

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 622 392**

51 Int. Cl.:

**G01S 19/42** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2015** **E 15164654 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.01.2017** **EP 2942646**

54 Título: **Procedimiento de determinación de la posición de un receptor de sistema de navegación por satélite, y sistema asociado**

30 Prioridad:

**30.04.2014 FR 1401008**

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

**06.07.2017**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)  
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade  
Nord  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**CALMETTES, THIBAUD;  
CARRIE, GUILLAUME y  
KUBRAK, DAMIEN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 622 392 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 determinación de la posición de un receptor de sistema de navegación por satélite, y sistema asociado

5 La invención se refiere a un procedimiento de determinación de la posición de un receptor de sistema de navegación por satélite, y sistema asociado.

Es importante mejorar la robustez de los sistemas de navegación por satélite de gran restricción de la integridad en unos entornos radioeléctricos perturbados, de manera voluntaria o involuntaria. Esto se refiere en particular a las aplicaciones de transporte, terrestre, ferroviario y aéreo.

10 Es conocida la introducción de unos "márgenes" sobre el campo de la incertidumbre de posición, principalmente para un sistema de aumentación espacial o SBAS como acrónimo de "satellite-based augmentation system" en idioma inglés para la aviación.

Esta aproximación no es satisfactoria más que en unos entornos relativamente abiertos (poco enmascarados) y reducidamente perturbados, pero no en unos entornos más críticos.

15 Se conoce igualmente la implementación de unos rechazos, por ejemplo en el caso de algoritmos de detección y de rechazo de multitrayectorias en el entorno del suelo en mono o en multi-antenas y en mono o en multi-constelaciones.

Esta aproximación presenta la dificultad de conducir a una gran ambigüedad entre ruido y perturbación, no permite verdaderamente una caracterización fina de los perjuicios, y la aproximación de rechazo simple, principalmente en el caso de falsa alarma, puede crear problemas de disponibilidad.

20 Se conocen igualmente unos procedimientos de determinación de la posición de un receptor de sistema de navegación por satélite en los que se utiliza una ponderación probabilística de las señales recibidas, como se ilustra en los documentos EP 2037290 A1 o en el documento US 2004/0008139 A1.

Un objeto de la invención es paliar los inconvenientes anteriormente citados.

Un objeto de la invención es mejorar la robustez de los sistemas de navegación por satélite.

25 También, se propone, según un aspecto de la invención, un procedimiento de determinación de la posición de un receptor de sistema de navegación por satélite en el que se utiliza una ponderación probabilística de las señales recibidas, utilizando dicha ponderación un coeficiente  $K_i$ , para cada satélite de índice  $i$ , siendo dicho coeficiente  $K_i$  un producto de factores que comprende cada uno una probabilidad de existencia de una perturbación, comprendiendo dicho coeficiente  $K_i$ , para cada satélite de índice  $i$ , al menos un factor de la forma  $(1 - P_j^i)^{a_i}$ , variando de 1 a 6, en la  
30 que:

$P_1^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una primera probabilidad de que la señal recibida comprenda una combinación de una componente de señal no reflejada y de una componente de señal multitrayectoria,

$P_2^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una segunda probabilidad de que la señal recibida comprenda únicamente una componente de señal multitrayectoria,

35  $P_3^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una tercera probabilidad de que la señal recibida se vea interferida por una interferencia terrestre,

$P_4^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una cuarta probabilidad de que la señal recibida comprenda una combinación de una componente de una señal generada por un emisor de interferencias en el suelo y una componente de la señal nominal,

40  $P_5^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una quinta probabilidad de que la señal recibida no esté en coherencia con unas condiciones de recepción anteriores de dicha señal,

$P_6^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una sexta probabilidad de que la señal recibida no esté en coherencia con una cartografía de los alrededores, y  
 $a_i$  representa un número real positivo.

45 De ese modo, es posible tener en cuenta simple y eficazmente unos modelos de perturbación en la resolución de la posición del receptor, evaluando la probabilidad de perturbación, e integrar automáticamente estos modelos en el cálculo de la posición y en el cálculo de la integridad.

Una ponderación  $K_i$  de esta forma permite concatenar en una misma formulación las informaciones sobre todas las fuentes de perturbaciones identificables, lo que permite su utilización simple mediante rechazo bruto y/o mediante  
50 ponderación de la medición tal como se ha visto anteriormente. Otra ventaja es ser acumulativa, y por tanto permitir

la toma en consideración de fenómenos confusos o difícilmente identificables: incluso si el cálculo de las probabilidades no permite evidenciar de manera cierta un tipo de perturbación (ninguna probabilidad es igual al 100 %), varios indicadores pueden estar perturbados (varios  $P_j^i$  ( $j \in \llbracket 1;6 \rrbracket$ )) estarán por encima del 0 %) y por tanto la notación global  $K_i$  puede sin embargo reducirse.

- 5 En un modo de realización, cuando un coeficiente  $K_i$  es inferior a un primer umbral, dicha determinación de la posición del receptor del sistema de navegación por satélite descarta las señales recibidas del satélite de índice  $i$ .

De ese modo, es posible eliminar unas señales para las que la perturbación se considera cierta o cuasi cierta.

- 10 Según un modo de realización, dicha determinación de la posición del receptor de sistema de navegación por satélite utiliza una ponderación de las mediciones de las señales emitidas por dichos satélites de valor respectivo  $1/K_i$ .

