

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 565 689**

51 Int. Cl.:

G01S 19/42 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.03.2008 E 08718128 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.01.2016 EP 2260320**

54 Título: **Mejora de la estimación de posición para un receptor del sistema global de navegación por satélite**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.04.2016

73 Titular/es:

**TELESPAZIO S.P.A. (100.0%)
Via Tiburtina 965
00156 Roma, IT**

72 Inventor/es:

**RODRIGUEZ, FILIPPO y
PLAIA, GIAN PAOLO**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 565 689 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

Mejora de la estimación de posición para un receptor del sistema global de navegación por satélite

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a sistemas de navegación por satélite, y más en particular a mejoras de la estimación de posición para un receptor del sistema global de navegación por satélite (GNSS).

10 Antecedentes de la invención

La Figura 1 muestra esquemáticamente un sistema global de navegación por satélite (GNSS) 1 que comprende una pluralidad de satélites 4 que emiten señales dirigidas a una pluralidad de receptores 2 y elementos locales 3 (de los cuales solo se muestra uno en la Figura 1), comunicando entre sí en una forma conocida por se y por ello no descrita en detalle. Cada receptor 2 está generalmente encerrado en un terminal de usuario correspondiente configurado para ejecutar aplicaciones de software de alto nivel en base a los datos proporcionados por el receptor 2. Desde un punto de vista técnico, cada receptor 2 puede considerarse como un terminal de radiofrecuencia (RF) del terminal de usuario correspondiente, concretamente la parte de conexión en red del terminal de usuario, en oposición a la parte de aplicación, que comprende una interfaz de usuario y las anteriormente mencionadas aplicaciones de alto nivel.

Cada satélite 4 transmite señales moduladas mediante una secuencia pseudoaleatoria (secuencia PN) característica del satélite 4. Adicionalmente, las señales emitidas por cada satélite 4 contienen un mensaje de navegación, que a su vez contiene, junto a datos adecuados para mejorar la precisión en el cálculo de la posición del receptor, la efemérides del satélite, concretamente funciones matemáticas que describen la órbita del satélite en una forma altamente precisa. Por lo tanto, en base a la información transportada por las señales, cada receptor 2 calcula su distancia desde el satélite 4. En particular, el receptor 2 calcula el tiempo de propagación de la señal desde el satélite 4 al receptor 2, concretamente la diferencia de tiempo entre el instante de emisión, que es el instante en el que el satélite 4 emite la señal, y el instante de recepción, que es el instante en el que el receptor 2 recibe la misma señal. Posteriormente, se obtiene una estimación aproximada de la distancia satélite-receptor mediante la multiplicación del tiempo de propagación por la velocidad de la luz; dicha estimación aproximada de la distancia satélite-receptor es conocida como pseudoalcance. Se usan entonces los pseudoalcances relacionados con los diferentes satélites (generalmente, al menos cuatro satélites, como se muestra en la Figura 2) para calcular una estimación de la posición del receptor, como se explicará a continuación con más detalle.

En algunos casos, tras haber determinado los pseudoalcances, en lugar de calcular una estimación de su posición, el receptor 2 envía los pseudoalcances a un elemento local 3, que está encargado de calcular la estimación de la posición del receptor, y enviar la estimación de vuelta al receptor 2. En unos GNSS particulares, generalmente conocidos como Sistemas Globales de Navegación por Satélite Asistidos (A- GNSS), la efeméride del satélite es proporcionada al receptor 2 por los elementos locales 3, de modo que el receptor 2 no tiene que extraerlas desde los mensajes de navegación. En base a los pseudoalcances y a la efeméride recibida, el receptor 2 calcula la estimación de su posición. En unos A-GNSS particulares, generalmente conocidos como "Equipo de Usuario Asistido" de A- GNSS, al receptor 2 solamente calcula estimaciones de los pseudoalcances y los envía al elemento local 3, que está encargado de todas las operaciones restantes (resolución de ambigüedades en mediciones de pseudoalcance fraccionarias, cálculo de la posición,...).

Más en detalle, la posición del receptor, representada por un vector de posición, se calcula por medio de N pseudoalcances relacionados con los N satélites correspondientes, cuyas señales se reciben por el receptor 2. En cualquier caso, ha de hacerse notar que un pseudoalcance es la distancia entre la posición del satélite 4 correspondiente en el instante de transmisión y la posición del receptor 2 en el instante de recepción. Debido a que el reloj del satélite y el reloj del receptor no están perfectamente sincronizados, es imposible calcular la distancia exacta entre un satélite 4 y un receptor 2.

Despreciando errores inducidos por la propagación, interferencias multi trayecto y errores del receptor, la definición básica del segundo alcance ρ^j con relación al satélite j-ésimo es:

$$\rho^j = R^j + c \cdot (\delta^j - \delta) \tag{1}$$

$$R^j = f(X, Y, Z) = \sqrt{(X^j(t) - X)^2 + (Y^j(t) - Y)^2 + (Z^j(t) - Z)^2} \tag{2}$$

60 en las que:

- X^j, Y^j, Z^j son las coordenadas de posición del j-ésimo satélite;
- X, Y, Z son las coordenadas de la posición del receptor;
- c es la velocidad de la luz;

- δ^j y δ son, respectivamente, la desviación del reloj del satélite j-ésimo y la desviación del reloj del receptor; y
- R^j es la distancia geométrica entre el satélite j-ésimo y el receptor 2, y es una función del tiempo, así como el pseudoalcance ρ^j (con R^j calculado como el tiempo de transmisión).

5 Las coordenadas X, Y, Z de la posición del receptor forman el vector de posición del receptor anteriormente mencionado, de aquí en adelante indicado por [X, Y, Z]. Lo mismo se aplica a las coordenadas X^j , Y^j , Z^j de la posición del j-ésimo satélite, cuyo vector de posición se indica de aquí en adelante por $[X^j, Y^j, Z^j]$.

10 Partiendo de la ecuación (1), el vector de posición del receptor [X, Y, Z], que es una cantidad desconocida, puede calcularse en base a los pseudoalcances R^j calculados, el vector de posición del satélite $[X^j, Y^j, Z^j]$, y la desviación del reloj del satélite δ^j . En particular, el vector de posición del satélite $[X^j, Y^j, Z^j]$ se calcula en base al tiempo de transmisión, que es la diferencia entre el instante de recepción y el tiempo de propagación, y la efeméride recibida, mientras que la desviación del reloj del satélite δ^j se calcula usando parámetros de corrección incluidos en el mensaje de navegación.

