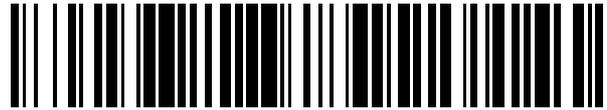


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 397 090**

51 Int. Cl.:

**G01S 19/20** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.03.2011 E 11156529 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2012 EP 2367024**

54 Título: **Procedimiento y sistema de cálculo para la evaluación de las prestaciones en precisión de un sistema de navegación por satélite**

30 Prioridad:

**12.03.2010 FR 1000997**

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

**04.03.2013**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LEVY, JEAN-CHRISTOPHE**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 397 090 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 y sistema de cálculo para la evaluación de las prestaciones en precisión de un sistema de navegación por satélite

5 La presente invención se refiere al campo de los sistemas de navegación por satélite y de manera más particular a un procedimiento de cálculo de los sucesos de baja probabilidad para la evaluación de de las prestaciones en precisión de dicho sistema.

10 Actualmente, los servicios comerciales que utilizan los sistemas de navegación por satélite se desarrollan de manera considerable. Los productos que funcionan a partir de señales de radiolocalización se han democratizado ampliamente en el día a día de los hogares instalados a bordo de los vehículos automóviles para la asistencia a la navegación por carretera al principio y últimamente en los dispositivos de telefonía móvil para una multitud de servicios de asistencia a personas. Las evoluciones de los futuros sistemas de posicionamiento por satélite, por ejemplo el sistema europeo GALILEO, prometen unas prestaciones muy superiores a los sistemas actuales. De este modo, nuevos servicios que no se podían considerar por la falta de fiabilidad y de precisión de posicionamiento suficiente pueden hoy en día ver la luz para las empresas, en particular las empresas del transporte por carretera y del transporte aéreo. Por ejemplo, para el transporte por carretera, se busca transformar los modelos económicos de los servicios de explotación de los tramos de carretera de pago ofreciendo unas ofertas personalizadas al cliente. Para las compañías de transporte aéreo, las prestaciones incrementadas en fiabilidad y precisión de posicionamiento permiten integrar a bordo de las aeronaves unos dispositivos de navegación en los cuales los pilotos podrán confiar por completo. Esos dispositivos permitirán mejorar de manera considerable la seguridad del transporte aéreo. Sin embargo, para los servicios de los que depende la seguridad de las personas, es obligatorio probar la fiabilidad de los datos que transmite el sistema de navegación. Es la razón por la que las autoridades someten a los operadores de los sistemas de navegación por satélite a unos requisitos de servicio garantizado para el cliente del terminal.

25 Los sistemas de navegación por satélite se caracterizan por los datos con prestaciones de integridad, de precisión y de cobertura. La integridad es una medida de confianza en la información que proporciona el sistema de navegación por satélite. Una herramienta muy conocida para determinar la integridad de un punto suministrado es el diagrama de Stanford. El diagrama de Stanford es una matriz en dos dimensiones cuyo parámetro de entrada en el eje horizontal es el error de posición observado en vertical u horizontal, y cuyo parámetro de entrada en el eje vertical es el nivel de protección en vertical u horizontal calculado a partir de modelos estadísticos. Ese diagrama permite verificar la proporción de muestras medidas cuyo error de posición observado es más bajo que el nivel de protección.

30 La precisión de una posición viene definida por el error de posición estimado con respecto a la posición real. La precisión de la localización depende en particular del error de la distancia estimada entre el usuario y los satélites recibidos, así como de la configuración de la geometría de las medidas. Existe un valor indicativo de las condiciones de geometría de las medidas comúnmente denominado DOP por « Dilution of Precision » en lengua anglosajona. Cuando el valor de la DOP es alto, esto indica que los satélites utilizados para obtener la posición están próximos y, por lo tanto, que la geometría es mala y cuando el valor de la DOP es bajo esto indica que los satélites utilizados para obtener la posición están alejados y, por lo tanto, que la geometría es buena.