- 15 De ese modo, el tratamiento de localización favorece, en la resolución del punto o posición del receptor, las mediciones más probablemente no perturbadas. Además, la suma de las ponderaciones en todos los satélites utilizados contribuye a crear un nivel de confianza, utilizado principalmente para establecer la integridad. Integrandos estos  $1/K_i$  ampliamente superiores o iguales a 1, se incrementa la suma de las ponderaciones y por tanto el nivel de confianza para tener en cuenta la probabilidad de perturbación en cuanto esta no es nula.

- 20 En un modo de realización, la primera probabilidad  $P_1^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida comprenda una combinación de una componente de señal no reflejada y de una componente de señal multitrayectoria, utiliza simultáneamente un bucle de búsqueda del retardo basado en un discriminante temprano/tarde de separación estrecha, un bucle de búsqueda del retardo basada en un discriminante temprano/tarde de separación normal, y una desviación entre los retardos evaluados mediante dichos bucles.

- 25 De ese modo, si la multitrayectoria es mayor que la desviación del discriminante temprano/tarde de separación estrecha, surge una diferencia entre las dos salidas o dos búsquedas: la búsqueda estrecha continuará siguiendo la trayectoria directa, mientras que la búsqueda normal será una combinación de la trayectoria directa y de la trayectoria reflejada. Si la multitrayectoria es más pequeña que la separación del discriminante temprano/tarde de separación estrecha, la detección no funcionará puesto que las dos búsquedas estarán igualmente afectadas, pero se considera para limitar este efecto una separación estrecha suficientemente pequeña para que el impacto de la multitrayectoria sea aceptable (típicamente inferior a un metro). Esta medición de la separación entre las dos búsquedas permite por tanto construir una métrica para la detección de las multitrayectorias con señal directa.

- 30 El discriminante temprano/tarde corresponde a la diferencia entre la correlación en un instante de adelanto con relación a la señal y la correlación en un instante de retardo con relación a la señal. Permite seguir la evolución de la sincronización y corresponde a la medición del bucle de búsqueda en cadencia (o DLL por el acrónimo de "Delay Locked Loop" en idioma inglés). De manera clásica, se considera una desviación de las dos correlaciones (sea en adelanto, sea en retardo) de un semi-chip, puesto que esto ofrece el mejor rendimiento en un entorno gaussiano. Sin embargo, en el caso principalmente de las multitrayectorias que pueden añadir una contribución entre 0 y 0,5 chips, se puede acomodar igualmente al discriminante aplicado para una separación de las dos correlaciones (sea en adelanto, sea en retardo) más pequeña, por ejemplo de 0,1 chip. Si surge una diferencia notable entre las dos, esto es a priori la indicación de una multitrayectoria de desfase entre 0,1 chips y 0,5 chips que afecta al discriminante temprano/tarde clásico en 0,5 chips pero no al discriminante temprano/tarde reducido en 0,1 chips.

- 40 Según un modo de realización, la segunda probabilidad  $P_2^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida comprenda únicamente una componente de señal multitrayectoria, utiliza simultáneamente un bucle de búsqueda de retardo basado en un discriminante temprano/tarde de separación estrecha, un bucle de búsqueda de retardo basado en un discriminante temprano/tarde de separación normal, y una variación temporal de una desviación entre los retardos evaluados para dichos bucles.

- 45 De ese modo, en la diferencia de  $P_1^i$ , no hay trayectoria directa, de manera que no haya una señal útil en el intervalo observado por el discriminante de separación estrecha. La búsqueda asociada acaba por divergir, mientras que el discriminante de separación normal permanece enganchado en la multitrayectoria. También, una métrica asociada al desenganche relativo permite tener en cuenta correctamente la perturbación.

- 50 En un modo de realización, la tercera probabilidad  $P_3^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida se vea interferida por una interferencia terrestre utiliza una desviación entre una medición de la relación de la potencia de la señal útil recibida con respecto a la potencia del ruido en la señal recibida y una estimación esperada de la relación de la potencia de la señal útil recibida con respecto a la potencia del ruido en la señal recibida. Una disminución de la relación señal a ruido puede provenir o bien de una interferencia, o bien de un enmascaramiento o de otra atenuación. Es posible entonces mejorar el modelo de dicha estimación esperada incluyendo en esta los enmascaramientos y otras atenuaciones conocidas mediante una cartografía (principalmente 3D).

De ese modo, es posible observar una disminución de la relación señal a ruido procedente de una interferencia.

Según un modo de realización, la cuarta probabilidad  $P_4^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida comprenda una combinación de una componente de una señal generada por un emisor de interferencias en el suelo y de una componente de la señal nominal utiliza una desviación entre una medida del residuo de pseudodistancia y una estimación esperada del residuo de pseudodistancia.

Es posible así observar la incoherencia, en valor absoluto (sesgo), de una señal con relación a la localización estimada.

Según un modo de realización, la quinta probabilidad  $P_5^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida no esté en coherencia con unas condiciones de recepción anteriores de dicha señal utiliza una variación de la varianza de los residuos de las pseudodistancias de dichos satélites.

