

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 426 574**

51 Int. Cl.:

**G01S 19/20** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.11.2011 E 11187672 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2013 EP 2453261**

54 Título: **Procedimiento de detección de la distorsión de una señal GNSS**

30 Prioridad:

**12.11.2010 FR 1004415**

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

**24.10.2013**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KUBRAK, DAMIEN y  
MONNERAT, MICHEL**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 426 574 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 detección de la distorsión de una señal GNSS

5 El campo de la invención se refiere a los sistemas de posicionamiento y/o de radionavegación por satélite comúnmente designados por el término sistemas GNSS (« Global Navigation Satellite System »). En particular, la invención se puede aplicar a los sistemas GNSS conocidos como GPS (« Global Positioning System ») y GALILEO.

De manera más precisa, el campo de la invención es el de los sistemas de aumento de la disponibilidad de los sistemas GNSS que permiten utilizar las señales GNSS transmitidas por los satélites incluso cuando se modifica su integridad.

10 La señal emitida por un satélite GNSS puede verse afectada por errores aleatorios que conllevan una distorsión de la señal y hacen que no sea conforme con las especificaciones del sistema. Este tipo de errores se refieren, por ejemplo, a una modificación aleatoria del periodo de los códigos de ensanchamiento que genera una ruptura de estacionalidad en la señal o incluso la presencia de ondulaciones que modifican la forma cuadrada, característica de una señal modulada mediante un código de ensanchamiento, esperada en la salida del generador de señal.

15 Este tipo de errores están vinculados a la implementación del emisor a bordo del satélite y, en particular, a los defectos de los equipos que no son perfectos.

Las mediciones que se llevan a cabo sobre una señal GNSS no conforme y afectada por estos fallos están sujetas a errores y van a conllevar un mal posicionamiento del receptor GNSS que utiliza esta señal. Es, por lo tanto, importante poder detectar dichos errores con el fin de alertar al receptor de la no-conformidad de la señal que este utiliza y de evitar errores de posicionamiento o de navegación que pueden tener consecuencias críticas.

20 A continuación, nos referimos a señales « evil waveform » para designar unas señales GNSS afectadas por errores o por distorsiones que son consecuencia de los defectos de los equipos materiales instalados a bordo del satélite.

25 Las soluciones conocidas que permiten detectar unas señales « evil waveform » están la mayoría de las veces basadas en el uso de la función de correlación en la salida de los integradores del receptor GNSS. Esta técnica tiene como principal inconveniente no diferenciar los errores vinculados a las imperfecciones del emisor instalado a bordo del satélite y las vinculadas a los multitrayectos ligados a las reflexiones de la señal en las diferentes capas de la ionosfera. Además, estas técnicas son muy sensibles al ruido ambiental. Los errores vinculados a la transmisión de la señal se pueden corregir mediante tratamientos adecuados y se deben disociar de los errores introducidos desde que se generó la señal.

30 También se conoce el documento "Characterization of signal deformations for GPS and WAAS satellites, 23<sup>o</sup> international technical meeting of the satellite division of the institute of navigation" publicado el 24/09/2012 que da a conocer un método de medición de las distorsiones que afectan a las señales emitidas por satélites GNSS a partir de señales reales.

35 También se conoce el documento « Development of a transform-domain instrumentation global positioning system receiver for signal quality and anomalous event monitoring », Sanjeev Gunawardena, tesis doctoral, Ohio University, 30 de junio de 2007, páginas 82-105, USA. Este documento da a conocer un método de evaluación y de modelización de las perturbaciones generadas por la parte « front-end » de un receptor GNSS sobre la señal de salida del receptor. Este documento no aborda, sin embargo, el problema de las distorsiones que afectan directamente a la señal recibida y a la detección de señales de tipo « evil waveform ».

40 La presente invención propone resolver las limitaciones de la técnica anterior gracias a una solución basada en la modelización de la señal GNSS y en un cálculo de predicción lineal que permite detectar las distorsiones intrínsecas de la señal y generar una alerta, por ejemplo a través de un sistema de aumento, para invalidar las mediciones de pseudo-distancias realizadas sobre esta señal para determinar una información de posicionamiento.

La invención tiene en particular como ventaja limitar las falsas alarmas asociadas a detecciones de errores de transmisión y ser más robusta frente al ruido.