15 La relación entre los pseudoalcances calculados, también conocidos como observables, y la posición del receptor no es lineal, tal como se muestra por la ecuación (1), por lo tanto se emplean técnicas conocidas para obtener una ecuación linealizada. De acuerdo con dichas técnicas conocidas, se supone una posición aproximada del receptor, y de ese modo se elige un vector de la posición aproximada del receptor $[X_0, Y_0, Z_0]$. Esta suposición implica que la posición del receptor puede considerarse como una suma de la posición aproximada del receptor y un factor de ajuste. Desde un punto de vista vectorial, el vector de posición del receptor [X, Y, Z] es la suma del vector de la posición aproximada del receptor $[X_0, Y_0, Z_0]$ y un vector de ajuste $[\Delta X, \Delta Y, \Delta Z]$. Debido a esta suposición, las cantidades desconocidas a ser calculadas son los componentes ΔX , ΔY y ΔZ del vector de ajuste $[\Delta X, \Delta Y, \Delta Z]$, así como la desviación del reloj del satélite δ .

25 Para calcular las cantidades desconocidas ΔX , ΔY , ΔZ y δ , la ecuación (1) se extiende en una serie de Taylor truncada después de los términos lineales y centrada alrededor del vector de la posición aproximada del receptor $[X_0, Y_0, Z_0]$, obteniendo así:

$$30 \quad \rho^j - R_0^j - c \cdot \delta^j = -\frac{X^j(t) - X_0}{R_0^j} \cdot \Delta X - \frac{Y^j(t) - Y_0}{R_0^j} \cdot \Delta Y - \frac{Z^j(t) - Z_0}{R_0^j} \cdot \Delta Z - c \cdot \delta \quad (3)$$

$$R_0^j = f(X_0, Y_0, Z_0) = \sqrt{(X^j(t) - X_0)^2 + (Y^j(t) - Y_0)^2 + (Z^j(t) - Z_0)^2} \quad (4)$$

35 En la ecuación (3), todas las cantidades desconocidas (ΔX , ΔY , ΔZ y δ) están en el lado derecho de la ecuación, mientras que el lado izquierdo es conocido. Debido a la presencia de cuatro cantidades desconocidas, para calcular la posición del receptor es necesario tener al menos cuatro ecuaciones, esto es, es necesario recibir señales desde al menos cuatro satélites, de modo que se calculen los pseudoalcances correspondientes. Generalmente, el número N de satélites, cuyas señales son recibidas por un receptor, varía de cuatro a doce, dependiendo de la geometría de la constelación de satélites y de la posición del receptor, conduciendo a un sistema de ecuaciones que tiene más

40 ecuaciones que cantidades desconocidas, estando así aparentemente sobredeterminado. En realidad, los observables están afectados por errores y ruido, por lo tanto el sistema no es consistente. Esta inconsistencia aparente se resuelve por medio de la introducción de un vector de ruido \underline{e} , que conduce al sistema de ecuaciones de pseudoalcance linealizado siguiente:

$$45 \quad \underline{y} = \underline{G} \cdot \underline{X} + \underline{e} \quad (5)$$

en la que:

- \underline{X} es un vector $[\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z \ \delta]$ que contiene las coordenadas del vector de ajuste $[\Delta X, \Delta Y, \Delta Z]$ asociado con el vector de la posición aproximada del receptor $[X_0, Y_0, Z_0]$, que representa el centro de la serie de Taylor, así como la desviación del reloj del receptor 5;
- \underline{G} es una matriz que tiene cuatro columnas y N filas, estando asociada cada fila con un satélite correspondiente, cuya señal es recibida por el receptor;
- \underline{y} es un vector de N dimensiones que contiene los N pseudoalcances, deducido cada uno de la distancia geométrica correspondiente ρ^j entre el satélite correspondiente y el receptor, dependiendo así de la posición aproximada del receptor; y
- el vector de ruido \underline{e} es un vector de N dimensiones que contiene los errores de los componentes del vector \underline{y} .

Es posible demostrar que cada fila de la matriz \underline{G} puede expresarse como:

$$60 \quad G_i = [\cos E_{li} \ \sin A_{z1} \ \cos E_{li} \ \cos A_{zi} \ \sin E_{li} \ 1] \quad (6)$$

De acuerdo con la ecuación (6), cada fila de la matriz \underline{G} depende de la elevación E_i y del azimut Az_i del satélite i -ésimo correspondiente, concretamente de las posiciones de receptor y satélite, siendo la posición del satélite una cantidad conocida bien a partir de la efemérides o bien a partir de los datos contenidos en los mensajes de navegación.

5 En GNSS conocidos, el sistema de ecuaciones (5) se usa para calcular iterativamente estimaciones \underline{X} del vector \underline{X} . De hecho, mediante la elección arbitraria de una posición aproximada del receptor, concretamente un vector de la posición aproximada del receptor $[X_0, Y_0, Z_0]$, es posible calcular una aproximación correspondiente \underline{y} del vector \underline{y} , así como una aproximación \underline{G} de la matriz \underline{G} . Posteriormente, partiendo del sistema de ecuaciones (5) y despreciando el vector \underline{e} , el sistema de ecuaciones $\underline{G} \cdot \underline{X} = \underline{y}$ puede resolverse y calcularse así una primera estimación \underline{X} del vector $\underline{X} = [\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z \ \delta]$, cálculo que implica el cálculo de un vector de la posición estimada del receptor $[X_1, Y_1, Z_1]$. De hecho, el vector de la posición estimada del receptor $[X_1, Y_1, Z_1]$ viene dado por la suma del vector de la posición aproximada del receptor $[X_0, Y_0, Z_0]$ y del vector de ajuste $[\Delta X, \Delta Y, \Delta Z]$, formado por los tres primeros componentes del vector calculado \underline{X} .

15 Posteriormente, el vector de la posición estimada del receptor $[X_1, Y_1, Z_1]$ se usa como una nueva posición aproximada del receptor para la iteración posterior en el cálculo de la estimada \underline{X} del vector \underline{X} . En base a la nueva posición aproximada del receptor, se calculan un nuevo vector aproximado \underline{y} del vector \underline{y} y una nueva aproximación \underline{G} de la matriz \underline{G} , de modo que se calcule una nueva estimación \underline{X} del vector \underline{X} , y, en consecuencia una nueva estimación de la posición del receptor, resolviendo de nuevo el sistema de ecuaciones $\underline{G} \cdot \underline{X} = \underline{y}$. La secuencia de operaciones descrita se itera entonces hasta que la diferencia entre estimaciones consecutivas \underline{X} del vector \underline{X} es menor que un umbral predeterminado.

20 Más en detalle, el sistema de ecuaciones $\underline{G} \cdot \underline{X} = \underline{y}$ se resuelve por medio del método de mínimos cuadrados, que usa la inversa generalizada de la aproximación \underline{G} de la matriz \underline{G} y conduce a la ecuación:

$$\underline{\hat{X}} = \text{inversa generalizada de } \underline{\hat{G}} \cdot \underline{\hat{y}} = (\underline{\hat{G}}^T \cdot \underline{\hat{G}})^{-1} \cdot \underline{\hat{G}}^T \cdot \underline{\hat{y}} \quad (7)$$

30 en la que $\underline{\hat{G}}^T$ es la matriz traspuesta de la matriz $\underline{\hat{G}}$, y el superíndice -1 indica la inversa de la matriz a la que se refiere.