Es posible así observar la incoherencia en el transcurso del tiempo, o ruido, de una señal con relación a la localización estimada. Existen dos casos sospechosos:

- o bien la varianza disminuye grandemente, y esto significa:
  - o bien que la señal está perturbada por una multitrayectoria difusa y que se pasa a una multitrayectoria reflejada: caso muy frecuente en un entorno urbano.
  - o bien que la señal se recibía en unas condiciones "normales" ligeramente interferidas, pero que se recibe ahora en unas condiciones perfectas, tal como podría generarlas un señuelo.
- o bien la varianza aumenta grandemente, lo que significa la entrada en un entorno perturbado.

En un modo de realización, la sexta probabilidad  $P_6^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida no esté en coherencia con una cartografía de los alrededores utiliza una desviación entre la potencia medida de la señal recibida del satélite de índice  $i$  y una estimación esperada de la potencia de la señal recibida del satélite de índice  $i$ .

De ese modo, considerando la potencia, es ventajosamente posible tener en cuenta unos efectos de niveles recibidos demasiado fuertes (las señales deberían recibirse enmascaradas y no lo están (error de posición)), o tener en cuenta unas señales que deberían recibirse demasiado débiles y por tanto se recibe en su lugar una señal de señuelo), o tener en cuenta los efectos de niveles recibidos demasiado reducidos (las señales no deberían haberse recibido enmascaradas y lo están (error de posición)).

Según otro aspecto de la invención, se propone igualmente un sistema de determinación de la posición de un receptor de sistema, de un sistema de navegación por satélite, adaptado para implementar el procedimiento tal como se ha descrito anteriormente.

Le invención se comprenderá mejor con el estudio de algunos modos de realización descritos a título de ejemplos en ningún caso limitativos e ilustrados mediante los dibujos adjuntos en los que las figuras 1 y 2 ilustran esquemáticamente.

Se propone, como se ilustra en la figura 1, según un aspecto de la invención, un procedimiento de determinación de la posición de un receptor de sistema de navegación por satélite en el que se utiliza una ponderación probabilística de las señales recibidas, utilizando dicha ponderación un coeficiente  $K_i$ , para cada satélite de índice  $i$ , siendo dicho coeficiente  $K_i$  un producto de factores que comprende cada uno una probabilidad de existencia de una perturbación, comprendiendo dicho coeficiente  $K_i$ , para cada satélite de índice  $i$ , al menos un factor de la forma  $(1 - P_j^i)^{q_i}$ , variando de 1 a 6, en la que:

- $P_1^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una primera probabilidad de que la señal recibida comprenda una combinación de una componente de señal no reflejada y de una componente de señal multitrayectoria,
- $P_2^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una segunda probabilidad de que la señal recibida comprenda únicamente una componente de señal multitrayectoria,
- $P_3^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una tercera probabilidad de que la señal recibida se vea interferida por una interferencia terrestre,
- $P_4^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una cuarta probabilidad de que la señal recibida comprenda una combinación de una componente de una señal generada por un emisor de interferencias en el suelo y una componente de la señal nominal,
- $P_5^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una quinta probabilidad de que la señal recibida no esté en coherencia con unas condiciones de recepción anteriores de dicha señal,

$P_6^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una sexta probabilidad de que la señal recibida no esté en coherencia con una cartografía de los alrededores, y  $a_i$  representa un número real positivo.

Típicamente,  $a_i$  es un número real positivo comprendido entre 0 y 3.

- 5 La ponderación, como se ilustra en la figura 2, puede utilizar un coeficiente  $K_i$ , para cada satélite de índice  $i$ , de la forma siguiente:

$$K_i = (1 - P_1^i) \times (1 - P_2^i) \times (1 - P_3^i) \times (1 - P_4^i) \times (1 - P_5^i) \times (1 - P_6^i)$$

(los  $a_i$  son todos iguales a 1 en este caso)

- 10 Por supuesto, como variante, el coeficiente  $K_i$  puede comprender solamente una parte de los factores de la relación anterior.

Cuando un coeficiente  $K_i$  es inferior a un primer umbral  $S_1$ , la determinación de la posición del receptor del sistema de navegación por satélite descarta las señales recibidas del satélite de índice  $i$ . Esto permite eliminar unas señales para las que la perturbación se considera cierta o cuasi-cierta.

- 15 La determinación de la posición del receptor del sistema de navegación por satélite utiliza una ponderación de las medidas de las señales emitidas por dichos satélites de valor respectivo  $1/K_i$ .

- La primera probabilidad  $P_1^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida comprenda una combinación de una componente de señal no reflejada y de una componente de señal multitrayectoria, utiliza simultáneamente un bucle de búsqueda del retardo basada en un discriminante temprano/tarde de separación estrecha, un bucle de búsqueda del retardo basada en un discriminante temprano/tarde de separación normal, y una desviación entre los retardos evaluados mediante dichos bucles.
- 20

Por ejemplo, la primera probabilidad  $P_1^i$  puede definirse, por ejemplo, mediante las relaciones siguientes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } \text{Abs}(\text{DLL}_{\text{estrecho}} - \text{DLL}_{\text{normal}}) \geq a \text{ chips,} \\ \text{entonces } P_1 = 0 \\ \\ \text{si } \text{Abs}(\text{DLL}_{\text{estrecho}} - \text{DLL}_{\text{normal}}) < a \text{ chips,} \\ \text{entonces } P_1 = C_1 \times \text{Abs}(\text{DLL}_{\text{estrecho}} - \text{DLL}_{\text{normal}}) / a \end{array} \right.$$

en las que:

- 25  $\text{DLL}_{\text{estrecho}}$  representa la sincronización estimada por el bucle de búsqueda de retardo estrecho, en s,  
 $\text{DLL}_{\text{normal}}$  representa la sincronización estimada por el bucle de búsqueda de retardo normal, en s,  
 $a$  representa un coeficiente de desviación de los bucles  $\text{DLL}_{\text{estrecho}}$  y  $\text{DLL}_{\text{normal}}$ , en chips, comprendido entre 0 y 1, que vale por ejemplo 0,5 chips,  
 $C_1$  representa un primer coeficiente comprendido entre 0,8 y 1, adimensional, pudiendo valer 0,9 para la  
 30 regulación del primer umbral  $S_1$  de rechazo de las mediciones a 0,1, y  
 1 chip representa el intervalo de tiempo entre dos bits sucesivos del código de escalonamiento del espectro del sistema de navegación por satélite, en s.

El símbolo Abs representa por supuesto la función de valor absoluto.

- La primera probabilidad  $P_1^i$  traduce un caso en el que la señal nominal se recibe en buenas condiciones, y que es posible entonces sustituir el correlador clásico cuya distancia de los puntos de correlación es de un semi-chip por un correlador estrecho o "narrow correlator" en idioma inglés, cuya distancia entre los puntos de correlación puede ser más corta, por ejemplo de 0,1 chips. La dificultad del correlador estrecho es que es más sensible al ruido térmico, de manera que no se utiliza más que de manera general, pero consigue en general seguir una señal directa. El interés principal es que si la señal reflejada se recibe con un desfase temporal equivalente a 0,4 chips, se ve en el correlador normal de 0,5 chips, pero no se ve por el correlador estrecho de 0,1 chips. De ese modo, es posible  
 40 traducir la probabilidad de estar en el caso de una señal directa y en una señal reflejada por el alejamiento del bucle del código DLL sobre el correlador estrecho  $\text{DLL}_{\text{estrecho}}$  y el bucle de código sobre el correlador normal  $\text{DLL}_{\text{normal}}$ .

La segunda probabilidad  $P_2^i$  de que la señal recibida comprenda únicamente una componente de señal multitrayectoria puede, por ejemplo, definirse por las relaciones siguientes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } \text{Abs}(\text{DLL}_{\text{estrecho}} - \text{DLL}_{\text{normal}}) < b \text{ chips,} \\ \text{entonces } P_2 = 0 \\ \\ \text{si } \text{Abs}(\text{DLL}_{\text{estrecho}} - \text{DLL}_{\text{normal}}) < 1 \text{ chip,} \\ \text{entonces } P_2 = C_2 \\ \\ \text{si no } P_2 = C_2 \times (\text{Abs}(\text{DLL}_{\text{estrecho}} - \text{DLL}_{\text{normal}}) - b)/b \end{array} \right.$$

en las que:

b representa un coeficiente de separación de los bucles  $\text{DLL}_{\text{estrecho}}$  y  $\text{DLL}_{\text{normal}}$ , en chips, comprendido entre 0 y 1, que vale por ejemplo 0,5 chips,

5  $C_2$  representa un segundo coeficiente comprendido entre 0,8 y 1, adimensional, pudiendo valer 0,9 para una regulación del primer umbral S1 de rechazo de las medidas S1 en 0,1.

La segunda probabilidad  $P_2^i$  traduce el hecho de que el discriminante estrecho no recibe ya la señal directa. A poco que el salto entre la antigua señal directa y la señal reflejada sea suficientemente grande (si es suficientemente pequeño, el impacto sobre el posicionamiento es despreciable), el bucle sobre el discriminante se desacoplará, por tanto proporcionará un valor cualquiera sin ninguna relación entre la señal recibida. Por el contrario, para el discriminante normal, el salto es pequeño y el acoplamiento y la búsqueda se hacen sobre la señal reflejada.

10

La tercera probabilidad  $P_3^i$  de que la señal recibida se vea interferida por una interferencia terrestre puede, por ejemplo, definirse mediante las relaciones siguientes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } (\text{S}/\text{N}_0)_{\text{medida}} > (\text{S}/\text{N}_0)_{\text{esperada}} - c, \\ \text{entonces } P_3 = 0 \\ \\ \text{si } (\text{S}/\text{N}_0)_{\text{medida}} < (\text{S}/\text{N}_0)_{\text{esperada}} - d, \\ \text{entonces } P_3 = C_3 \\ \\ \text{si no } P_3 = C_3 \times ((\text{S}/\text{N}_0)_{\text{esperada}} - (\text{S}/\text{N}_0)_{\text{medida}} - c)/(d - c) \end{array} \right.$$

15 en las que:

c representa un coeficiente de relación señal a ruido, en decibelios, comprendido entre 0,5 dB y 10 dB, que vale por ejemplo 2 dB,

d representa un coeficiente de relación señal a ruido, en decibelios, comprendido entre 3 dB y 20 dB, que vale por ejemplo 10 dB,

20 S representa la potencia de la señal recibida, en vatios,

$N_0$  representa la potencia del ruido sobre la señal recibida, en vatios, y

$C_3$  representa un tercer coeficiente comprendido entre 0,8 y 1, adimensional, pudiendo valer 0,9 para una regulación del primer umbral S1 de rechazo de las medidas en 0,1.