45 Para ello, la invención tiene por objeto un procedimiento de detección de la distorsión de una señal GNSS transmitida por al menos un satélite GNSS y recibida por al menos un receptor GNSS, teniendo dicha distorsión como origen un defecto de generación de la señal GNSS, caracterizándose dicho procedimiento porque comprende al menos las siguientes etapas:

- 50
- una etapa de determinación de al menos un modelo paramétrico autorregresivo de la señal GNSS a la salida de una etapa de correlación que comprende dicho receptor GNSS;
  - una etapa de cálculo de al menos un error de predicción lineal  $e(n)$  entre dicha señal de salida de la etapa de correlación y dicho modelo paramétrico autorregresivo;
  - al menos una etapa de comparación del error de predicción lineal con un umbral de detección;
  - una etapa de decisión sobre la distorsión de la señal GNSS transmitida en el caso de que el error de

predicción lineal supere dicho umbral de detección.

De acuerdo con un aspecto particular de la invención, el modelo paramétrico autorregresivo se obtiene mediante la aplicación de uno de los métodos siguientes: método de la covarianza, método de la covarianza modificada, método de Yule-Walker.

- 5 De acuerdo con otro aspecto particular de la invención, el cálculo del error de predicción lineal  $e(n)$  se lleva a cabo al

menos aplicando la siguiente relación: 
$$e(n) = x(n) - \hat{x}(n) = x(n) - \sum_{k=1}^p a_k x(n-k),$$
 en la que  $a_k$  son los

coeficientes del modelo autorregresivo y  $x(n)$  son las muestras de la señal a la salida de de la etapa de correlación.

De acuerdo con otro aspecto particular de la invención, el error de predicción lineal  $e(n)$  se promedia en un periodo determinado antes de compararlo con el umbral de detección.

- 10 La invención también tiene por objeto un receptor GNSS que comprende al menos una antena adaptada para recibir una señal GNSS, unos medios de radio de conversión analógica digital, una etapa de correlación, unos medios de procesamiento de la señal que emite a su salida una información de posicionamiento o de navegación, caracterizado porque comprende, además, unos medios adaptados para ejecutar el procedimiento de detección de la distorsión de dicha señal GNSS de acuerdo con la invención.

- 15 Se mostrarán otras características y ventajas de la invención mediante la siguiente descripción que se hace en referencia a los dibujos adjuntos, que representan:

la figura 1, una ilustración de dos ejemplos de distorsión que afectan a una señal GNSS;  
la figura 2, un esquema sinóptico de un receptor GNSS de acuerdo con la invención.

- 20 La figura 1 esquematiza una porción de señal GNSS perfecta 101 que está constituida por una sucesión de intervalos de tiempo cuyo periodo de repetición se conoce y se determina mediante el código de ensanchamiento asociado a la señal transmitida. En la figura 1 se representa superpuesta una señal GNSS imperfecta 102 o señal « evil waveform » distorsionada con respecto a la señal perfecta 101. Las distorsiones adoptan en particular dos formas. Una primera distorsión del periodo del código de ensanchamiento genera un desplazamiento temporal  $\Delta t$  entre la señal recibida 102 y la señal 101. Este desplazamiento temporal va a generar un desplazamiento entre el pico de correlación medido y el que se debería observar en realidad y de este modo inducir un error sobre el instante de recepción de la señal emitida por el satélite.

- 25 Una segunda distorsión en forma de ondulaciones de la señal 102 genera errores, en particular, sobre las mediciones realizadas sobre la función de correlación que se utiliza para calcular las pseudo-distancias entre el receptor y los satélites, y a continuación elaborar, por triangulación, una información de posicionamiento. Dichas ondulaciones tienen como efecto una función de correlación asimétrica y distorsionada lo que también plantea problemas de estimación del pico de correlación que indica el instante de recepción de la señal emitida por el satélite.

- 30 Las distorsiones citadas anteriormente tienen un impacto en la integridad de la señal GNSS. La invención pretende en particular detectar los dos tipos de distorsión mencionados con anterioridad, pero también se puede aplicar a cualquier tipo de distorsión que afecte a la integridad de la señal GNSS y que tiene como origen un defecto de generación de la señal a bordo del satélite.

- 35 La figura 2 esquematiza un ejemplo de arquitectura de un receptor GNSS de acuerdo con la invención. Una antena 200 recibe una o varias señales GNSS emitidas por uno o por varios satélites de una constelación GNSS (no representados). La señal analógica adquirida por la antena 200 se trata mediante unos medios 201 de procesamiento por radio para convertir esta señal analógica en una señal digital. Unos medios 202 de integración de la señal digital y de correlación de la señal con un código de ensanchamiento conocido producen una señal  $S_c$  de salida que utilizan unos medios 204 de procesamiento de la señal que producen a la salida unas informaciones 206 de posicionamiento, de velocidad o de navegación. El receptor de acuerdo con la invención comprende, además, unos medios 203 de cálculo de error de predicción lineal, o EPC, aplicado a la señal de salida  $S_c$  de los medios 202 de integración y de correlación. El error de predicción lineal se suministra a continuación en la entrada de un detector de error 205 que produce en su salida una información 207 sobre la distorsión de la señal y su no-conformidad con las especificaciones del sistema GNSS. Esta información se puede transmitir a un sistema de aumento de la disponibilidad del sistema GNSS (no representado en la figura), por ejemplo le sistema EGNOS, con el fin de alertar a otros receptores GNSS de la no-conformidad de la señal GNSS transmitida.