35 Los organismos encargados de las normas y de los controles relativos a la aviación civil exigen unos niveles de prestaciones rigurosos en particular en prestaciones de precisión para los servicios críticos. Entre esos servicios críticos que utilizan los datos de geo-localización de los sistemas de navegación por satélite, el servicio LPV200 (« Localizer Performance with Vertical Guidance ») ya exigía antes que el sistema de navegación por satélite muestre durante al menos el 95 % del tiempo un error de localización en vertical inferior a 4 metros y en horizontal inferior a 16 metros. En el futuro, se exige a los operadores que prueben que el sistema de navegación por satélite muestra al usuario una probabilidad de aparición de un error de localización en vertical superior a 10 metros inferior a  $10^{-7}$  en condiciones de funcionamiento normal y una probabilidad de aparición de un error de localización superior a 15 metros inferior a  $10^{-5}$  en condiciones de funcionamiento degradado. Ese servicio determina el nivel de alerta en vertical en 35 metros y en horizontal en 40 metros.

40 Se sabe que los sistemas de aumentación por satélite son capaces de cumplir con las especificaciones exigidas para sucesos de muy baja probabilidad. Esas verificaciones se han realizado a través de procedimientos arduos y engorrosos durante las fases de desarrollo. De acuerdo con las técnicas actuales, estas demandarían realizar unas mediciones cuya duración de prueba alcanzaría un tiempo excesivamente largo (p. ej. varias decenas de años). En efecto, para realizar unas mediciones de márgenes de integridad, la estadística inferencial clásica busca establecer un modelo del comportamiento de una variable aleatoria en el campo observable de las realizaciones. Para obtener unas estadísticas pertinentes, es necesario recuperar unos datos lo suficientemente des-correlativos como para no medir informaciones redundantes. Se estima que es necesario realizar unos muestreos con un intervalo de alrededor de 5 minutos entre cada medición. Ahora bien, dada la baja probabilidad de los sucesos que se pretende detectar, esto implicaría recoger miles de muestras a lo largo de miles de años de mediciones.

5 La solicitante ha divulgado en la solicitud de patente anterior WO/2009/112483 un dispositivo que proporciona los medios para estimar una indicación de integridad de un sistema de navegación por satélite que permite establecer un modelo de la distribución de los errores de localización de muy baja probabilidad a partir de la teoría de los valores extremos. Sin embargo, actualmente no existe ninguna herramienta de medición de la precisión que permita certificar al usuario unos niveles de exigencia con bajas probabilidades de aparición ya que las prestaciones en precisión dependen también de la geometría de los satélites y los datos recogidos no tienen en cuenta todos los casos de geometría de los satélites para cada usuario.

10 En el artículo de B. Vassileva y otros « SBAS Vertical Protection Level Assessment in the case of Error Reduction », Modem Computing, 2006. JVA '06. IEEE John Vincent Atanasoff, 2006, International Symposium On, IEEE, PI, 1 de octubre de 2006, páginas. 137-142, XP031035961, ISBN: 978-0-7695-2643-0, se describe un procedimiento de verificación de las prestaciones de precisión en localización de un sistema de navegación por satélite que comprende un segmento espacial que emite unas señales de radiolocalización hacia un segmento receptor. El procedimiento comprende una etapa de medición del error estimado de localización de un receptor (PE) del sistema para una multitud de muestras y de cálculo del umbral de error máximo de localización, denominado radio de protección (PL): el procedimiento de Vassileva compara la probabilidad de aparición de algunas de las condiciones anteriores con un umbral de tolerancia para verificar las prestaciones en precisión del sistema de navegación por satélite. Sigue existiendo, no obstante, una posibilidad de mejora de la evaluación del margen de integridad para las aplicaciones aeronáuticas. La presente invención responde a esa necesidad.

20 Un objetivo de la invención es garantizar las prestaciones en precisión de un sistema de navegación por satélite que toma en consideración todas las situaciones de geometría por satélite para un usuario y garantizar a un usuario una muy baja probabilidad de aparición de un error de localización superior a los requisitos impuestos a los operadores.

