

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 713 148**

51 Int. Cl.:

G01S 19/24 (2010.01)

G01W 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.03.2015 PCT/EP2015/056795**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.10.2015 WO15144914**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2015 E 15712637 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.01.2019 EP 3123201**

54 Título: **Método y aparato para procesar señales de radionavegación para la monitorización atmosférica**

30 Prioridad:

28.03.2014 EP 14162381

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

20.05.2019

73 Titular/es:

**THE EUROPEAN UNION, REPRESENTED BY THE
EUROPEAN COMMISSION (100.0%)
200, rue de la Loi
1049 Brussels, BE**

72 Inventor/es:

**CURRAN, JAMES, T.;
BAVARO, MICHELE y
FORTUNY-GUASCH, JOAQUIM**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 713 148 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

Método y aparato para procesar señales de radionavegación para la monitorización atmosférica

Campo técnico

5 La presente invención se relaciona con la medición de la atmósfera usando receptores en tierra del sistema de navegación por satélite global y en concreto con la medición de estadísticas que pertenecen a la ionosfera y a la actividad ionosférica.

Antecedentes

10 Las señales de radio en el espacio se usan de manera extensiva para la monitorización atmosférica. Ya que estas señales se propagan desde sus transmisores en el espacio hasta la tierra, la atmósfera induce desplazamientos de fase, retardos de grupo, y variaciones de amplitud. Un receptor que procesa estas señales de una manera apropiada puede extraer una estimación de estas variaciones de fase, retardo y amplitud y puede, a su vez, inferir alguna información sobre la atmósfera. Las señales del Sistema de Navegación por Satélite Global (GNSS) son ampliamente usadas para este propósito, debido a tanto su abundancia, su cobertura mundial, como el hecho de que se transmiten a más de una frecuencia. La ionosfera y la troposfera se monitorizan usando estas señales ya que
15 ambas inducen unos cambios en la velocidad y dirección de propagación a las señales transmitidas en la banda L.

Para medir estos efectos, se emplean receptores GNSS. Estos receptores siguen la frecuencia y la fase de la portadora y el código de intervalo modulado de estas señales y producen mediciones de la potencia de la señal, la fase de la portadora y el retardo del código de intervalo. Estos valores, de aquí en adelante referidos como mediciones de la señal en bruto, se usan después para calcular diversas propiedades relacionadas con la propagación de la señal a través de la atmósfera, de aquí en adelante serán referidos como mediciones atmosféricas. De manera convencional, para producir estas mediciones de la señal en bruto el receptor realiza un seguimiento de bucle cerrado de los parámetros de interés, y los sistemas típicos incluyen el uso de un Bucle de Bloqueo de Retardo (DLL) para el código de intervalo y un Bucle de Bloqueo de Fase (PLL) para la portadora. Aunque hay disponibles muchos otros sistemas, en general, los receptores se basan en algún tipo de mecanismo recursivo de retroalimentación/alimentación hacia delante para producir las mediciones de la señal en bruto.
20

El cálculo de las mediciones atmosféricas es dependiente de tanto la disponibilidad como la calidad de las mediciones de la señal en bruto. Por tanto, cuando los algoritmos de seguimiento del receptor experimentan alguna dificultad para seguir de manera precisa los parámetros de la señal, se reduce la calidad de las mediciones atmosféricas resultantes. La implementación concreta del algoritmo de seguimiento tiene también un impacto sobre las mediciones atmosféricas resultantes; por ejemplo, los efectos del filtrado o los errores de transición dentro de los algoritmos de seguimiento pueden producir artefactos en las mediciones atmosféricas.
25

Las anomalías atmosféricas (por ejemplo, el centelleo ionosférico) pueden producir dificultades para el algoritmo de seguimiento del receptor, y cuando se usa un receptor para medir esta anomalía se pueden degradar de manera significativa la calidad de las mediciones atmosféricas, debido a bien la calidad degradada de las mediciones de la señal en bruto o debido a su indisponibilidad, cuando fallan los algoritmos de seguimiento. Muchas técnicas usadas para mejorar la robustez del seguimiento del receptor y la disponibilidad de la medición, tales como los tiempos de integración extendidos y los anchos de banda de seguimiento reducidos, contribuyen también a la degradación de las mediciones de la señal en bruto, y por último, resultan en artefactos en las mediciones atmosféricas.
30