La tercera probabilidad  $P_3^i$  utiliza una estimación  $(\text{S}/\text{N}_0)_{\text{esperada}}$  de la relación señal a ruido considerando la geometría de recepción, conociendo la posición aproximada del receptor, la posición del satélite, y si es posible un elemento grueso de anticipación de los enmascaramientos. Se compara esta relación señal a ruido estimada  $(\text{S}/\text{N}_0)_{\text{esperada}}$  con la relación señal a ruido medida  $(\text{S}/\text{N}_0)_{\text{medida}}$ , siendo obtenida esta mediante las técnicas clásicas de medición de relación señal a ruido  $\text{S}/\text{N}_0$  en la búsqueda de las señales GNSS, por ejemplo verificando la estabilidad de los bucles de búsqueda (los valores de  $\text{S}/\text{N}_0$  están en decibelios), y se verifica si la relación señal a ruido  $(\text{S}/\text{N}_0)_{\text{medida}}$ , no es mucho más reducida que la esperada.

25

30

La cuarta probabilidad  $P_4^i$  de que la señal recibida comprenda una combinación de una componente de una señal generada por un emisor de interferencias en el suelo y una componente de la señal nominal puede definirse, por ejemplo, mediante las relaciones siguientes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } \text{Abs}(R_{\text{esp}}(t,i) - R_{\text{obs}}(t,i)) < e \times \text{Abs}(R_{\text{esp}}(t_{\text{ref}},i) - R_{\text{obs}}(t_{\text{ref}},i)), \\ \text{entonces } P_4 = 0 \\ \\ \text{si } \text{Abs}(R_{\text{esp}}(t,i) - R_{\text{obs}}(t,i)) > f \times \text{Abs}(R_{\text{esp}}(t_{\text{ref}},i) - R_{\text{obs}}(t_{\text{ref}},i)), \\ \text{entonces } P_4 = C_4 \\ \\ \text{si no } P_4 = C_4 \times \left( \frac{\text{Abs}(R_{\text{esp}}(t,i) - R_{\text{obs}}(t,i))}{\text{Abs}(R_{\text{esp}}(t_{\text{ref}},i) - R_{\text{obs}}(t_{\text{ref}},i))} - e \right) / (f - e) \end{array} \right.$$

en las que:

- 5  $R_{\text{esp}}(t,i)$  representa al residuo de la pseudodistancia esperada para el satélite  $i$  en el instante  $t$ , en kilómetros,
- $R_{\text{obs}}(t,i)$  representa la pseudodistancia medida para el satélite  $i$  en el instante  $t$ , en kilómetros,
- $t_{\text{ref}}$  representa un instante de referencia anterior al instante  $t$ ,
- $e$  representa un coeficiente de comparación, adimensional, comprendido entre 1 y 10, que vale por ejemplo 3,
- $f$  representa un coeficiente de comparación, adimensional, comprendido entre 3 y 20, que vale por ejemplo 10,
- y
- 10  $C_4$  representa un cuarto coeficiente comprendido entre 0,8 y 1, adimensional, pudiendo valer 0,9 para una regulación del primer umbral S1 de rechazo de las medidas en 0,1.

Un residuo de pseudodistancia es la diferencia entre la pseudodistancia medida y la pseudodistancia calculada a partir de la posición estimada del receptor y la posición del satélite conocida por sus efemérides.

- 15 La cuarta probabilidad  $P_4^i$  traduce el hecho de que la señal recibida permanezca fuerte, por tanto no detectable por la tercera probabilidad  $P_3^i$ , pero que esta no sea la buena. La cuarta probabilidad  $P_4^i$  propone enfocarse sobre una implementación que es una comparación con una localización inercial, técnica utilizada en el campo civil, como las
- cajas Ecotaxe para dar un ejemplo preciso. Es posible considerar que la posición esperada  $P_{\text{esp}}(t)$  en un instante  $t$  viene dada por la propagación de las medidas inerciales de la posición de referencia establecida (por combinación GNSS (por ejemplo GPS) e inercia) en un instante de referencia  $t_{\text{ref}}$  anterior a  $t$ , por ejemplo  $t_{\text{ref}} = t - 10$  s. A partir de esta posición esperada  $P_{\text{esp}}()$ , y conociendo la posición del satélite  $i$  por su efemérides, es posible calcular la medida de pseudodistancia esperada  $R_{\text{esp}}(t,i)$  para este satélite  $i$  en el instante  $t$ , y compararla con la medida observada o medición  $R_{\text{obs}}(t,i)$  para el satélite  $i$  en el instante  $t$ . Esta comparación o diferencia es denominada la innovación, más precisamente la opuesta, a saber el valor medido al que se resta el valor esperado. Es igualmente posible hacer esta misma comparación en el momento  $t_{\text{ref}}$ . Si la innovación es reducida y sobre todo si deriva lentamente entre  $t_{\text{ref}}$  y  $t$ , no es sospechosa, puesto que las medidas GNSS están afectadas por errores de tipo ruido, y las propagaciones inerciales están afectadas por errores de tipo derivación. Si por el contrario, bruscamente, la diferencia se convierte en grande y/o la derivación se hace intensa, esto se convierte seguramente en un problema.
- 20
- 25