25 De manera más precisa, la invención se refiere a un procedimiento de cálculo de los sucesos de baja probabilidad para la evaluación de las prestaciones en precisión de un sistema de navegación por satélite que comprende un segmento espacial que emite unas señales de radiolocalización hacia un segmento receptor, caracterizado porque comprende las etapas siguientes. De manera ventajosa, este comprende las siguientes etapas:

- Una etapa previa de medición del error estimado de localización de un receptor del sistema para una multitud de muestras y de cálculo del umbral de error máximo de localización, denominado radio de protección, que puede garantizar el sistema para dichas muestras, el error estimado y el radio de protección definiéndose en una dimensión de una marca de posición;
- 30 - Una etapa de cálculo de una primera proporción de una distribución de muestras que verifica las siguientes condiciones:
  - i. El radio de protección es inferior a un umbral de alerta;
  - ii. El cociente del radio de protección y del error estimado es superior a un cociente de seguridad, siendo el cociente de seguridad la relación entre el umbral de alerta y un nivel de exigencia de error estimado.
- 35 - Una etapa de cálculo de una segunda proporción de la distribución de muestras que verifica las siguientes condiciones:
  - i. El radio de protección es inferior a un umbral de alerta;
  - ii. El cociente del radio de protección y del error estimado de localización es inferior al cociente de seguridad;
  - 40 iii. El error estimado de localización es inferior al nivel de exigencia de error estimado.
- Una etapa de cálculo de la probabilidad de la distribución de las muestras para las cuales el cociente del radio de protección el cociente del radio de protección y del error estimado de localización ( $XPL/XNSE$ ) es igual al cociente de seguridad ( $J/K$ );
- 45 - Una etapa de modelización de al menos una componente de la distribución de las muestras, representando la componente unas muestras de baja probabilidad de aparición de la distribución y calculándose la modelización mediante la aplicación de la teoría de valores extremos a partir de dichas muestras observadas de la distribución.

50 De acuerdo con una variante preferente, para verificar las prestaciones en precisión, este comprende una etapa de cálculo, por una parte, de la probabilidad de obtener una muestra para la cual el cociente del radio de protección y del error estimado de localización sea inferior al cociente de seguridad y, por otra parte, para esa muestra, de la probabilidad de que el radio de protección sea inferior al umbral de alerta y de que el error estimado de localización sea superior al nivel de exigencia de error estimado.

La invención también se refiere a un sistema de cálculo de los sucesos de baja probabilidad para la evaluación de las prestaciones en precisión de un sistema de navegación por satélite adaptado para aplicar el procedimiento de

acuerdo con una cualquiera de las variantes anteriores.

Por medio de las características del procedimiento y del sistema de acuerdo con las variantes que se han descrito con anterioridad, se puede evaluar la probabilidad de aparición de los sucesos de muy baja probabilidad sin tener que observarlos para verificar las prestaciones en precisión de un sistema de navegación por satélite.

- 5 Además, ese procedimiento es capaz de certificar una prestación para todos los casos de geometría de los satélites sin recurrir a unos recursos de observaciones gigantescas con el objetivo de observar todos los casos de geometría y la aparición de sucesos de muy baja recurrencia.

La invención se entenderá mejor y se mostrarán otras ventajas durante la lectura de la descripción que viene a continuación que se da a título no excluyente y por medio de las figuras que se adjuntan, entre las que:

- 10 La figura 1 representa un diagrama de control de las prestaciones en precisión de un sistema de navegación por satélite y el cálculo de la probabilidad de error en la localización de un receptor con respecto a un nivel de exigencia dado.

La figura 2 representa el diagrama de control de las prestaciones en precisión y el cálculo de la probabilidad de obtener una muestra error en la localización no cumple con el nivel de exigencia dado.

- 15 Los proveedores de servicio que utilizan las señales de radiolocalización de los sistemas de navegación por satélite esperan de esos sistemas, por una parte, unas prestaciones cada vez mayores y, por otra parte, una continuidad de servicio y unas capacidades de alerta que permitan advertir a un usuario del servicio cuándo las prestaciones no cumplen con las exigencias esperadas. Las soluciones de verificación de las prestaciones existen en la actualidad para el control de la integridad de un sistema de navegación por satélite sean cuales sean las condiciones de observación de las señales para un usuario, pero para las verificaciones de las prestaciones en precisión, las herramientas existentes no pueden garantizarlo en todas las condiciones de observación ya que cada usuario utiliza las señales de radiolocalización en una configuración particular que depende de su posición, del momento de observación y del estado de los satélites observados para calcular su posición.
- 20

