \Delta x_0)_i) \quad (0.10)$$

donde e_i es el vector unidad en la dirección i . i puede tomar los valores este, norte o hacia arriba, o cualquier otro valor en el que esté interesado un usuario.

15 De acuerdo con el invento, el satélite m no es considerado defectuoso, sólo se considera que la descripción libre de fallos del satélite m no es correcta.

Con la definición de ΔS_n y $\Delta S_{n,m}$ como sigue

$$\Delta x_n - \Delta x_0 = (S_n - S_0) \Delta r \equiv \Delta S_n \Delta r \quad (0.11)$$

$$\Delta x_{n,m} - \Delta x_0 = (S_{n,m} - S_0) \Delta r \equiv \Delta S_{n,m} \Delta r \quad (0.12)$$

puede escribirse

$$20 \quad d_{n,i} = \max_{\substack{m \in N \\ m \neq n}} (e_i^T \Delta S_{n,m} \Delta r) \equiv \Delta S_{n,m,i} \Delta r \quad (0.13)$$

Riesgo de Integridad

A continuación se ha explicado la determinación del riesgo de integridad de acuerdo con el algoritmo RAIM del invento.

Sólo una señal de medición de distancias recibida es considerada como defectuosa. Además otra señal es considerada como libre de fallo, pero la descripción estadística de esta señal es considerada como no correcta. Por ello uno de los $\Delta x_{n,m,i}$ es la diferencia entre la solución libre de fallo con $N - 2$ señales en que la confianza en la descripción estadística correcta de las señales libres de fallo no viene ya dada como producto de las confianzas en la distribución estadística de las señales individuales de medición de distancias, sino que es más elevada, ya que se ha considerado que una señal libre de fallo podría no ser descrita estadísticamente correcta, y la (solución defectuosa o libre de fallo) con N señales. El riesgo de integridad en el límite de alerta (p_{HMI}) está por ello limitado por el máximo del máximo de todos los riesgos de integridad libres de fallo en el (límite de alerta menos $d_{n,i}$) ($p_{HMI,fn}$) y el riesgo de integridad libre de fallo ($p_{HMI,ff}$).

$$p_{HMI} = \max(p_{HMI,ff}, p_{HMI,fn}) + p_{mf} \quad (0.14)$$

La fig. 2 muestra la fórmula para el cálculo de $p_{HMI,ff}$ (0.15)

La fig. 3 muestra la fórmula para el cálculo de $p_{HMI,fn}$ (0.16)

$$p_{HMI,fn} = \max_{n=1..N} (p_{HMI,fn,n}) \quad (0.17)$$

35 con

$$\mu'_{S_{n,o,i}} = \sum_{m=1}^N \left\| (S_{n,o,i})_m \right\|_2 \mu'_m \quad (0.18)$$

y

$$\sigma'_{S_{n,o,i}} = \sum_{m=1}^N \left((S_{n,o,i})_m \sigma'_m \right)^2 \quad (0.19)$$

y

$$\mu'_{S_{n,i}} = \sum_{m=1}^N \left\| (S_{n,i})_m \right\|_2 \mu'_m \quad (0.20)$$

y

$$\sigma'_{S_{n,i}} = \sum_{m=1}^N \left((S_{n,i})_m \sigma'_m \right)^2 \quad (0.21)$$

y

$$\mu'_{S_{0,i}} = \sum_{m=1}^N \left\| (S_{0,i})_m \right\|_2 \mu'_m \quad (0.22)$$

10 y

$$\sigma'_{S_{0,i}} = \sum_{m=1}^N \left((S_{0,i})_m \sigma'_m \right)^2 \quad (0.23)$$

Las primas indican que el exceso de límite podría ser diferente del exceso de límite utilizado para el cálculo de las probabilidades de alerta. Como el riesgo de integridad es menor que la probabilidad de alerta más probablemente las probabilidades $p_{\mu'_n} \cdot p_{\sigma'_n}$ han de ser mayores que las $p_{\mu_n} \cdot p_{\sigma_n}$ utilizadas para continuidad y precisión, que a su vez dan como resultado unos μ'_m, σ'_m y K' posiblemente mayores comparados con las versiones sin primas.

p_{ff} es la probabilidad de que todas las señales de medición de distancias sean libres de fallo.

p_{fm} es la probabilidad de que cualquiera y solo una de las señales sea defectuosa.

p_{mf} es la probabilidad de que más de una señal de medición de distancias sea defectuosa.

No es interesante limitar el riesgo de integridad para un intervalo específico sino en promedio, un límite para el riesgo de integridad promedio puede ser calculado con

$$P_{avHMI} = P_{ff} P_{HMI,ff} + \sum_{n=1}^N P_{fm,n} P_{HMI,fm,n} + P_{mf} \quad (0.24)$$

Sintonización del Umbral de Detección

Los umbrales de detección pueden ser sintonizados de tal modo que la disponibilidad que es básicamente la suma de la probabilidad de falsa alerta p_{fa} y la fracción de casos en los que el riesgo de integridad en el límite de alerta calculado bien con (0.14) o bien con (0.24) es superior o igual al riesgo de integridad tolerable, donde los $d_{n,i}$ son reemplazados por $D_{n,i}$ para la evaluación de (0.14) respectivamente de (0.24), es minimizado. Dependiendo de la definición de disponibilidad han de utilizarse diferentes conjuntos de casos.