La generación de ciertas mediciones atmosféricas que incluyen, por ejemplo, la medición ionosférica conocida como la sigma-phi (σ_ϕ), necesita un filtrado de las mediciones de la señal en bruto. Esta etapa de filtrado, a menudo conocida como de eliminación de tendencia, tiene un tiempo de convergencia significativamente largo. Cuando se produce una indisponibilidad intermitente de la señal en bruto, la indisponibilidad resultante de las mediciones atmosféricas puede ser mucho más larga.
35

Una debilidad en los enfoques contemporáneos es la etapa de estimación. Los parámetros de la señal en bruto son estimados o seguidos por el receptor antes de ser usados para calcular las mediciones atmosféricas. Esta etapa de seguimiento es problemática cuando imperan unas condiciones no ideales. Los inconvenientes de los sistemas convencionales se discutirán en relación con las Fig. 1 y 2 (TÉCNICA ANTERIOR), a la vez que se abordan algunos factores técnicos.
40

Normalmente la señal GNSS recibida en la antena de un receptor en tierra se modela como:

$$r(t) = \sum_{i \in S_{\text{señ}}} s^i(t) + n(t)$$

$$s^i(t) = \sqrt{2P_i(t)} d_i(t - \tau_i(t)) c_i(t - \tau_i(t)) \text{sen}(\omega_i t + \theta_i(t)), \quad (1)$$

45

Donde $S_{\text{señ}}$ es el conjunto de señales satelitales en vista, $s^i(t)$ denota la i -ésima señal recibida desde los satélites visibles y $n(t)$ denota el ruido térmico aditivo. Los diversos parámetros en la Ec. (1) representan las siguientes propiedades de la señal: P_i es la potencia de señal recibida total en vatios; ω_i es la frecuencia portadora RF nominal en unidades de rad/s; $d_i(t)$ representa la señal de datos bipodal o el código secundario; $c_i(t)$ es la secuencia de difusión de la señal y la sub portadora; $\theta_i(t)$ es el proceso de fase total recibida que incluye los retardos de propagación, las dinámicas satélite-a-usuario; los efectos atmosféricos y los efectos del reloj del satélite; el proceso $\tau_i(t)$ representa el retardo total observado en el receptor, incluyendo el retardo de propagación, los efectos del reloj del satélite y los retardos atmosféricos.

En concreto, el término de fase de la portadora, $\theta_i(t)$ en la Ec. (1) representa un número de procesos de fase distintos. Matemáticamente, se puede representar como la combinación lineal:

$$\theta_i(t) = \theta_0 + \theta_{\text{LOS}}(t) + \theta_{\text{SV RJL}}(t) + \theta_{\text{Atm.}}(t), \quad (2)$$

Donde θ_0 representa alguna fase inicial arbitraria, $\theta_{\text{LOS}}(t)$ representa el proceso de fase inducido por la geometría/dinámicas de la línea de visión entre el satélite y el receptor; $\theta_{\text{SV RJL}}(t)$ representa el proceso de fase inducido por los errores en el reloj del satélite, y $\theta_{\text{Atm.}}(t)$ representa el proceso de fase inducido por la atmósfera a través de la cual se propaga la señal.

La FIG. 1 (TÉCNICA ANTERIOR) es un diagrama de bloques del Filtro 102-1 Adaptado Digital de un receptor convencional, que ilustra cómo la estimación local de la fase de la portadora ($\hat{\theta}_i$) y el retardo del código de intervalo ($\hat{\tau}_i$) se usan para generar los valores de correlador $Y_i[n]$.

Un receptor GNSS implementará, generalmente, una conversión descendente de la señal RF recibida a una IF cero o no cero y posteriormente muestrea la señal. Estas muestras (r) de la señal son procesadas después por un Filtro 102-1 Adaptado Digital (DMF) que implementa la siguiente operación:

$$Y_i[n] = \frac{1}{T_I} \sum_{m=n\frac{T_I}{T_s}}^{(n+1)\frac{T_I}{T_s}-1} r(mT_s) c_i(\hat{\tau}_i(mT_s)) e^{-j(\omega_i(mT_s) + \hat{\theta}_i(mT_s))}, \quad (3)$$

donde las variables $\hat{\tau}_i$ y $\hat{\theta}_i$ son las estimaciones del receptor de las variables τ_i y θ_i , tal como se definen en la Ec. (1), y el término $Y_i[n]$ es conocido como el valor correlador.

La operación descrita por la Ec. (3) se implementa en el receptor en su algoritmo de seguimiento como parte de los bucles de seguimiento de la fase de la portadora y de la fase del código de intervalo.