- 25 Se recuerda brevemente el principio de localización de los sistemas de navegación por satélite. En un sistema de navegación por satélite, se utiliza el tiempo que invierte la señal de radiolocalización emitida por el satélite en llegar al receptor que hay que localizar con el fin de determinar la distancia, denominada pseudo-distancia, entre ese satélite y ese receptor, conteniendo la señal los datos de posición de los satélites. A partir del tratamiento de las señales de radiolocalización emitidas por varios satélites observados por un usuario, este último puede conocer su posición. Cuanto más alto es el número de satélites y más bajo es el valor de la DOP, entonces mejor es la precisión de la posición. La precisión depende en particular de los parámetros de precisión de los relojes de los satélites, de las capas atmosféricas que se atraviesan y de la precisión de las correcciones aportadas.
- 30

- Un servicio de nivel LPV200 exige las siguientes prestaciones. Se exige que el sistema de navegación por satélite muestre durante al menos el 95 % del tiempo un error de localización en vertical inferior a 4 metros y en horizontal inferior a 16 metros. Además, ese servicio exige que la probabilidad de proporcionar un error de localización en vertical superior a 10 metros sea inferior a  $10^{-7}$  en condiciones de funcionamiento normal y que la probabilidad de proporcionar un error de localización superior a 15 metros sea inferior a  $10^{-5}$  en condiciones de funcionamiento degradado. El nivel de servicio LPV200 impone un umbral de alerta en horizontal igual a 40 metros y un umbral de alerta en horizontal igual a 35 metros.
- 35

- La invención propone un procedimiento de cálculo de las prestaciones en precisión sean cuales sean las condiciones de observación de las señales de radiolocalización y la tasa de probabilidad de exigencia de observaciones superiores a un error dado. El procedimiento también permite configurar cualquier otro nivel de exigencia de la posición, en localización vertical y horizontal. La figura 1 representa de forma gráfica los cálculos realizados para determinar las prestaciones del sistema de navegación.
- 40

- La figura 1 representa un diagrama de las muestras de localización de un receptor de un sistema de navegación por satélite. Este representa en un primer eje en horizontal 10 el cociente del umbral de error máximo calculado (comúnmente denominado el radio de protección y término que utilizaremos en adelante para simplificar la redacción) y del error estimado de localización, mostrándose en la leyenda el cociente mediante la referencia XPL/XNSE y definiéndose en una dimensión de una marca de posición. Si se hubiera representado el cociente del radio de protección y del error estimado de localización en la referencia vertical, entonces se habría representado el cociente por el valor VPL/VNSE y en el plano horizontal por HPL/HNSE. El radio de protección XPL se obtiene mediante un algoritmo de cálculo.
- 45
- 50

- El radio de protección se puede obtener de acuerdo con diferentes métodos que son habituales para el experto en la materia y la elección del método no conlleva en el marco de la invención una limitación del alcance de la patente. Por ejemplo, el radio de protección se puede determinar a partir del nivel de integridad del sistema de navegación por satélite. El radio de protección representa las posiciones posibles en un plano dado alrededor de la posición real, de manera más exacta se garantiza mediante cálculo que una posición calculada no podrá estar localizada más allá de la posición real más el nivel de protección en un plano dado.
- 55

El error de localización estimado XNSE es la diferencia entre la posición real de un receptor, conocida de forma precisa mediante diferentes medios, y la posición estimada a partir del tratamiento de las señales de radiolocalización emitidas por los satélites. Por ejemplo, la posición de una baliza de recepción del tipo GBAS (por « ground-based augmentation system » en lengua anglosajona) que forma parte de un sistema de navegación por satélite se conoce de forma precisa. El error estimado de localización se puede obtener de acuerdo con diferentes métodos que son habituales para el experto en la materia y la elección del método no conlleva en el marco de la invención una limitación del alcance de la patente.

El nivel de exigencia del error de localización K corresponde al error de localización que el sistema de navegación no debe superar durante el 95 % del tiempo. De acuerdo con la criticidad del servicio, el nivel de exigencia de error puede ser de 4, 10 o 15 metros. El nivel de exigencia puede variar de acuerdo con la dimensión de la marca de posición.