A partir de lo anterior, puede apreciarse que el vector de posición del receptor $[X, Y, Z]$ depende de los pseudoalcances calculados ρ^j , contenidos en el vector \underline{y} y en los vectores aproximados \underline{y} correspondientes. Dado que los pseudoalcances se refieren a diferentes satélites y están afectados por errores en diferentes grados, cada pseudoalcance se calcula con un grado de precisión diferente, lo que afecta al cálculo de la posición del receptor.

35 Para mejorar la precisión de la posición del receptor calculada, se ha propuesto recientemente la provisión de una matriz de ponderación en el cálculo de la posición del receptor. Por ejemplo, el documento US2003/0036849 A1 desvela una restricción del modelo de seguimiento para GPS en la que se desvela una matriz de ponderación de observación de pseudoalcance diagonal con entradas diagonales que son recíprocas de las entradas de varianza de los pseudoalcances.

40 Adicionalmente, el documento US 2006/012523 A1 desvela un método que permite mejorar la fiabilidad y la precisión de un método de hallazgo de la posición tal como el método GPS. En particular, de acuerdo con el documento US 2006/012523 A1, se determina la calidad de un enlace de radio que se usa para el método de hallazgo de la posición mediante la estimación de un parámetro, en particular el factor Rice de la densidad de distribución de amplitud, que es característico de la relación entre la intensidad de una señal transmitida a través de un trayecto en la línea de visión, con respecto a la intensidad de las señales transmitidas a través de trayectos no en la línea de visión.

45 Adicionalmente, el documento WO 2004/036240 A desvela un método y un aparato para utilizar un conjunto de mediciones para mejorar la precisión de una estimación de posición inicial para un terminal inalámbrico. En particular, de acuerdo con el documento WO 2004/036240 A, en primer lugar se obtiene la estimación de posición inicial para el terminal, a continuación se obtienen mediciones para el terminal, y finalmente se actualiza la estimación de posición inicial con las mediciones para obtener una estimación de posición revisada para el terminal. En detalle, la actualización se realiza mediante la deducción de un vector de medición en base a la estimación de posición inicial y las mediciones, formando una matriz de observación para las mediciones, determinando una matriz de ponderaciones, deduciendo un factor de corrección en base al vector de mediciones, la matriz de observación y la matriz de ponderación, y actualizando la estimación de posición inicial con el vector de corrección.

Objeto y sumario de la invención

El presente solicitante ha observado que desde un punto de vista arquitectural, las soluciones propuestas en las solicitudes de patente mencionadas anteriormente requieren la provisión de diferentes estaciones para corregir los

pseudoalcances y para dar soporte a la estimación de ambigüedad de fase.

El presente solicitante ha observado también que desde un punto de vista computacional, las soluciones propuestas en las solicitudes de patente anteriormente mencionadas implican un cálculo computacionalmente intensivo de las entradas individuales de la matriz de ponderación en base a una información geográfica del territorio sobre el que se sitúa al receptor, información geográfica que es recuperada a través de sondeos altimétricos y fotográficos.

Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es concebir una metodología de computación más ligera para las entradas de la matriz de ponderación, metodología que permita la estimación mejorada de una posición del receptor.

Estos y otros objetivos se consiguen por la presente invención que se refiere a un método, un sistema y un programa de software, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Descripción de los dibujos

La presente invención se describe ahora con referencia a un ejemplo no limitativa y a los dibujos adjuntos, en los que:

- La Figura 1 representa un sistema global de navegación por satélite asistido (A-GNSS);
- La Figura 2 representa un receptor GNSS y cuatro satélites de una constelación de satélites del GNSS;
- La Figura 3 muestra un histograma de acuerdo con la presente invención;
- La Figura 4 muestra funciones de densidad de probabilidad de Rice, Reynolds y Loo;
- La Figura 5 muestra cualitativamente la distribución de degradaciones en una clase de elevación de acuerdo con la presente invención, y las funciones de distribución de ajuste correspondientes, matriz de índices e intervalos de degradación de acuerdo con la presente invención; y
- La Figura 6 muestra una tabla de búsqueda de acuerdo con la presente invención.
- La Figura 7 muestra una comparación en términos de errores topocéntricos entre la presente invención y técnicas conocidas.

Descripción detallada de la invención

La presente invención surge de la siguiente observación. Los receptores GNSS se comportan bien en presencia de señales en la línea de visión (LOS), que son señales emitidas por un satélite y que se propagan directamente al receptor, sin experimentar reflexiones y/o difracciones por elementos externos, tales como edificios. En un entorno real, los receptores GNSS raramente se basan en señales LOS; más a menudo, tienen que manejarse con réplicas de las señales emitidas por el satélite, generadas por la interacción de las señales con el entorno real. Cada réplica experimenta un cierto número de reflexiones y/o atenuaciones, alcanzando así al receptor con su propia amplitud. Adicionalmente, cada réplica de la señal alcanza el receptor después de la propagación a lo largo de un trayecto particular, por lo tanto con su propio retardo con respecto al instante de emisión de la señal, interfiriendo así positiva o negativamente con otras réplicas en el lado del receptor. Este fenómeno es conocido como interferencia multi-trayecto y provoca la degradación de las señales recibidas adicional a la propia atenuación de propagación, conduciendo así a una reducción de los rendimientos del receptor.

Desde un punto de vista práctico, los receptores han de manejar de una forma eficiente réplicas que tienen diferentes retardos, de modo que se extraiga la información asociada con las señales emitidas por los satélites. Adicionalmente, generalmente los receptores reciben señales desde diferentes satélites, y el fenómeno multi-trayecto afecta a todas las comunicaciones establecidas entre los receptores y los satélites. Sin embargo, las señales emitidas por diferentes satélites están afectadas por las interferencias multi-trayecto en diferentes grados, y en consecuencia, las comunicaciones con los satélites tienen diferentes grados de fiabilidad.

La idea subyacente a la presente invención es calcular las degradaciones experimentadas por las señales de satélite recibidas y debidas a la interferencia multi-trayecto, y a continuación calcular la matriz de ponderación en base a las degradaciones calculadas.

La metodología de cálculo para las entradas de la matriz de ponderación \underline{W} de acuerdo con la presente invención se describirán en el presente documento a continuación en detalle, cálculo que se realizará bien por el receptor 2 o bien por el elemento local 3 encargado del cálculo de la posición estimada del receptor.