La FIG. 2 (TÉCNICA ANTERIOR) es un diagrama de bloques de una arquitectura de seguimiento de bucle cerrado que describe un bucle para tanto un bucle 104 de seguimiento de la portadora como un seguimiento 106 del código de intervalo. Como se apreciará por las personas expertas en la técnica, un banco 102 DMF incorpora una pluralidad de casos 102-1, 102-2, 102-3 (esto es, uno por canal, aquí, sólo se muestran tres).

Una implementación típica sigue al diagrama de bloques presentado en la FIG. 2, mediante el cual los valores de correlador, $Y_i[n]$, son procesados por el bloque 104 de seguimiento de la portadora y el bloque 106 de seguimiento del código de intervalo para producir estimaciones de los parámetros de señal $\hat{\tau}_i(mT_s)$ y $\hat{\theta}_i(mT_s)$, que, a su vez, se usan para generar el siguiente conjunto de valores de correlador $Y_i[n]$.

Los algoritmos concretos que se usan para estimar las propiedades y atributos de la atmósfera a través de la cuales se han propagado las señales GNSS se implementan en el bloque titulado 'Algoritmos de Monitorización Atmosférica' 108. Estos algoritmos operan en las siguientes cantidades: $Y_i[n]$, como generado por el DMF 102 y $\hat{\tau}_i$ y $\hat{\theta}_i$ que son estimados por los algoritmos de seguimiento. El rendimiento de los algoritmos de monitorización está directamente influenciado por la calidad de las mediciones de la señal en bruto y por tanto el correcto funcionamiento de ambos algoritmos de seguimiento de la portadora y del código de intervalo es crucial para los receptores de monitorización atmosférica. Un problema es que bajo altas variaciones en las condiciones de la actividad atmosférica en el canal de propagación el desempeño de estos algoritmos de seguimiento puede ser pobre o fallar.

YORK J ET AL: "Desarrollo de un Prototipo de Receptor de Tierra Ionosférico Texas (TIGR)", ITM 2012 – ACTAS DE LA REUNIÓN TÉCNICA INTERNACIONAL DE 2012 DEL INSTITUO DE NAVEGACIÓN, EL INSTITUTO DE NAVEGACIÓN, 8551 RIXLEW LANE SUITE 360 MANASSAS, VA 20109, EE.UU., 1 de Febrero del 2012 (01-02-2012), páginas 1526-1556, XP056000936, describe un receptor software diseñado para hacer mediciones de la ionosfera a partir de las señales de satélite, los datos RF se muestrean de manera directa a través de un ADC de

dos Giga muestras/s y se pasan a una FPGA, donde se filtra digitalmente, y se muestrea de manera descendente en tres bandas sintonizables, cada una con un ancho de banda de 20MHz. Se pasa un flujo de datos digitales reducido a una segunda FPGA, donde los canales individuales se filtran en múltiples bandas de señal estrechas, centradas en la frecuencia de la señal de satélite ajustada para compensar el desplazamiento Doppler predicho. La estimación de la fase y amplitud de la señal en estos datos se logra mediante el uso de un software a bordo ejecutado en una CPU de propósito general.

LULICJ T D ET AL: "Seguimiento de Bucle Abierto de Señales de Ocultación Radio desde una plataforma aerotransportada", GNSS 2010 – ACTAS DE LA 23 REUNIÓN TÉCNICA INTERNACIONAL DE LA DIVISIÓN DE SATÉLITES DEL INSTITUTO DE NAVEGACIÓN (ION GNSS 2010), EL INSTITUTO DE NAVEGACIÓN, 8551 RIXLEW LANE SUITE 360 MANASSAS, VA 20109, EE.UU., 24 de Septiembre del 2010 (24-09-2010), páginas 1049-1060, XP056000217, describe la ocultación radio (RO) basada en la técnica de detección remota que usa señales del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para determinar la densidad de electrones en la ionosfera, usando un método de seguimiento por bucle abierto (OL) que emplea una estimación de la frecuencia Doppler basada en modelo y un registro de los bits de datos del GPS.

G. BEYERLE ET AL: "Observaciones y simulaciones de sesgos de refractividad inducidos por el receptor en la ocultación de radio por GPS", DIARIO DE INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA, vol. 111, n° D12, 1 de Enero del 2006 (01-01-2006), XP055158431, ISSN: 0148-0227, DOI: 10.1029/2005J D006673 describe las observaciones y simulaciones de sesgos de refractividad inducidos por el receptor en la ocultación de radio por GPS.