- 50 Con el fin de poder detectar los defectos que afectan a la señal GNSS recibida, conviene en una primera etapa elaborar un modelo matemático de la señal de salida de los medios 202 de integración y de correlación. Al conocerse la forma esperada de dicha señal, se puede construir un modelo matemático autorregresivo a partir de métodos de elaboración conocidos por el experto en la materia. Por ejemplo, el método de la covarianza, de la covarianza modificada o incluso el método de Yule-Walker permiten elaborar dicho modelo a partir de características

- 5 conocidas y esperadas de una señal GNSS específica. Se puede considerar cualquier método conocido que permita determinar un modelo paramétrico autorregresivo de una señal a partir de sus características. Este tipo de métodos se describen, por ejemplo, en la obra « Stoica, P., y R. L. Moses, Introduction to Spectral Analysis, Prentice-Hall, 1997 ». El modelo autorregresivo se define, en particular, por un número  $p$  de coeficientes  $a_k$ . La variable  $p$  designa el orden del modelo autorregresivo. Una vez definido este modelo definido, el procedimiento de acuerdo con la invención consiste en una primera etapa para calcular el error de predicción lineal entre la señal a la salida de la etapa de correlación y el modelo autorregresivo. El cálculo del error de predicción lineal se realiza, por ejemplo, mediante la aplicación de la siguiente relación:

$$e(n) = x(n) - \hat{x}(n) = x(n) - \sum_{k=1}^p a_k x(n-k)$$

- 10 siendo  $x$  la señal que hay que analizar a la salida de la etapa de correlación,  $x(n)$  una muestra de esta señal obtenida en un instante  $n$  y  $\hat{x}$  la señal resultante de la modelización autorregresiva. El error instantáneo  $e(n)$  se promedia eventualmente a continuación en un periodo de tiempo dado con el fin de producir un error  $E$  de predicción lineal media. La media también se puede realizar a través de una ventana deslizante. El error instantáneo  $e(n)$  se puede controlar también de forma continua con el fin de detectar imperfecciones locales de la señal. En una etapa
- 15 siguiente, el error de predicción lineal instantáneo o promedio en un intervalo dado se compara con uno o varios umbrales de detección con el fin de determinar si la señal GNSS está afectada por errores y no se puede utilizar. Los umbrales de detección se determinan por simulación de tal modo que se minimice la probabilidad de falsa alarma y se maximice la probabilidad de detección de fallos vinculados a la generación de la señal o a las imperfecciones del emisor (señal « evil waveform »).
- 20 En una variante de realización de la invención, se pueden elaborar varios modelos autorregresivos con el fin de tener en cuenta variaciones de amplitudes o de retardos aplicados a la señal perfecta a la salida de la etapa de correlación. Estas amplitudes y retardos traducen la distorsión de la señal con respecto a la señal perfecta que debería haberse emitido y se tienen en cuenta para elaborar unos modelos lo más próximos posible a las formas reales de las señales degradadas a detectar. De este modo, se calculan varios errores lineales de predicción y se
- 25 comparan con unos umbrales distintos de detección.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de detección de la distorsión de una señal GNSS transmitida por al menos un satélite GNSS y recibida por al menos un receptor GNSS, teniendo dicha distorsión como origen un defecto de generación de la señal GNSS, **caracterizándose** dicho procedimiento **porque** comprende al menos las siguientes etapas:

- 5           ○ una etapa de determinación de al menos un modelo paramétrico autorregresivo de la señal GNSS a la salida de una etapa de correlación que comprende dicho receptor GNSS;
- una etapa de cálculo (203) de al menos un error de predicción lineal  $e(n)$  entre dicha señal de salida de la etapa de correlación y dicho modelo paramétrico autorregresivo;
- al menos una etapa de comparación (205) del error de predicción lineal con un umbral de detección;
- 10          ○ una etapa de decisión (207) sobre la distorsión de la señal GNSS transmitida en el caso de que el error de predicción lineal supere dicho umbral de detección.

2. Procedimiento de detección de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el modelo paramétrico autorregresivo se obtiene mediante la aplicación de uno de los métodos siguientes: método de la covarianza, método de la covarianza modificada, método de Yule-Walker.