El diagrama representa en un segundo eje 11 en vertical el radio de protección XPL. El diagrama representa, por lo tanto, las muestras de datos de localización ubicados en el diagrama en horizontal en función del cociente del radio de protección XPL y en vertical en función del radio de protección. El umbral de alerta J está representado de forma gráfica en el diagrama por la recta 12 y el nivel de exigencia de error estimado K está representado por la recta 13.

El procedimiento de cálculo de los sucesos de baja probabilidad consiste en calcular, en primer lugar, la proporción de muestras en diferentes categorías del diagrama que se definen en los siguientes párrafos. Se recuerda que la problemática de la medición de las prestaciones en precisión depende para cada usuario de la geometría de los satélites, evaluada por el valor DOP. El interés de la representación del diagrama es poder visualizar la variación de la DOP. Esta se caracteriza en el diagrama por un movimiento vertical de las muestras. Cuando el valor de geometría de los satélites DOP aumenta, las muestras de datos se desplazan en el diagrama verticalmente hacia arriba. En efecto, si el valor DOP aumenta, el radio de protección aumenta, pero el cociente XPL/XNSE se mantiene invariable ya que no depende de la DOP, al ser en el campo de las posiciones igual el radio de protección XPL a la multiplicación de la DOP y al ser el factor de integridad y el error de localización igual a la multiplicación de la DOP y del error de pseudo-distancia. Si la DOP disminuye, el radio de protección disminuye y las muestras se desplazan verticalmente hacia abajo.

Una primera categoría 1 calculada mediante el procedimiento de verificación comprende las muestras que cumplen las dos condiciones siguientes: el radio de protección XPL es inferior al umbral de alerta J del servicio y el cociente XPL/XNSE del radio de protección y del error estimado de localización es superior al cociente de seguridad J/K, siendo el cociente de seguridad la relación entre el umbral de alerta J y un nivel de exigencia de error estimado K. Para esas muestras de datos, se deduce que cuando la DOP varía, las muestras se desplazan verticalmente hacia arriba en caso de degradación de las condiciones de geometría y hacia abajo en caso de mejora de las condiciones de geometría. En consecuencia, las muestras localizadas en esta categoría 1 cumplen con la exigencia de error de localización sea cual sea la DOP, y si la DOP se degrada de tal modo que la exigencia de error de localización K no se cumple, entonces las muestras superan obligatoriamente el umbral de alerta J exigido por el servicio. Esto significa, por lo tanto, o bien se cumple con el nivel de exigencia del error y entonces se está seguro de que se respeta sea cual sea la DOP, o bien no se cumple con el nivel de exigencia y entonces en cualquier caso no se puede utilizar el servicio de navegación ya que el umbral de alerta se supera. Por lo tanto, si durante el 95 % del tiempo las muestras calculadas cumplen con las condiciones de la categoría 1 en una condición observada de DOP entonces se cumple con las prestaciones en precisión sea cual sea la condición de observación de la DOP de un usuario. Por lo tanto, por medio del procedimiento se puede determinar sin tener que medir todas las condiciones de observación.

Una segunda categoría 2 comprende las muestras que cumplen las tres condiciones siguientes: el radio de protección es inferior al umbral de alerta J, el cociente XPL/XNSE del radio de protección y del error estimado de localización es inferior al cociente de seguridad J/K y el error estimado de localización XNSE es inferior al nivel de exigencia de error estimado K. Para esas muestras de datos, se deduce que se respeta potencialmente el nivel de exigencia del error de localización. No obstante, si el valor de la DOP aumenta, el error de localización de algunas muestras puede llegar a ser superior al nivel de exigencia del error estimado K mientras que en una condición de valor DOP inicial el error de localización sería inferior. Al calcular las muestras en la categoría 2, se determina si las prestaciones en precisión se cumplen para unas condiciones de observación conocida. Sin embargo, no se puede garantizar para todos los usuarios, en particular para aquellos usuarios que se situarían en unas condiciones de observación degradadas con respecto a las de medición de las muestras.