La quinta probabilidad  $P_5^i$  de que la señal recibida no esté en coherencia con unas condiciones de recepción anteriores de dicha señal puede definirse, por ejemplo, mediante las relaciones siguientes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } V(t,i) < g \times V(t-t_1,i), \\ \text{entonces } P_5 = 0 \\ \\ \text{si } V(t,i) > h \times V(t-t_1,i), \\ \text{entonces } P_5 = C_5 \\ \\ \text{si no } P_5 = C_5 \times (V(t,i)/V(t-t_1,i) - g)/(h - g) \end{array} \right.$$

30 en las que:

- $t_1$  representa una duración, en segundos,
- $V(t,i)$  representa la varianza de los residuos de las pseudodistancias de dichos satélites entre el instante  $t-Dt$  y  $t$ , siendo  $Dt$  el intervalo de cálculo de la varianza, por ejemplo 10 segundos
- $g$  representa un coeficiente de comparación, adimensional, comprendido entre 1 y 10, que vale por ejemplo 3,
- 35  $h$  representa un coeficiente de comparación, adimensional, comprendido entre 3 y 20, que vale por ejemplo 10,

y

$C_5$  representa un quinto coeficiente comprendido entre 0,8 y 1, adimensional, pudiendo valer 0,9 para una regulación del primer umbral S1 de rechazo de las medidas en 0,1.

La quinta probabilidad  $P_5^i$  considera la misma métrica de base que la cuarta probabilidad  $P_4^i$ , a saber la innovación de las medidas de pseudodistancias con relación a una posición esperada establecida mediante GNSS y la inercia. Por el contrario, en la quinta probabilidad  $P_5^i$ , se pone interés en un comportamiento a más largo plazo, como, por ejemplo, la varianza de la innovación en un minuto. Se denomina de ese modo  $V(t,i)$  a la varianza sobre la innovación para todas las medidas realizadas entre  $t - 60$  s y  $t$ , sabiendo por ejemplo que se considera una medida por segundo ( $t_1$  puede valer por ejemplo 60 segundos).

La sexta probabilidad  $P_6^i$  de que la señal recibida no esté en coherencia con una cartografía de los alrededores se define mediante las relaciones siguientes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } \text{Abs}(P_{\text{medida}} - P_{\text{esperada}}) < k, \\ \text{entonces } P_6 = 0 \\ \\ \text{si } \text{Abs}(P_{\text{medida}} - P_{\text{esperada}}) < l, \\ \text{entonces } P_6 = C_6 \\ \\ \text{si no } P_6 = C_6 \times (\text{Abs}(P_{\text{medida}} - P_{\text{esperada}}) - k) / (l - k) \end{array} \right.$$

en las que:

- $P_{\text{medida}}$  representa la potencia medida de la señal recibida, en vatios,
- $P_{\text{esperada}}$  representa la potencia esperada de la señal recibida, en vatios,
- $k$  representa un coeficiente de potencia, en dBW, comprendido entre 0,5 dBW y 3 dBW, que vale por ejemplo 2 dBW,
- $l$  representa un coeficiente de potencia, en dBW, comprendido entre 0,5 dBW y 3 dBW, que vale por ejemplo 2 dBW,
- $C_6$  representa un sexto coeficiente comprendido entre 0,8 y 1, adimensional, pudiendo valer 0,9 para una regulación del primer umbral S1 de rechazo de las medidas en 0,1.

Para la sexta probabilidad  $P_6^i$  se considera disponer de una cartografía en 3D completa para poder estimar verdaderamente con precisión la potencia esperada  $P_{\text{esperada}}$  de la señal. Esta estimación depende del ángulo de elevación del satélite. Se compara esta medida (un poco como en la tercera probabilidad  $P_3^i$ ) con una medida de potencia sobre la señal  $P_{\text{medida}}$ . La diferencia con la tercera probabilidad  $P_3^i$  es por un lado que se considera más la potencia que la relación señal a ruido, y por otro lado que se considera igualmente sospechosos los errores positivos: si se tiene una potencia esperada  $P_{\text{esperada}}$  más reducida que la potencia medida  $P_{\text{medida}}$ , esto significa que hay una incoherencia (en la posición, la cartografía, o el origen de la señal), y por tanto un riesgo.

Como ejemplo de ilustración, se considera un ejemplo de siete satélites visibles, numerados del 1 al 7.

En el satélite 1, existe un ruido muy grande con relación a la señal esperada en el instante actual, siendo el resto normal;  $P_3^i = 0,9$ ;  $P_1^i = P_2^i = P_4^i = P_5^i = P_6^i = 0$ . Se denota por  $K_i$  el valor de la ponderación  $K$  para el satélite  $i$ . Se tiene por tanto  $K_1 = 0,1$ .

En el satélite 2, existe una multitrayectoria con línea directa, siendo la señal reflejada de potencia bastante reducida, siendo el resto normal:  $P_1^i = 0,5$ ,  $P_3^i = 0,1$  (ligera contribución de la multitrayectoria al ruido),  $P_5^i = 0,1$  (la varianza en el minuto actual en donde la multitrayectoria está presente es mayor que la anterior en la que se supone que la multitrayectoria está ausente) (caso de un vehículo en una ciudad, por ejemplo),  $P_2^i = P_4^i = P_6^i = 0$ . Se tiene entonces  $K_2 = 0,5 \times 1 \times 0,9 \times 1 \times 0,9 \times 1 = 0,405$ .