NIU F ET AL: "Métodos de eliminación de la tendencia de la fase de Portadora en GPS y Actuaciones para los Estudios del centelleo de la Ionosfera", ITM 2012 – ACTAS DE LA REUNIÓN TÉCNICA INTERNACIONAL DE 2012 DEL INSTITUTO DE NAVEGACIÓN, EL INSTITUTO DE NAVEGACIÓN, 8551 RIXLEW LANE SUITE 360 MANASSAS, VA 20109, EE.UU., 1 de Febrero del 2012 (01-02-2012), páginas 1462-1467, XP056000934, describe los métodos de eliminación de la tendencia de fase de portadora del GPS y las actuaciones para los estudios del centelleo de la ionosfera. La eliminación de tendencia hace uso de un filtro Butterworth de 6° orden.

La presente invención busca además producir mediciones atmosféricas derivadas de las mediciones de la señal en bruto de las señales de radionavegación (por ejemplo, GNSS) que son generadas de una manera puramente de bucle abierto.

La presente invención busca generar las mediciones atmosféricas incluso en circunstancias de mediciones de señal en bruto de pobre calidad y/o de gran actividad atmosférica.

30 **Compendio de la invención**

Según un aspecto de la invención se proporciona un sistema de medición para generar mediciones atmosféricas basadas en al menos una señal de radionavegación de un transmisor de satélite de un sistema de radionavegación, comprendiendo el sistema de medición: un módulo de adquisición de datos, un módulo demodulador y un módulo de algoritmos de monitorización atmosférica dispuestos en una configuración de bucle abierto; en donde el módulo de adquisición de datos incluye un reloj de referencia, estando el módulo de adquisición de datos adaptado para recibir dicha señal de radionavegación y generar una pluralidad de muestras (r) de IF, teniendo cada muestra una etiqueta de tiempo asociada (TOW) derivada desde dicho reloj de referencia; en donde el módulo demodulador se adapta para recibir dichas muestras (r) de IF y asociar etiquetas de tiempo (TOW) y de manera auxiliar relacionar los datos a dicho sistema de satélite, y se adapta para generar valores (Y_i) de correlador del mismo; y en donde el módulo de algoritmo de monitorización atmosférico se adapta para recibir dichos valores (Y_i) de correlador y generar a partir de los mismos las mediciones de centelleo de fase tal como se define en las reivindicaciones adjuntas 1 y 2.

El módulo de adquisición de datos se puede adaptar para emitir dicha muestra (r) de IF como una muestra (r) de IF etiquetada, comprendiendo cada muestra (r) de IF etiquetada una muestra (r) de IF etiquetada con una respectiva etiqueta de tiempo (TOW).

El módulo demodulador se puede adaptar para recibir dichas muestras (r) de IF, a través de las cuales cada valor (Y_i) de correlador generado por el módulo (32) demodulador se asocia con una respectiva etiqueta de tiempo (TOW).

El módulo de adquisición de datos puede comprender un conversor analógico a digital (ADC) para generar las muestras (r) de IF, estando el ADC acoplado al reloj (418) de referencia y generando las muestras (r) de IF bajo la temporización de este.

El módulo de adquisición de datos puede comprender un módulo de etiquetado de tiempo adaptado para emitir dichas etiquetas de tiempo (TOW) de manera síncrona con las respectivas muestras (r) de IF.

El módulo de adquisición de datos puede comprender un módulo de etiquetado de tiempo acoplado al reloj de referencia, estando el módulo de etiquetado de tiempo adaptado para funcionar como un contador local que representa el tiempo local, siendo el contador local incrementado según se genera cada muestra (r) de IF.

El módulo de adquisición de datos puede comprender un conversor descendente adaptado para generar las señales

de IF analógicas a partir de las señales de radionavegación, funcionando el conversor descendente en base a una señal de conversión derivada desde la salida del reloj de referencia.

El módulo de adquisición de datos puede comprender un PLL acoplado para recibir la salida del reloj de referencia, en donde el PLL lleva un VCO que proporciona la señal de conversión al conversor descendente.