Una tercera categoría 3 comprende las muestras que cumplen las tres condiciones siguientes: el radio de protección XPL es inferior al umbral de alerta J, el cociente XPL/XNSE del radio de protección y del error estimado de localización es inferior al cociente de seguridad J/K y el error estimado de localización es superior al nivel de exigencia de error estimado. Para esas muestras de datos, se deduce que no se cumple con el nivel de exigencia del error de localización. No obstante, si el valor de DOP la disminuye, el error de localización de las muestras puede llegar a ser inferior al nivel de exigencia del error estimado K para ciertas muestras mientras que en una condición de valor DOP inicial el error de localización sería superior. En caso de degradación de la geometría de los satélites, las prestaciones se pueden volver tales que el radio de protección ya no respete el umbral de alerta. El sistema de navegación no debe entonces utilizarse más y se avisa al usuario.

Una cuarta categoría 4 comprende las muestras que cumplen las dos condiciones siguientes: el radio de protección XPL es superior al umbral de alerta J y el error estimado de localización XNSE es superior al nivel de exigencia del error estimado K. Para esas muestras de datos, el radio de protección XPL es superior al umbral de alerta J. Si la proporción de muestra en esa parte es alta entonces el sistema de navegación no debe utilizarse más ya que presenta una incertidumbre de localización demasiado peligrosa para el servicio del usuario. Una mala geometría puede ser responsable de esas prestaciones.

Una quinta categoría 5 comprende las muestras que cumplen las dos condiciones siguientes: el radio de protección XPL es superior al umbral de alerta J y el error estimado de localización XNSE es inferior al nivel de exigencia del error estimado K. Si una fuerte proporción de las muestras está situada en esta categoría, entonces el sistema de navegación no puede utilizarse más ya que el radio de protección XPL es superior al umbral de alerta J, mientras que el error de localización XNSE cumple con el nivel de exigencia K.

Una vez obtenida la distribución de la localización de las muestras entre las cinco categorías, se pone en marcha una etapa de cálculo con el fin de establecer un modelo de las componentes de la distribución que presentan una muy baja probabilidad de aparición y que se consideran que son inobservables. Ese problema se resuelve por medio de la realización de la modelización mediante la aplicación de la teoría de valores extremos a partir de las muestras observadas de la distribución. El principio de la teoría de valores extremos consiste en establecer un modelo en el campo de las probabilidades de la cola de la distribución de las muestras. La modelización depende de parámetros característicos de la distribución. Un calculador se encarga del tratamiento de los datos observados para calcular la modelización de la distribución de las muestras, las características de los medios de cálculo adecuadas para aplicar la función de modelización a partir de la teoría de los valores extremos no limitan el alcance de la invención.

La figura 1 representa una distribución 20 de muestras. Los extremos de esa distribución presentan una probabilidad de aparición extremadamente baja. Los niveles de exigencia requieren unos sistemas que puedan probar, por ejemplo, que una probabilidad de un error de localización superior a 10 metros sea inferior a  $10^{-7}$ . Para las muestras que se sitúan en la categoría 1, se sabe que sea cual sea la geometría de los satélites y mientras el radio de protección sea inferior al umbral de alerta, el error de localización es inferior al nivel de exigencia K. De este modo, la modelización de la cola de distribución para las muestras que se sitúan en el nivel del cociente de seguridad J/K permite calcular la probabilidad de tener unas muestras de las cuales se está seguro de que cumplen con el nivel de exigencia en precisión.

En una primera variante de un sistema de cálculo de la prestación que se ilustra en la figura 1, se calcula la probabilidad  $10^{-x}$  asociada al cociente de seguridad J/K. Ese valor permite calcular la probabilidad de obtener unas muestras de la distribución que no cumplen con las condiciones de precisión impuestas por el servicio de usuario.

En una segunda variante de un sistema de cálculo de las prestaciones que se ilustra en la figura 2, se toma en consideración la probabilidad de distribución de las muestras en función del radio de protección (en unas condiciones de observación de las muestras nominales o degradadas). Para ello, se calcula, por una parte, la probabilidad de obtener una muestra cuyo cociente XPL/XNSE del radio de protección y del error estimado de localización es inferior al cociente de seguridad J/K, siendo ese valor igual a  $10^{-y}$  y, por otra parte, la probabilidad para que esa muestra esté situada en la categoría 2 del diagrama, siendo esta probabilidad igual a  $10^{-p}$ . El producto de esas dos probabilidades permite determinar, por medio de la modelización de la distribución de las muestras de muy baja probabilidad, la probabilidad de aparición de una muestra que no satisfaga las exigencias impuestas por el servicio de usuario.