El siguiente sistema de ecuaciones corresponde al sistema de ecuaciones (7) con la provisión de la matriz de ponderación \underline{W} propuesta:

$$\hat{\underline{X}} = (\underline{\tilde{G}}^T \cdot \underline{W} \cdot \underline{\tilde{G}})^{-1} \cdot \underline{\tilde{G}}^T \cdot \underline{W} \cdot \underline{\tilde{y}} \quad (8)$$

Las degradaciones de las señales de satélite recibidas debido a su propagación en un entorno real, afectado por multi-trayecto, tal como una calle urbana o, más en general, los denominados cañones urbanos, en lugar de en un

entorno ideal, sustancialmente libre de multi-trayecto, tal como en un entorno en el que el receptor recibe solamente señales en la LOS, se determina por medio de técnicas conocidas. Por ejemplo, la degradación de una señal de satélite recibida puede calcularse restando o bien la atenuación global (expresada en dB) experimentada por la señal del satélite en el entorno sustancialmente libre de multi-trayecto de la atenuación global (expresada en dB) experimentada por la señal de satélite en el entorno afectado por multi-trayecto o bien la potencia (expresada en dB) de la señal de satélite recibida medida por el receptor en el entorno afectado por multi-trayecto respecto a la potencia (expresada en dB) de la señal de satélite recibida medida por un receptor en el entorno sustancialmente libre de multi-trayecto. Adicionalmente, como la potencia de la señal se mide generalmente en términos de relación portadora a ruido (CNR), esto es, la relación C/N entre la potencia de la portadora C modulada recibida en promedio y la potencia del ruido N recibido en promedio después de los filtros del receptor, la degradación de la señal puede calcularse convenientemente como la resta entre la señal CNR (expresada en dB) medida en el entorno real y la señal CNR (expresada en dB) medida en el entorno ideal.

Después de que se han calculado las degradaciones de la señal, se realiza un procesamiento estadístico de los datos tal como se describe en el presente documento a continuación en detalle para determinar cantidades indicativas de la calidad de las señales recibidas.

En particular, para cada satélite están disponibles los siguientes datos, de aquí en adelante denominados como datos del satélite: el pseudoalcance del satélite, la degradación de las señales emitidas por el satélite, y el azimut y elevación del satélite. Se calcula de ahí un histograma del tipo mostrado en la Figura 3 en base a los datos del satélite. Más en detalle, las señales recibidas por el receptor se clasifican primero en un número M de diferentes clases de elevación en base a la elevación del satélite que ha emitido las señales.

Para cada clase de elevación, las señales que pertenecen a la clase de elevación considerada se clasifican a continuación adicionalmente en un número A de diferentes clases de degradación, que son comunes a todas las clases de elevación, en base a las degradaciones calculadas correspondientes. Los anchos de las clases de elevación y degradación pueden elegirse arbitrariamente. En el histograma mostrado en la Figura 3, las clases de degradación se indican en el eje de abscisas, mientras que la cardinalidad de cada clase de degradación, concretamente el número de señales con degradaciones que caen dentro de cada clase de degradación, se indica en el eje de ordenadas, como un porcentaje con respecto a todas las señales recibidas. En el ejemplo mostrado en la Figura 3, las clases de elevación están en número de cinco (M=5), y se asocian respectivamente con los siguientes intervalos de grados de elevación; 0-10, 10-20, 20-40, 60-90.

Para cada clase de elevación, la distribución a lo largo del eje de abscisas de los números correspondientes de señales con degradaciones que caen dentro de las clases de degradación correspondientes se ajusta globalmente con una pluralidad de funciones de distribución diferentes, en el ejemplo considerado en número de tres, conocidas en la literatura, convenientemente las conocidas funciones de distribución de Rice, Reynolds y Loo, mostradas en la Figura 4 y definida cada una, entre otras cosas, por parámetros respectivos, tales como media y varianza. El experto en la materia puede apreciar inmediatamente que se pueden usar otras distribuciones, pero en la descripción a continuación se hará referencia a las distribuciones de Rice, Reynolds y Loo.

La elección de estas tres funciones de distribución es debido a lo siguiente. Cuando una señal emitida por un satélite experimenta interferencias multi-trayecto, las atenuaciones de las señales recibidas pueden modelizarse con una distribución de Rice:

$$f_{Rice}(v) = 2Kv \exp[-K(v^2 + 1)] I_0(2vK)$$

en la que v es la amplitud de la señal en la LOS recibida, K es la relación de potencia entre la señal en la LOS y una señal generada mediante interferencias multi-trayecto, e I_0 es la función de Bessel de orden 0.

En su lugar, cuando una señal emitida por un satélite no puede alcanzar al receptor directamente, y por ello el receptor recibe solamente señales generadas mediante interferencias multi-trayecto, las atenuaciones de las señales recibidas siguen la distribución de Rayleigh, que es un caso particular de la distribución de Rice:

$$f_{Rayleigh}(v) = 2Kv \exp[-Kv^2]$$

en la que v, K e I_0 tienen el mismo significado que en la distribución de Rice.

Finalmente, cuando una señal emitida por un satélite es recibida directamente por el receptor, después de haber experimentado atenuaciones debido a materiales tales como hojas, la señal se dice que está "sombreada", la atenuación de la señal recibida puede modelizarse con la distribución de Loo:

$$f_{Loo}(v) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Kv}{\sigma} \int_0^{\infty} \frac{1}{z} \exp\left(-\frac{(\log(z) - m)^2}{2\sigma^2} - k(v^2 + z^2)\right) I_0(2Kvz) dz$$

en la que v , K e l_0 tienen el mismo significado que en la distribución de Rice, mientras que m es la media de las atenuaciones y σ la desviación estándar.

5 Ha de tomarse nota de que la distribución de Loo comprende dos componentes: uno que corresponde a la señal en la LOS atenuada, que sigue una distribución logarítmica normal, y una correspondiente a las interferencias multi-trayecto, que siguen una distribución de Rayleigh.

10 A continuación, para cada clase de degradación en cada clase de elevación, se asocia una de las tres funciones de distribución de ajuste correspondientes, la que se ajusta mejor, concretamente la que está más próxima al número de señales con degradaciones que caen dentro de la clase de degradación correspondiente. Tal como se muestra en la Figura 5, este procesamiento conduce a la formación de una matriz de índices para cada clase de elevación, en la que cada índice está asociado con una clase de degradación correspondiente y es indicativo de la función de distribución de mejor ajuste para dicha clase de degradación.

15 A continuación, en cada matriz de índices, se identifican grupos de índices posteriores, en los que cada grupo contiene solamente índices iguales, y grupos de índices consecutivos que contienen diferentes índices. Cada grupo de índices iguales identifican así un grupo correspondiente de clases de degradación consecutivas que se ajustan mediante una y la misma función de distribución de mejor ajuste, siendo denominado en el presente documento a continuación cada grupo de clases de degradación como un intervalo de degradación.

20 Al final de este proceso, para cada clase de elevación y cada intervalo de degradación se identifica una función de distribución de mejor ajuste, que tiene, entre otras cosas, su propia varianza.