- 5 El reloj de referencia puede tener un grado de alineamiento con una trama de tiempo de la señal de radionavegación de menos de una décima parte del periodo de un chip de código de intervalo de la señal de radionavegación.
- El reloj de referencia puede tener un grado de alineamiento con una trama de tiempo de la señal de radionavegación de manera tal que se pueda usar para propagar una estimación de tiempo, para la generación de etiquetas de tiempo, con una precisión de aproximadamente 1 nanosegundo.
- 10 El reloj de referencia se puede adaptar para propagarse desde un punto de sincronización inicial, correspondiente a una etiqueta de tiempo inicial, hacia delante en el tiempo.
- En una realización, el reloj de referencia comprende un reloj perfectamente modelado, en donde dichas etiquetas de tiempo se derivan de las señales de tiempo propagadas desde un punto de sincronización de señal en el pasado usando un periodo de muestreo predeterminado.
- 15 En otra realización, el reloj de referencia comprende un oscilador disciplinado, incluyendo el oscilador disciplinado un oscilador interno y estando adaptado para recibir una señal de reloj de control de un estándar de frecuencia externo. El sistema se puede hacer funcionar en una fase de iniciación y una fase de adquisición de datos, en donde el reloj de referencia se puede hacer funcionar de manera tal que el control del oscilador disciplinado esté activo durante la fase de iniciación y deshabilitado durante la fase de adquisición de datos. El estándar de frecuencia externo puede estar proporcionado por una de entre una señal GNSS y una señal del Oscilador Disciplinado GPS (GPSDO).
- 20 En otra realización, el reloj de referencia comprende un reloj de funcionamiento libre sobre el que se realiza el modelado en vivo de sus parámetros desconocidos usando un algoritmo de estimación de reloj. El reloj de referencia se puede hacer funcionar para medir los parámetros de reloj estimados, y propagar de manera precisa las etiquetas de tiempo desde un punto de sincronización inicial basado en los parámetros de reloj estimados. Los parámetros de reloj estimados se pueden medir a partir de las señales de radionavegación de un primer conjunto de transmisores en satélite y en donde la señal o señales de radionavegación recibidas por dicho módulo de adquisición de datos son de uno o más transmisores de satélite, de un segundo conjunto de transmisores de satélite.
- 25 Los datos auxiliares pueden incluir un parámetro (Rec.) relacionado con el receptor, representando el parámetro relacionado con el receptor una trayectoria continua a trozos de la antena del receptor en una trama fija de tierra, centrada en la tierra.
- 30 Los datos auxiliares pueden incluir los parámetros (S.V.) orbitales de un satélite en el cual se monta el transmisor. Los parámetros (S.V.) orbitales pueden comprender efemérides de difusión. Las efemérides de difusión pueden comprender las efemérides GNSS o las efemérides precisas.
- Los datos auxiliares pueden incluir la información (ATM) de efemérides.
- 35 El módulo demodulador puede incluir un modelo de receptor de usuario para recibir una etiqueta de tiempo (TOW) y el parámetro (Rec.) relacionado del receptor, y para emitir el retardo (δt_{RX}) de tiempo relacionado con el receptor.
- El módulo demodulador puede incluir un modelo (506) de vehículo en el espacio, estando el modelo de vehículo en el espacio adaptado para recibir una etiqueta de tiempo (TOW) y los parámetros (S.V.) orbitales, y para generar un retardo (δt_{SV}) de tiempo relacionado con el vehículo en el espacio.
- 40 El módulo demodulador puede incluir un modelo atmosférico, estando el modelo atmosférico adaptado para recibir la etiqueta de tiempo (TOW), el retardo (δt_{RX}) de tiempo relacionado al receptor, el retardo (δt_{SV}) de tiempo relacionado con el vehículo en el espacio y la información (Atm.) de efeméride y emitir un diferencial (δt_A) de tiempo relacionado con la atmósfera.
- 45 El módulo demodulador se adapta para genera una primera suma que comprende la suma del diferencial (δt_{RX}) de tiempo relacionado con el receptor y el diferencial (δt_{SV}) de tiempo relacionado con el vehículo en el espacio, y para generar una segunda suma que comprende la suma de la primera suma y del diferencial (δt_A) de tiempo relacionado con la atmósfera para generar un retardo (t_{SIG}) de tiempo relacionado con la señal.
- El módulo demodulador puede incluir además un MCO de código y portadora, adaptado para recibir el retardo (t_{SIG}) de la señal. y para generar una estimación (\hat{S}_i) para la entrada a un DMF.
- 50 El módulo de algoritmos de monitorización atmosférica puede incluir un algoritmo de reconstrucción del proceso de fase, comprendiendo el algoritmo de reconstrucción del proceso de fase:

- des voltear los valores actuales (Y_i) de correlador por la anterior estimación de fase;
- estimar la fase (ϕ) residual usando un discriminador; y
- calcular la fase (θ) actual como la suma de la fase anterior y la fase (ϕ) residual actual.