La invención se aplica a todos los sistemas de navegación por satélite, se pueden citar por ejemplo el sistema americano GPS ("Global Positioning System" en lengua anglosajona) o el futuro sistema europeo GALILEO, así como los sistemas de aumentación de las prestaciones (EGNOS por « European Geostationary Navigation Overlay Service »).

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de cálculo de los sucesos de baja probabilidad para la evaluación de las prestaciones en precisión de un sistema de navegación por satélite que comprende un segmento espacial que emite unas señales de radiolocalización hacia un segmento receptor, **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:

5 - Una etapa previa de medición del error estimado de localización de un receptor del sistema para una multitud de muestras y de cálculo del umbral de error máximo de localización, denominado radio de protección, que puede garantizar el sistema para dichas muestras, el error estimado y el radio de protección definiéndose en una dimensión de un marca de posición;

10 - Una etapa de cálculo de una primera proporción (1) de una distribución de muestras que verifica las siguientes condiciones:

- i. El radio de protección (XPL) es inferior a un umbral de alerta (J);
- ii. El cociente del radio de protección (XPL/XNSE) es superior a un cociente de seguridad (J/K), siendo el cociente de seguridad la relación entre el umbral de alerta (J) y un nivel de exigencia de error estimado (K).

15 - Una etapa de cálculo de una segunda proporción (2) de la distribución de muestras que verifica las siguientes condiciones:

- i. El radio de protección (XPL) es inferior al umbral de alerta (J);
- ii. El cociente del radio de protección y del error estimado de localización (J/K) es inferior al cociente de seguridad;
- iii. El error estimado de localización (XNSE) es inferior al nivel de exigencia de error estimado (K).

20 - Una etapa de cálculo de la probabilidad de la distribución de las muestras para las cuales el cociente del radio de protección el cociente del radio de protección y del error estimado de localización (XPL/XNSE) es igual al cociente de seguridad (J/K);

25 - Una etapa de modelización de al menos una componente de la distribución de las muestras, representando la componente unas muestras con baja probabilidad de aparición de la distribución y calculándose la modelización mediante la aplicación de la teoría de valores extremos a partir de dichas muestras observadas de la distribución.

30 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque**, para verificar las prestaciones en precisión, comprende una etapa de cálculo, por una parte, de la probabilidad de obtener una muestra para la cual el cociente del radio de protección y del error estimado de localización (XPL/XNSE) sea inferior al cociente de seguridad (J/K) y, por otra parte, para esa muestra, de la probabilidad de que el radio de protección (XPL) sea inferior al umbral de alerta (J) y de que el error estimado de localización (XNSE) sea superior al nivel de exigencia de error estimado (K).

35 3. Sistema de cálculo de los sucesos de baja probabilidad para la evaluación de las prestaciones en precisión de un sistema de navegación por satélite, **caracterizado porque** está adaptado para aplicar el procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