25 Entonces se construye una tabla de búsqueda en base a los grupos de índices identificados, en el que la tabla de búsqueda tiene un número de filas igual al número M de clases de elevaciones, y un número de columnas igual al número L de intervalos de degradación. En particular, cada fila se asocia con una clase de elevación correspondiente, cada columna se asocia con un intervalo de degradación correspondiente, y cada entrada de búsqueda se relaciona con un parámetro de la función de distribución de mejor ajuste asociada con la clase de elevación y el intervalo de degradación correspondientes. Convenientemente, cada entrada de búsqueda se relaciona, preferiblemente sustancialmente igual (aparte de ajustes menores), a la recíproca de la varianza de la función de distribución de mejor ajuste correspondiente. La Figura 6 muestra una tabla de búsqueda que corresponde al ejemplo mostrado en la Figura 3, concretamente con cinco filas y ocho columnas. Puede apreciarse que en la tabla de búsqueda los intervalos de degradación (columnas) son comunes a todas las clases de elevación (filas). Sin embargo, en general pueden asociarse diferentes clases de elevación con diferentes intervalos de degradación, conduciendo así a una tabla de búsqueda en la que las columnas no son comunes a todas las filas, pero cada fila está asociada con sus propias columnas, que pueden ser o bien iguales o bien diferentes a las columnas asociadas con las otras filas, bien en número o bien en intervalos de degradación asociados con ella, o en ambos.

40 Al final, la matriz de ponderación \underline{W} anteriormente mencionada se calcula en base a la tabla de búsqueda formada, en la que la matriz de ponderación \underline{W} es una matriz cuadrada con un número de filas y columnas igual al número N de satélites "vistos" por el receptor. Preferiblemente, la matriz de ponderación \underline{W} es diagonal, en la que cada entrada de la diagonal se establece igual a la entrada de la tabla de búsqueda correspondiente a la elevación del satélite asociado con la entrada diagonal y la degradación de una señal recibida, o un grupo de señales, emitidas por dicho satélite. Las otras entradas no diagonales pueden ser o bien iguales a cero, mediante lo que la matriz de ponderación \underline{W} es puramente diagonal, o despreciables comparadas con las entradas diagonales, por lo que la matriz de ponderación \underline{W} es pseudo-, o cuasi-diagonal.

50 Desde un punto de vista práctico, la matriz de ponderación \underline{W} asigna a cada uno de los datos del satélite anteriormente mencionados, y en particular a cada pseudoalcance, una ponderación correspondiente relacionada con la elevación del satélite y la degradación de las señales recibidas correspondientes, de modo que sobrevale los aquellos datos de satélite contenidos en las señales recibidas que están menos afectadas por el fenómeno de multi-trayecto y por ello menos degradadas y con una menor dispersión estadística, e infravale las otras.

55 Extendidas simulaciones por ordenador probaron que la adopción de la presente invención permite que se mejore remarcadamente la precisión de la estimación de posición del receptor en comparación con receptores de satélite comercialmente disponibles que o bien no implementan ninguna ponderación en absoluto o bien implementan diferentes enfoques de ponderación, tal como se resume en términos de errores topocéntricos de las coordenadas de posición en la tabla mostrada en la Figura 7.

60 Finalmente, es claro que se pueden realizar numerosas modificaciones y variantes a la presente invención, cayendo todas dentro del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

65 En particular, el histograma puede calcularse en base a las degradaciones de las señales recibidas en un período de tiempo apropiado por varios receptores situados en entornos afectados por multi-trayecto, siendo igual el período de tiempo, como un ejemplo, al período de la órbita de la constelación de satélites, mejorando de ese modo la precisión

de la varianza de cálculo y, en consecuencia, la estimación de posición del receptor.

5 Adicionalmente, la tabla de búsqueda puede calcularse bien estadísticamente o bien dinámicamente, concretamente actualizarse periódicamente, por medio de un sondeo periódico, y almacenarse en una base de datos. Esta última solución puede emplearse ventajosamente en un GNSS asistido que incluye servidores de asistencia en los elementos locales en donde dicha base de datos puede alojarse.

10 Adicionalmente, las ponderaciones se envían al receptor de acuerdo con la posición del receptor, preferiblemente tras la emisión de una solicitud de asistencia por el receptor. En este caso, la solicitud de asistencia comprende una estimación aproximada de la posición del receptor, de modo que permite al servidor de asistencia barrer la base de datos y extraer las ponderaciones apropiadas, que se envían de vuelta al receptor. A la inversa, las ponderaciones extraídas pueden usarse directamente por el servidor de asistencia para calcular la posición del receptor.

REIVINDICACIONES

1. Método de estimación de una posición de un receptor de satélite, que comprende:

- 5 • calcular cantidades indicativas de degradaciones experimentadas por señales de satélite y debido a interferencias multi-trayecto;
- calcular una matriz de ponderación en base a las cantidades calculadas; y
- calcular una posición estimada del receptor de satélite en base a la matriz de ponderación;
- caracterizado por que** calcular la matriz de ponderación incluye:
- 10 • clasificar de las señales recibidas en clases de elevación en base a las elevaciones de los satélites que han emitido las señales;
- para cada clase de elevación, clasificar las señales que pertenecen a la clase de elevación en clases de degradación en base a las degradaciones correspondientes, teniendo cada clase de degradación una cardinalidad correspondiente definida por el número de señales con degradaciones que caen dentro de la clase de degradación;
- 15 • para cada clase de elevación, identificar de diferentes funciones de distribución que globalmente encajan la distribución de los números correspondientes de señales con degradaciones que caen dentro de las clases de degradación correspondientes;
- para cada clase de elevación, asociar de cada clase de degradación con una de las funciones de distribución correspondiente que satisface un criterio dado en relación con el número de señales con degradaciones que caen dentro de las clases de degradación correspondientes; y
- 20 • calcular la matriz de ponderación en base a las cantidades relacionadas con los parámetros de las funciones de distribución asociadas con las clases de degradación.

25 2. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:

- para cada clase de elevación, identificar de grupos de clases de degradación consecutivas asociadas con la misma función de distribución.

30 3. El método de la reivindicación 1 o 2, en el que la matriz de ponderación incluye entradas diagonales asociadas cada una con un satélite correspondiente, y en el que el cálculo de la matriz de ponderación se basa en cantidades relacionadas con los parámetros de las funciones de distribución asociadas con las clases de degradación incluye:

- 35 • calcular cada entrada diagonal de la matriz de ponderación en base a la cantidad relacionada con un parámetro de la función de distribución asociada con la clase de degradación que contiene las degradaciones de las señales desde el satélite correspondiente, y la clase de elevación que contiene la elevación del satélite correspondiente.

40 4. El método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el parámetro de la función de distribución es la varianza de la función de distribución, y la cantidad relacionada con el parámetro es la recíproca de la varianza.

45 5. El método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que las diferentes funciones de distribución incluyen las funciones de distribución de Rice, Rayleigh y Loo.