La fig. 1 muestra un diagrama de flujo del algoritmo RAIM del invento. En la operación S10, se determina un primer grupo de señales de medición de distancias a partir de señales de medición de distancias recibidas. Con cada señal de medición de distancias, puede ser recibida una descripción estadística de la calidad de la señal de medición de distancias con respecto al riesgo de integridad, por ejemplo un valor de SISA. El valor estadístico de cada señal de

medición de distancias del primer grupo determina las señales de medición de distancias como libres de fallo. Así, el primer grupo contiene solo señales de medición de distancias evaluadas como libres de fallo.

5 En la siguiente operación S12, el algoritmo selecciona a partir del primer grupo de señales de medición de distancias, determinado en la operación S10, una o más señales de medición de distancias, para las que se ha asumido que su descripción estadística es defectuosa, es decir, que la descripción estadística de estas señales de medición de distancias seleccionadas no es correcta. Por ejemplo, todas las señales de medición de distancias con los valores de SISA más críticos entre los valores de SISA de la señales de medición de distancias del primer grupo pueden ser seleccionadas. Esto puede llevarse a cabo por ejemplo seleccionando señales de medición de distancias con un valor de SISA, que está por debajo de un cierto umbral definido por el algoritmo.

10 Después de seleccionar al menos una señal de medición de distancias del primer grupo, se determina un segundo grupo de señales de medición de distancias eliminando las señales de medición de distancias seleccionadas del primer grupo en la operación S14. El segundo grupo es un subconjunto del primer grupo.

15 En la operación S16, el riesgo de integridad es determinado entonces como el máximo de los riesgos de integridad de todas las posibilidades calculadas a partir del segundo grupo de señales de medición de distancias en el límite de alerta, con referencia anterior a las fórmulas de cálculo con (0,14) o (0,24).

El presente invento permite conseguir particularmente una confianza suficiente en la determinación de los riesgos de integridad en un GNSS con un algoritmo RAIM, incluso aunque la confianza en la determinación correcta de la descripción estadística de una señal de medición de distancias tal como en valor SISA no sea suficiente para satisfacer los requisitos del algoritmo RAIM.

20

REIVINDICACIONES

1. Un método RAIM para determinar un riesgo de integridad en un GNSS procesando varias señales de medición de distancias recibidas de satélites del GNSS en que el método comprende las siguientes acciones:

- 5 • determinar un primer grupo de señales de medición de distancias procedentes de señales de medición de distancias recibidas para determinar el riesgo de integridad (S10), en que una descripción estadística de cada señal de medición de distancias del primer grupo determina las señales de medición de distancias como libres de fallo,
- 10 • seleccionar del primer grupo de señales de medición de distancias al menos una señal de medición de distancias asumiendo que la descripción estadística de esta señal de medición de distancias no es correcta (S12),
- determinar un segundo grupo de señales de medición de distancias a partir del primer grupo eliminando al menos una señal de medición de distancias seleccionada del primer grupo de señales de medición de distancias (S14), y
- 15 • determinar el riesgo de integridad como el máximo de los riesgos de integridad de todas las posibilidades calculadas a partir del segundo grupo de señales de medición de distancias en el límite de alerta (S16).

2. El método de la reivindicación 1, en el que la determinación del riesgo de integridad comprende limitar el riesgo de integridad en el límite de alerta p_{HMI} por el máximo del máximo de todos los riesgos de integridad libres de fallo en el límite de alerta menos $d_{n,i}$ $p_{HMI,fm}$ y el riesgo de integridad libre de fallos $p_{HMI,ff}$ de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$p_{HMI} = \max(p_{HMI,ff}, p_{HMI,fm}) + p_{mf}$$

20 en la que $d_{n,i}$ es la estadística de ensayo para la detección de un fallo en un satélite n en dirección i , y p_{mf} es la probabilidad de que más de una señal de medición de distancias sea defectuosa.

3. El método de la reivindicación 2, en el que $p_{HMI,ff}$ es calculada de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$p_{HMI,ff} = \left(\max_{n \in N} \left(\left(\prod_{\substack{m=1 \\ n \neq m}}^N K'_m \right) \left(\sum_{i=1}^I \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{AL_i - \mu'_{S_{n,i}}}{\sqrt{2}\sigma'_{S_{n,i}}} \right) \right) \right) \right) \right) + \left(1 - \prod_{m=1}^N (p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) - \sum_{m=1}^N (1 - p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) \prod_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^N (p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) \right)$$

con
$$\mu'_{S_{n,i}} = \sum_{m=1}^N \|(S_{n,i})_m\|_2 \mu'_m$$

25 y
$$\sigma'_{S_{n,i}} = \sum_{m=1}^N ((S_{n,i})_m \sigma'_m)^2$$

en la que AL_i es un Límite de Alerta.