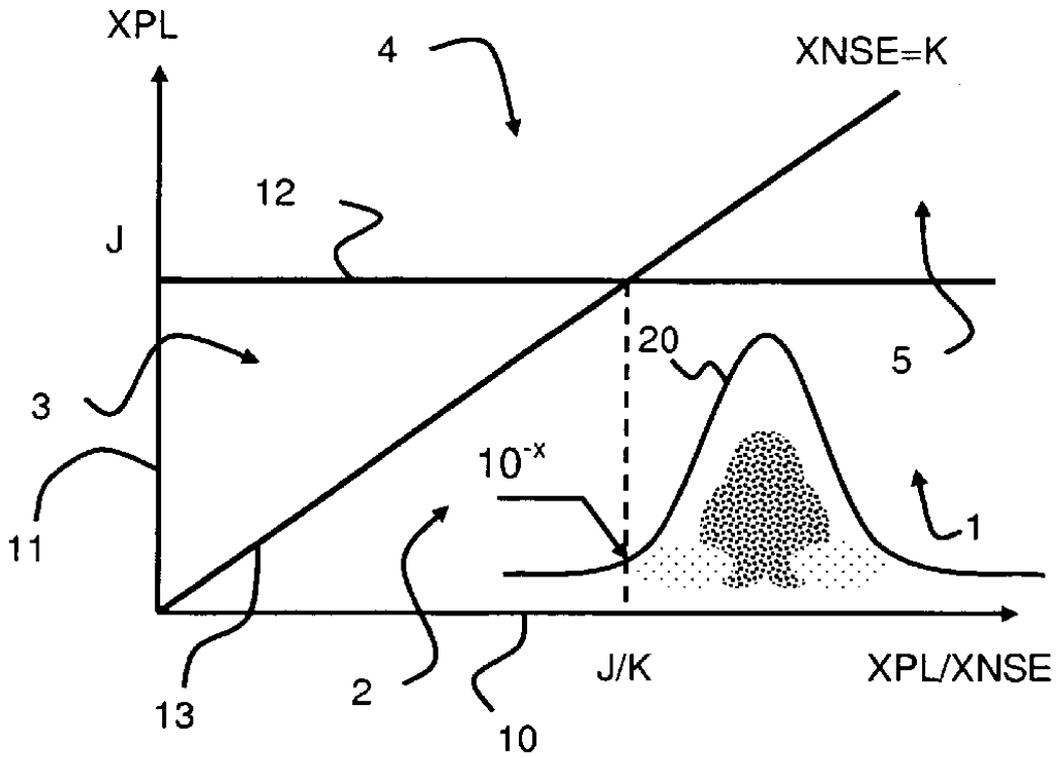


FIG.1

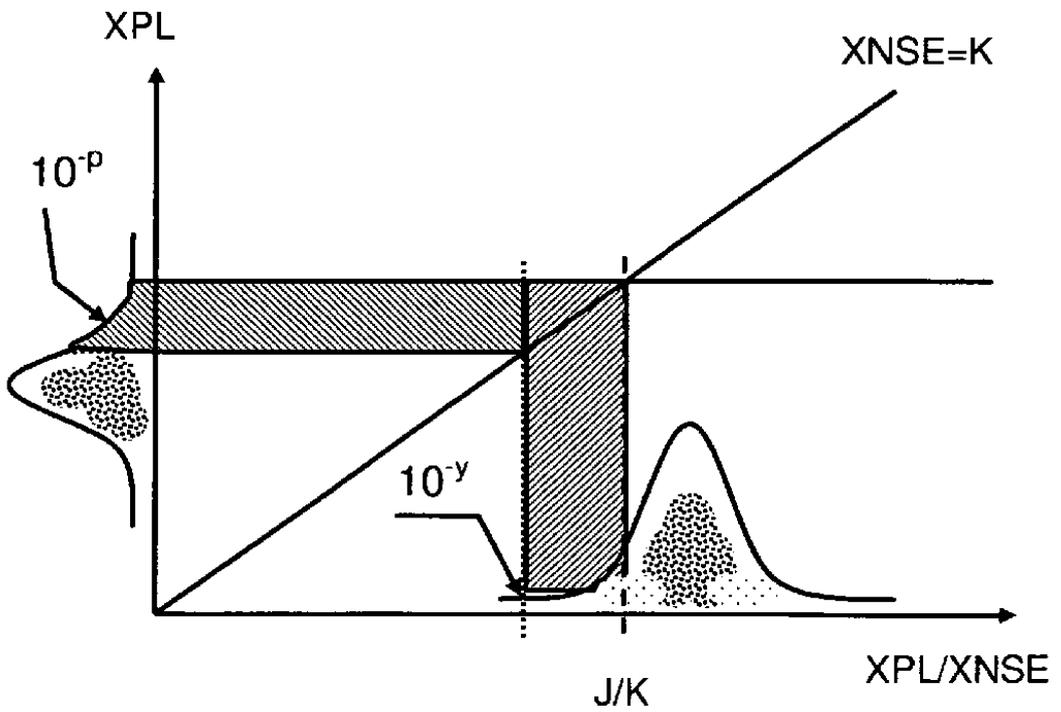


FIG.2