El satélite 3 no es un verdadero satélite, sino un emisor de interferencias:  $P_1^i = P_2^i = P_3^i = 0$ ;  $P_5^i = 0$  (se considera que el emisor de interferencias está ahí desde hace más de un minuto);  $P_4^i = 0,8$  (el emisor de interferencias se ve bien mediante  $P_4^i$ ) y  $P_6^i = 0,5$  (el emisor del emisor de interferencias la realiza de manera que la relación señal a ruido  $S/N_0$  sea buena ( $P_3^i$  no la ve), pero la potencia en sí es muy grande).  $K_3 = 0,2 \times 0,5 = 0,1$ .

El satélite 4 está afectado por una burbuja inosférica, y la medida actual se degrada en términos de retardo puro.  $P_1^i = P_2^i = P_3^i = P_6^i = 0$ . Siendo la burbuja corta en el tiempo (digamos 10 s), no afecta más que poco a la varianza media sobre todo el último minuto ( $P_5^i = 0,3$ ), pero es más visible por comparación con la medida precedente ( $P_4^i = 0,5$ ).  $K_4 = 0,5 \times 0,7 = 0,35$ .

5 Los otros satélites no están perturbados.

El trabajo se realiza en dos etapas:

Si  $K_i < 0,15$ , se elimina completamente el satélite: se eliminan por tanto los satélites 1 y 3.

10 Para los otros satélites, se considera una ponderación de las medidas complementarias en proporción a  $K_i$ : para cada satélite, se calcula un valor de ruido de medida estimada  $\sigma_{\text{Error}}(i)$ , por ejemplo según las ecuaciones del MOPS para el acrónimo de Minimum Operational Performance Standards en idioma inglés (norma de utilización del GNSS en la aviación civil). Normalmente, según el MOPS, se resuelve a continuación por mínimos cuadrados la posición ponderando cada pseudodistancia del satélite  $i$  por el ruido de medida estimado  $\sigma_{\text{Error}}(i)$ . Se calcula igualmente el nivel de protección añadiendo la proyectada geométrica (Norte, Este, vertical) sobre la posición de estos  $\sigma_{\text{Error}}(i)$ . Según la invención, se mantiene el mismo principio, pero sustituyendo  $\sigma_{\text{Error}}(i)$  por un valor de ruido de medida estimada ponderada de la probabilidad de perturbación  $\sigma_{\text{ErrorPerturbación}}(i)$ , dado por la ecuación  $\sigma_{\text{ErrorPerturbación}}(i) = \sigma_{\text{Error}}(i)/K_i$ . De ese modo, en el ejemplo presente, se mantiene el  $\sigma_{\text{Error}}(i)$  para los satélites 5, 6 y 7, pero se multiplica por  $1/K_2 = 2,47$  el del satélite 2 y por  $1/K_4 = 2,86$  el del satélite 4.

20 En otros términos, se pondera por un factor  $1/K_i$  los valores de las señales de los satélites cuyos coeficientes  $K_i$  se descuentan.

Se propone igualmente un sistema de determinación de la posición de un receptor de sistema de un sistema de navegación por satélite, adaptado para implementar el procedimiento tal como se ha descrito anteriormente.

25 Las etapas del procedimiento descrito en el presente documento anteriormente pueden efectuarse mediante uno o varios procesadores programables de ejecución de un programa informático para ejecutar las funciones de la invención operando sobre los datos de entrada y generando unos de salida.

Puede escribirse un programa informático en no importa qué forma de lenguaje de programación, comprendido en ellos compilados o lenguajes interpretados, y el programa de ordenador puede desplegarse en no importa qué forma, comprendiendo en ella como programa autónomo o como subprograma, apropiados al elemento u otra unidad para una utilización en un entorno de cálculo.