50 6. El método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la matriz de ponderación incluye entradas de ponderación asociada cada una con un satélite correspondiente, y en el que el cálculo de una cantidad indicativa de una degradación experimentada por las señales de satélite desde un satélite correspondiente y debido a la interferencia multi-trayecto incluye:

- medir una cantidad indicativa de una atenuación experimentada por una señal de satélite en un entorno sustancialmente libre de multi-trayecto;
- medir una cantidad indicativa de una atenuación de una señal de satélite en un entorno afectado por multi-trayecto; y
- 55 • calcular la cantidad indicativa de la degradación en base a las cantidades medidas.

60 7. El método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que las cantidades indicativas de las degradaciones debidas a interferencia multi-trayecto se calculan en base a señales de satélite emitidas en un período de tiempo dado.

8. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que el cálculo de la posición estimada del receptor de satélite en base a la matriz de ponderación incluye:

- 65 • calcular iterativamente del siguiente sistema de ecuaciones

$$\hat{\underline{X}} = (\underline{\tilde{G}}^T \cdot \underline{W} \cdot \underline{\tilde{G}})^{-1} \cdot \underline{\tilde{G}}^T \cdot \underline{W} \cdot \underline{\tilde{y}}$$

en el que:

- 5 - \underline{X} es un vector indicativo de la posición estimada del receptor de satélite;
- \underline{W} es la matriz de ponderación
- $\underline{\tilde{G}}$ es la matriz con un número de filas igual al número N de satélites cuyas señales emitidas son recibidas por el receptor de satélite, estando asociada cada fila con un satélite correspondiente y estando en la forma de $[\cos E_i \sin Az_i \cos E_i \cos Az_i \sin E_i \ 1]$, en la que E_i y Az_i son, respectivamente, la elevación y el azimut del satélite correspondiente;
- 10 - $\underline{\tilde{G}}^T$ es la traspuesta de la matriz $\underline{\tilde{G}}$; y
- $\underline{\tilde{y}}$ es un vector con N entradas asociada cada una con un satélite correspondiente cuyas señales emitidas por él son recibidas por el receptor de satélite, siendo cada entrada igual a la diferencia entre un pseudoalcance del satélite calculado correspondiente y una distancia geométrica calculada entre el receptor de satélite y el satélite correspondiente.
- 15

9. Un sistema de navegación por satélite que incluye una constelación de satélites, un elemento local en tierra configurado para comunicar con los satélites, y un receptor de satélite configurado para comunicar con los satélites y el elemento local en tierra; comprendiendo un sistema para la estimación de la posición del receptor de satélite configurado para implementar el método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente.

20

10. El sistema de la reivindicación 9, en el que el sistema para la estimación de la posición del receptor de satélite está compuesto por el receptor de satélite.

25 11. El sistema de la reivindicación 9, en el que el sistema para la estimación de la posición del receptor de satélite está compuesto por el elemento local en tierra.

30 12. Un programa de software que puede cargarse en una memoria de un sistema de estimación de la posición de un receptor de satélite dirigido a estar compuesto por un sistema de navegación por satélite, y tal que provoque, cuando se ejecuta, que el sistema de estimación de la posición de un receptor de satélite realice el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8.