4. El método de la reivindicación 2 ó 3, en el que $p_{HMI,fm}$ es calculada de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$p_{HMI,fm} = \max_{n=1..N} (p_{HMI,fm,n}) \quad \text{con}$$

$$P_{HMI, fm, n} = \left(\max_{o \in N} \left(\prod_{\substack{m=1 \\ n \neq m \\ o \neq m}}^N K'_m \right) \left(\sum_{i=1}^I \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{AL_i - d_{n,i} \mu'_{S_{n,o,i}}}}{\sqrt{2} \sigma'_{S_{n,o,i}}} \right) \right) \right) \right) + \left(1 - \prod_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^N (p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^N (1 - p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) \prod_{\substack{o=1 \\ o \neq m \\ o \neq n}}^N (p_{\mu'_o} \cdot p_{\sigma'_o}) \right)$$

con
$$\mu'_{S_{n,o,i}} = \sum_{m=1}^N \|(S_{n,o,i})_m\|_2 \mu'_m$$

y
$$\sigma'_{S_{n,o,i}} = \sum_{m=1}^N \left((S_{n,o,i})_m \sigma'_m \right)^2$$

en la que AL_i es un Límite de Alerta.

- 5 5. Un programa de ordenador que implementa un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes y que permite la determinación de un riesgo de integridad en un GNSS cuando es ejecutado por un ordenador.
6. Un portador de registro que almacena un programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 5.
7. Un receptor para señales de medición de distancias procedentes del satélite de un GNSS, que comprende
 - una memoria que almacena un programa de ordenador de la reivindicación 5 y
- 10 • un procesador que es configurado por el programa de ordenador almacenado para procesar señales de medición de distancias recibidas con el método implementado por el programa de ordenador.

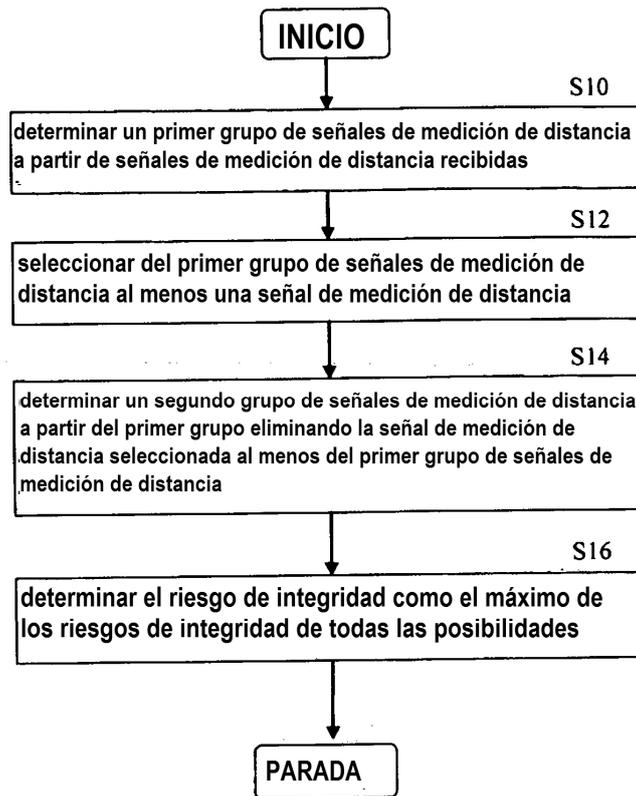


Fig. 1

$$P_{HMI, \mathcal{J}} = \left(\max_{n \in N} \left(\left(\prod_{\substack{m=1 \\ n \neq m}}^N K'_m \right) \left(\sum_{i=1}^I \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{AL_i - \mu'_{s_{n,i}}}{\sqrt{2}\sigma'_{s_{n,i}}} \right) \right) \right) + 1 - \prod_{m=1}^N (p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) - \sum_{\substack{m=1 \\ n \neq m}}^N (1 - p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) \prod_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^N (p_{\mu'_n} \cdot p_{\sigma'_n}) \right) \right)$$

Fig. 2

$$P_{HMI, \mathcal{J}(m,n)} = \max_{\sigma \in N} \left(\left(\prod_{\substack{m=1 \\ n \neq m \\ \sigma \neq m}}^N K'_m \right) \left(\sum_{i=1}^I \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{AL_i - d_{n,i} - \mu'_{s_{n,\sigma,i}}}{\sqrt{2}\sigma'_{s_{n,\sigma,i}}} \right) \right) \right) + 1 - \prod_{\substack{m=1 \\ n \neq m}}^N (p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) - \sum_{\substack{m=1 \\ n \neq m}}^N (1 - p_{\mu'_m} \cdot p_{\sigma'_m}) \prod_{\substack{\sigma=1 \\ \sigma \neq m \\ \sigma \neq n}}^N (p_{\mu'_\sigma} \cdot p_{\sigma'_\sigma}) \right)$$

Fig. 3