- 15          3. Procedimiento de detección de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el cálculo del error de predicción lineal  $e(n)$  se lleva a cabo al menos aplicando la siguiente relación:

$$e(n) = x(n) - \hat{x}(n) = x(n) - \sum_{k=1}^p a_k x(n - k),$$

en la que  $a_k$  son los coeficientes del modelo autorregresivo que comprende un número  $p$  de coeficientes y  $x(n)$  son las muestras de la señal a la salida de la etapa de correlación.

- 20          4. Procedimiento de detección de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el error de predicción lineal  $e(n)$  se promedia en un periodo determinado antes de compararlo con el umbral de detección.

5. Procedimiento de detección de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la información sobre la distorsión de la señal GNSS se transmite, además, a un sistema de aumento de la disponibilidad del sistema GNSS.

- 25          6. Receptor GNSS que comprende al menos una antena (200) adaptada para recibir una señal GNSS, unos medios (201) de radio de conversión analógico digital, una etapa de correlación (202), unos medios (204) de procesamiento de la señal que emiten en su salida una información de posicionamiento o de navegación, **caracterizado porque** comprende, además, unos medios (203, 205) adaptados para ejecutar las etapas del procedimiento de detección de la distorsión de dicha señal GNSS de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5.

30

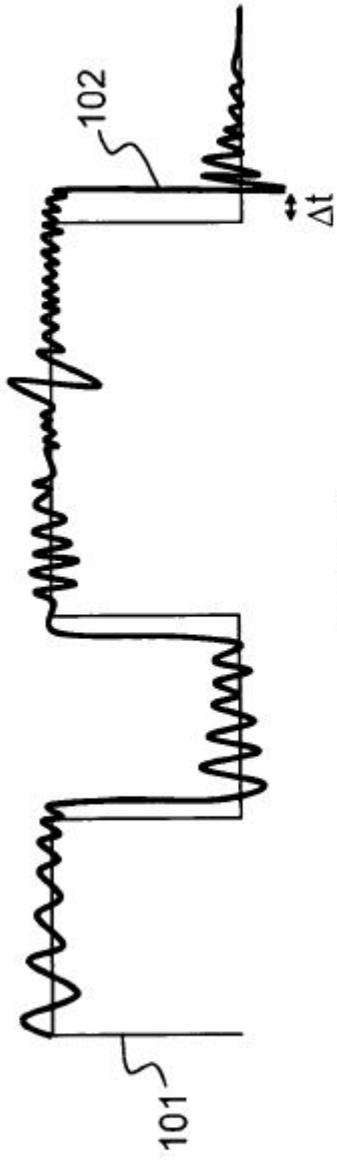


FIG. 1

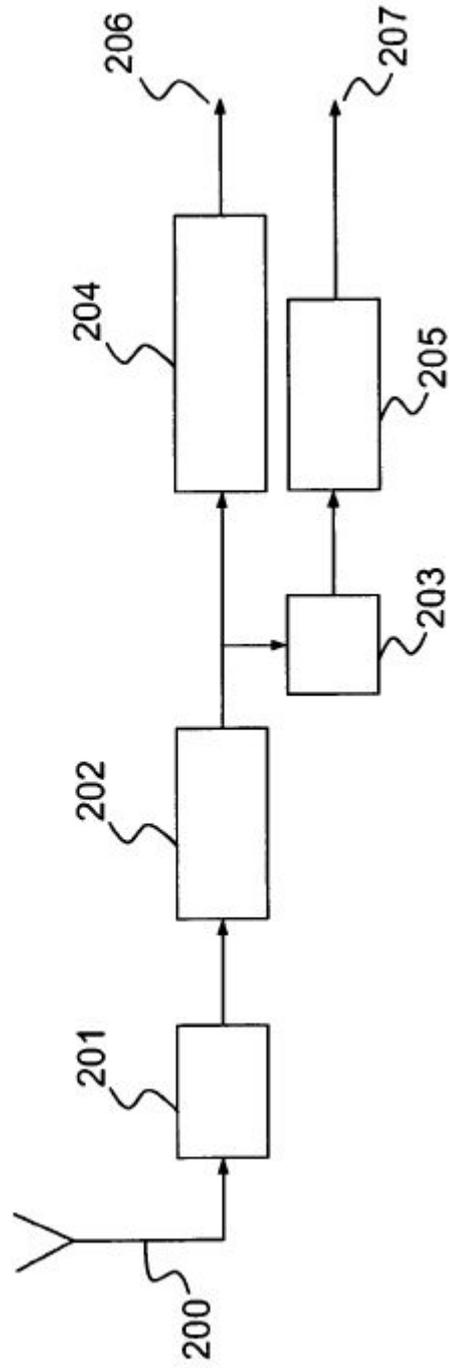


FIG. 2