FIG. 1

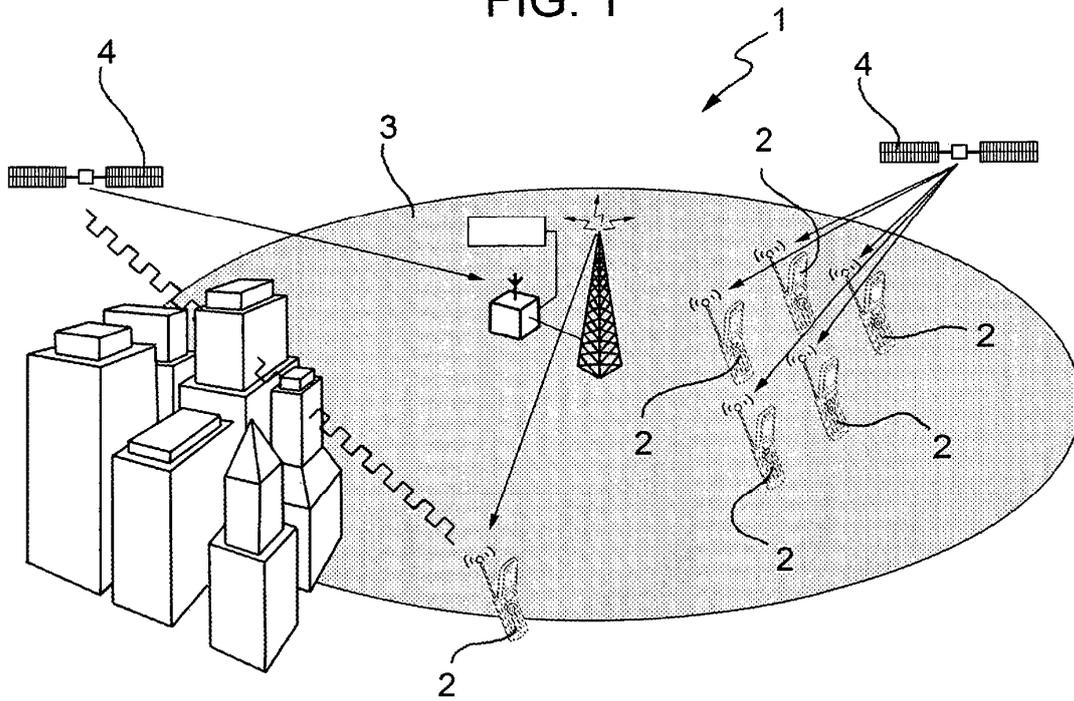


FIG. 2

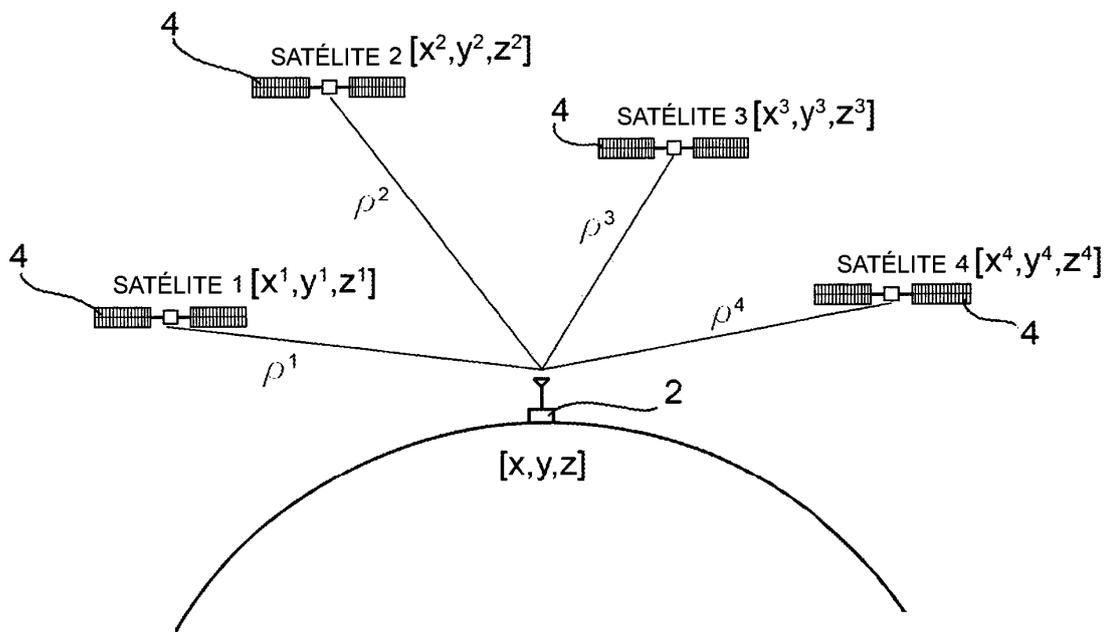


FIG. 3

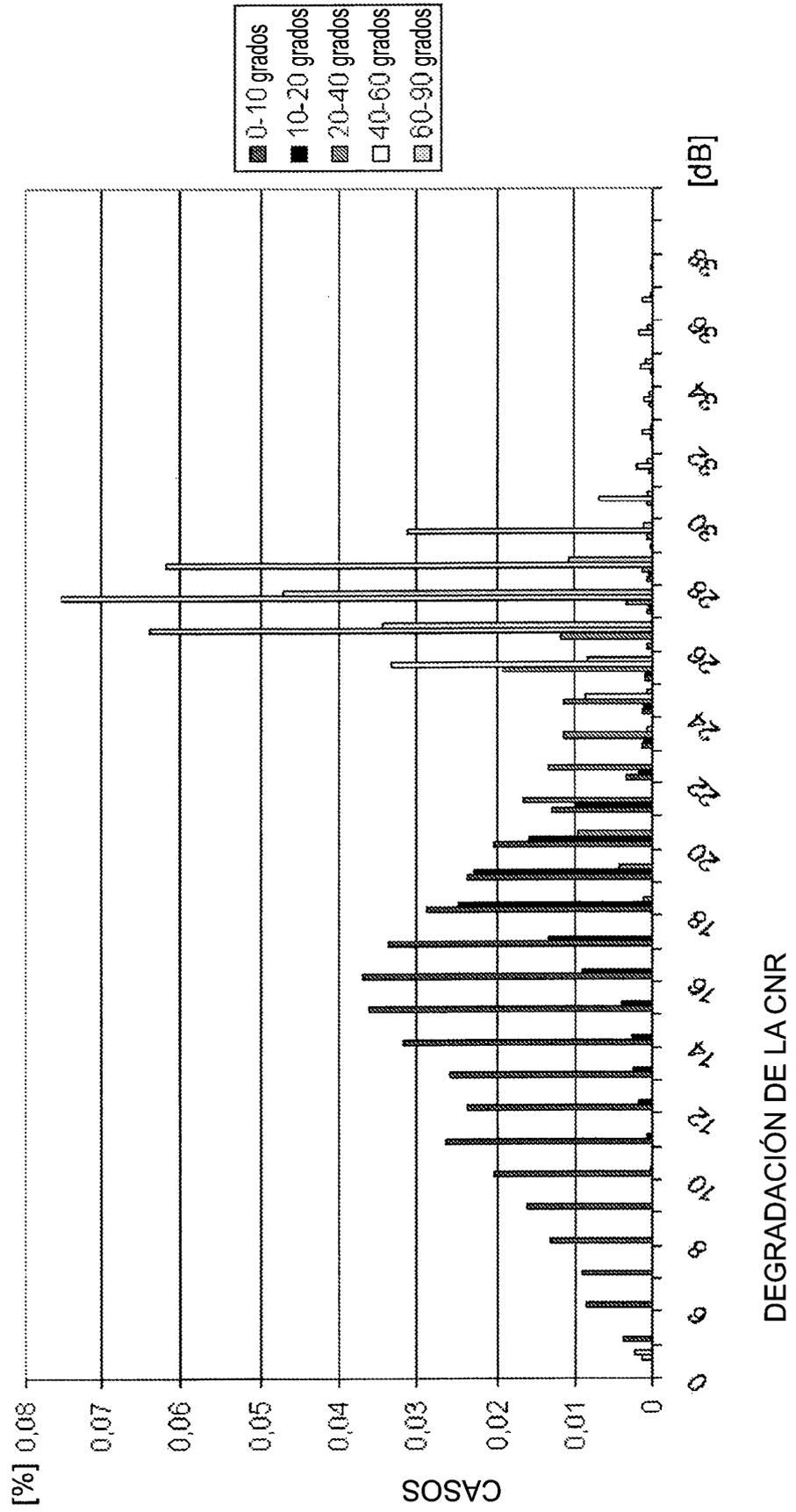


FIG. 4

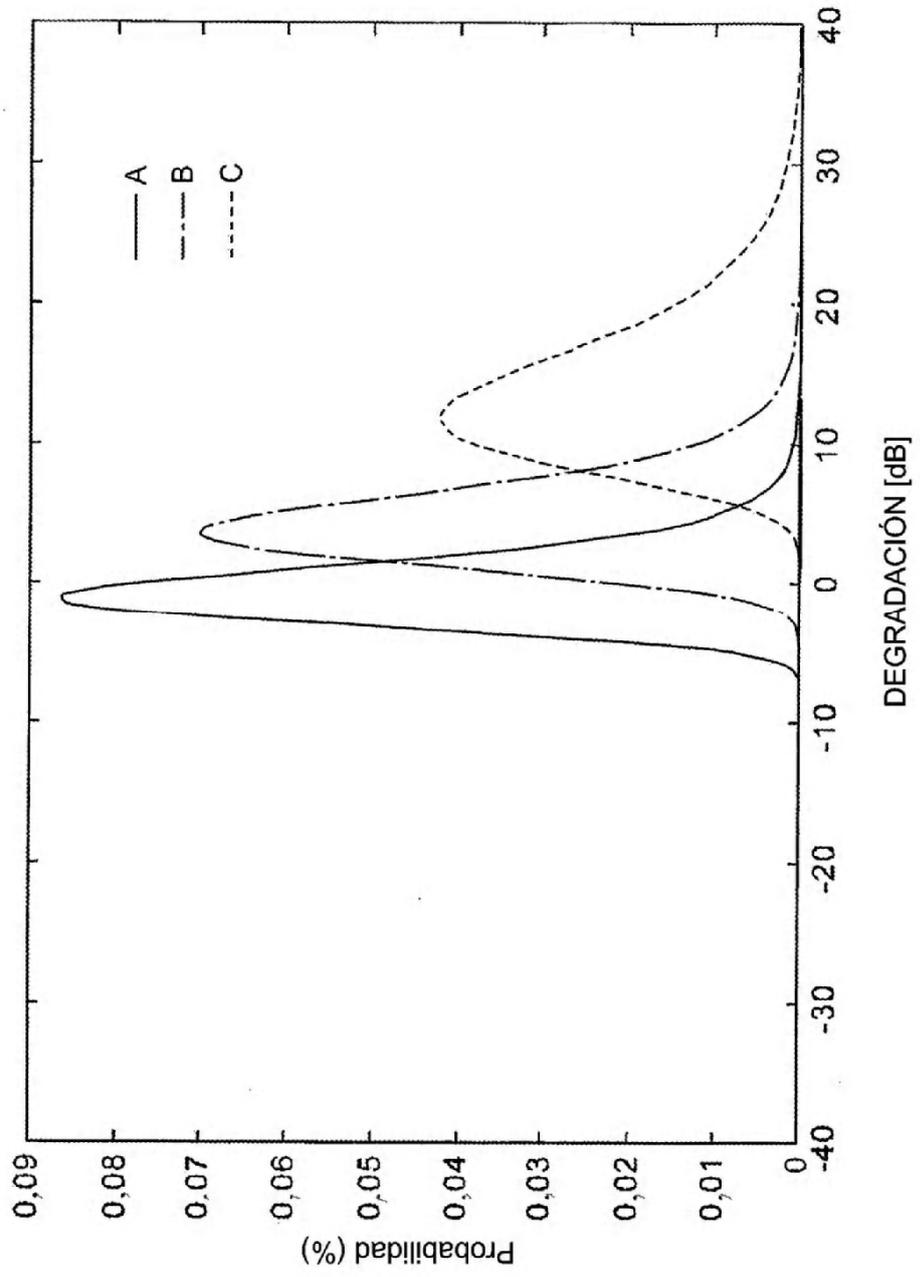


FIG. 5

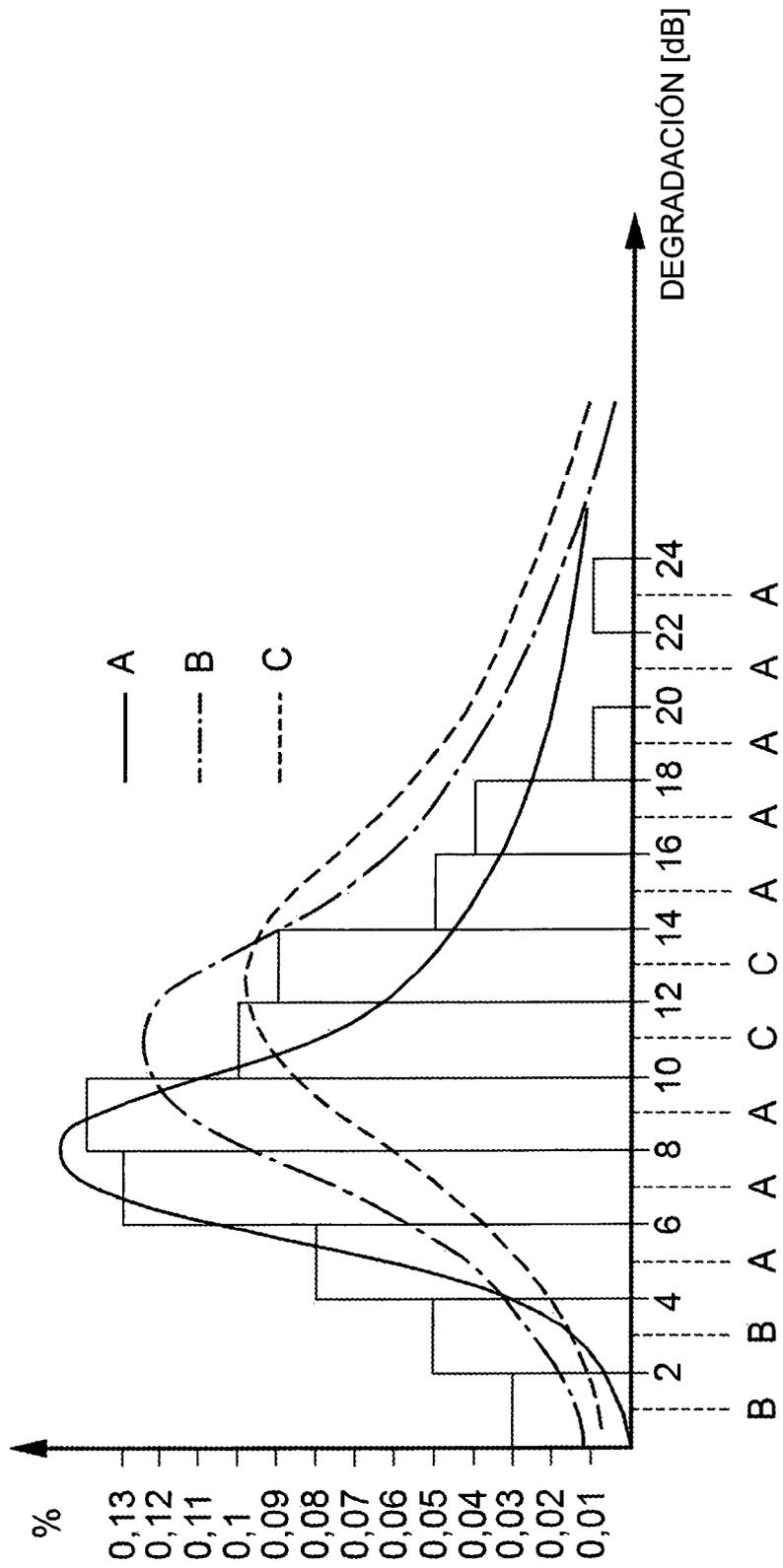


FIG. 6

	CNR<17dB	17<=CNR<21dB	CNR=21dB	22<=CNR<24dB	CNR=24dB	CNR=25dB	26<=CNR<30dB	CNR>=30dB
0-10 grados	1,0/2000	1,0/1200	1,0/1000	1,0/1000	1,0/1000	1,0/1000	1,0/1000	1,0/1000
10-20 grados	1,0/1900	1,0/2100	1,0/1900	1,0/1500	1,0/1900	1,0/1900	1,0/1900	1,0/1900
20-40 grados	0,0	1,0/150	1,0/150	1,0/150	1,0/100	1,0/150	1,0/250	0,0
40-60 grados	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0/250	1,0/450	1,0/250	1,0/500
60-90 grados	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0/250	1,0/200	1,0/250	1,0/500

FIG. 7

	Sin ponderación		Ponderación conocida		Estimación de la posición mejorada	
	Media [m]	Varianza [m ²]	Media [m]	Varianza [m ²]	Media [m]	Varianza [m ²]
Error Este:	3,355434	72,43606	3,681388	30,03144	2,865134	20,74419
Error Norte:	-1,67571	212,1758	-1,07535	97,30971	1,389936	68,18075
Error Altitud:	42,91204	280,1023	41,87515	172,7288	37,81853	178,426