30

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de determinación de la posición de un receptor de sistema de navegación por satélite en el que se utiliza una ponderación probabilística de las señales recibidas, utilizando dicha ponderación un coeficiente  $K_i$ , para cada satélite de índice  $i$ , siendo dicho coeficiente  $K_i$  un producto de factores que comprenden cada uno una probabilidad de existencia de una perturbación, **caracterizado porque**
- 5 dicho coeficiente  $K_i$ , para cada satélite de índice  $i$ , comprende al menos un factor de la forma  $(1 - P_j^i)^{a_j}$ , variando  $j$  de 1 a 6 en la que:
- $P_1^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una primera probabilidad de que la señal recibida comprenda una combinación de una componente de señal no reflejada y de una componente de señal multitrayectoria,
- 10  $P_2^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una segunda probabilidad de que la señal recibida comprenda únicamente una componente de señal multitrayectoria,  $P_3^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una tercera probabilidad de que la señal recibida se vea interferida por una interferencia terrestre,
- $P_4^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una cuarta probabilidad de que la señal recibida comprenda una combinación de una componente de una señal generada por un emisor de interferencias en el suelo y una
- 15 componente de la señal nominal,
- $P_5^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una quinta probabilidad de que la señal recibida no esté en coherencia con unas condiciones de recepción anteriores de dicha señal,
- $P_6^i$  representa, para el satélite de índice  $i$ , una sexta probabilidad de que la señal recibida no esté en coherencia con una cartografía de los alrededores, y
- 20  $a_j$  representa un número real positivo.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que, cuando un coeficiente  $K_i$  es inferior a un primer umbral ( $S_1$ ), dicha determinación de la posición del receptor del sistema de navegación por satélite descarta las señales recibidas del satélite de índice  $i$ .
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que dicha determinación de la posición del receptor del sistema de navegación por satélite utiliza una ponderación de las medidas de las señales emitidas por dichos satélites de valor respectivo  $1/K_i$ .
- 25 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la primera probabilidad  $P_1^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida comprenda una combinación de una componente de señal no reflejada y de una componente de señal multitrayectoria, utiliza simultáneamente un bucle de búsqueda de retardo basado en un discriminante temprano/tarde de separación estrecha, un bucle de búsqueda de retardo basada en un discriminante temprano/tarde de separación normal, y una desviación entre los retardos evaluados mediante dichos bucles.
- 30 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la segunda probabilidad  $P_2^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida comprenda únicamente una componente de señal multitrayectoria, utiliza simultáneamente un bucle de búsqueda de retardo basado en un discriminante temprano/tarde de separación estrecha, un bucle de búsqueda de retardo basado en un discriminante temprano/tarde de separación normal, y una variación temporal de una desviación entre los retardos evaluados mediante dichos bucles.
- 35 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la tercera probabilidad  $P_3^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida se vea interferida por una interferencia terrestre utiliza una desviación entre una medida de la relación de la potencia de la señal recibida con respecto a la potencia del ruido en la señal recibida y una estimación esperada de la relación de la potencia de la señal recibida con respecto a la potencia del ruido en la señal recibida.
- 40 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la cuarta probabilidad  $P_4^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida comprenda una combinación de una componente de una señal generada por un emisor de interferencias en el suelo y de una componente de la señal nominal utiliza una desviación entre una medida de residuo de pseudodistancia y una estimación esperada de residuo de pseudodistancia.
- 45 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la quinta probabilidad  $P_5^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida no esté en coherencia con unas condiciones de recepción anteriores de dicha señal utiliza una variación de la varianza de los residuos de la pseudodistancia de dichos satélites.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la sexta probabilidad  $P_6^i$ , para el satélite de índice  $i$ , de que la señal recibida no esté en coherencia con una cartografía de los alrededores utiliza una desviación
- 50

entre la potencia medida de la señal recibida del satélite de índice  $i$  y una estimación esperada de la potencia de la señal recibida del satélite de índice  $i$ .

10. Sistema de determinación de la posición de un receptor de sistema de un sistema de navegación por satélite, adaptado para implementar el procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

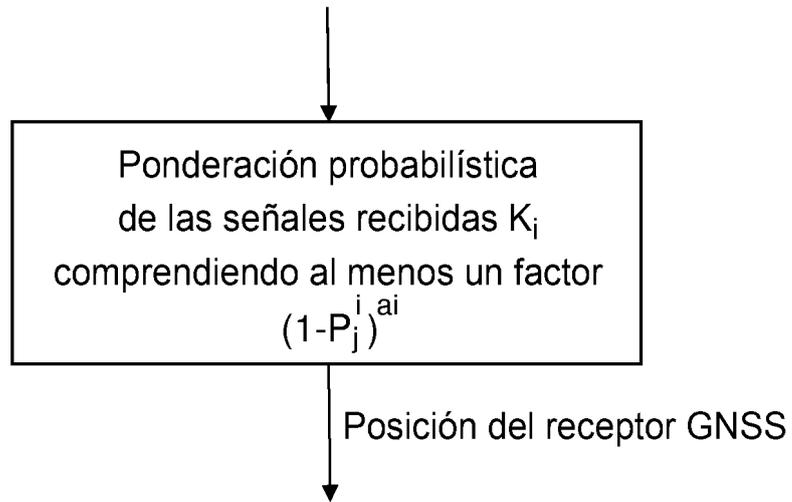


FIG.1

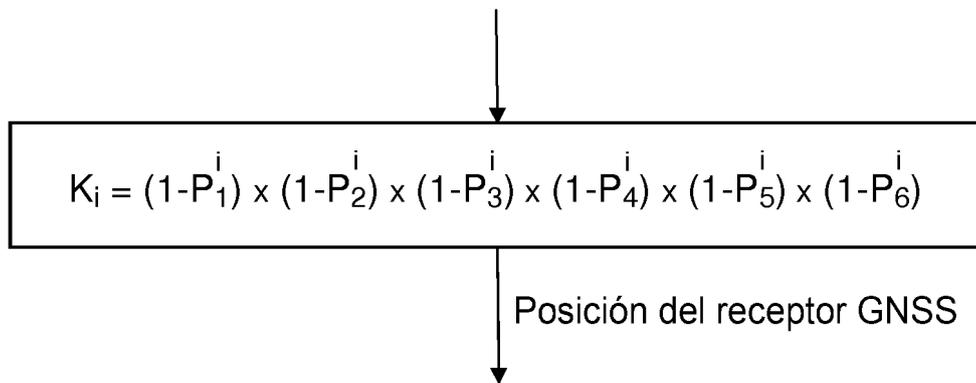


FIG.2