5 El módulo de algoritmo de monitorización atmosférica puede incluir un algoritmo de proceso de diferencia de fase, siendo posible hacer funcionar el algoritmo de proceso de diferencia de fase para reconstruir la diferencia de fase usando

$$\Delta [n] = \begin{cases} \text{atan2}(\text{Cruz}, \text{Punto}) & \text{si son datos conocidos} \\ \text{atan}\left(\frac{\text{Cruz}}{\text{Punto}}\right) & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$\text{Punto} = \Re \{Y [n]\} \Re \{Y [n - 1]\} + \Im \{Y [n]\} \Im \{Y [n - 1]\}$$

$$\text{Cruz} = \Im \{Y [n]\} \Re \{Y [n - 1]\} - \Re \{Y [n]\} \Im \{Y [n - 1]\}$$

En una realización, en donde σ_ϕ se puede calcular a partir de los valores $\Delta [n]$ usando un filtro dado por

$$H(z) = \frac{C(z)}{A(z)} = \frac{\sum_{i=0}^5 c_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^6 a_i z^{-i}}$$

10 para generar valores para ϕ .

En una realización, σ_ϕ se obtiene de σ_ϕ^2 usando la función

$$\langle \phi^2 \rangle_T - \langle \phi \rangle_T^2$$

15 Según otro aspecto de la invención se proporciona un método de medición para generar mediciones atmosféricas basadas en al menos una señal de radionavegación de un transmisor de satélite de un sistema de radionavegación, comprendiendo el método: proporcionar un módulo de adquisición de datos, un módulo demodulador y un módulo de algoritmos de monitorización atmosférica dispuestos en una configuración de bucle abierto, en donde el módulo de adquisición de datos incluye un reloj de referencia; recibir, usando el módulo de adquisición de datos, dicha señal de radionavegación y generar a partir de la misma una pluralidad de muestras (r) de IF, teniendo cada muestra una etiqueta de tiempo (TOW) asociada derivada de dicho reloj de referencia; recibir, usando el módulo demodulador, dichas muestras (r) de IF y las etiquetas de tiempo (TOW) asociadas y los datos auxiliares relacionados con dicho sistema de satélite, y generar los valores (Y_i) de correlador del mismo; y recibir, usando el módulo de algoritmo de monitorización atmosférica, dichos valores (Y_i) de correlador y generar a partir de ellos las mediciones de centelleo de fase tal como se define en las reivindicaciones adjuntas 12 y 13.

25 Según otro aspecto de la invención se proporciona un medio registrable, regrabable o almacenable que tenga registrado o almacenado en éste los datos que definen o que se pueden transformar en instrucciones para su ejecución por la circuitería de procesamiento y que corresponden a al menos los pasos de la reivindicación 32 de las reivindicaciones adjuntas.

30 Según otro aspecto de la invención se proporciona un ordenador servidor que incorpora un dispositivo de comunicaciones y un dispositivo de memoria y que se adapta para la transmisión bajo demanda o de cualquier otra forma de los datos que definen o se pueden transformar en instrucciones para su ejecución por la circuitería de procesamiento y que corresponden a al menos los pasos de la reivindicación 32 de las reivindicaciones adjuntas.

Una ventaja es que mediante el uso apropiado de alguna información de ayuda relacionada al tiempo y la posición del receptor, y modificando el método de cálculo de las mediciones atmosféricas, la etapa de seguimiento se puede evitar por completo, produciendo así un sistema de monitorización más robusto.

35 Una ventaja adicional es que, operando en un modo de bucle abierto y evitando la necesidad de una estimación de fase continua y completa, las realizaciones de la invención proporcionan resistencia a los ambientes de señales débiles, un seguimiento robusto bajo una muy severa actividad ionosférica, y una mayor disponibilidad de mediciones que con las arquitecturas tradicionales de receptor.

Breve descripción de los dibujos

40 Las realizaciones de la invención se describirán ahora a modo de ejemplo en referencia a los dibujos adjuntos, en

los que:

La FIG. 1 (TÉCNICA ANTERIOR) es un diagrama de bloques del Filtro 102-1 Emparejado Digital de un receptor convencional, que ilustra cómo se usan las estimaciones locales de la fase ($\hat{\theta}_i$) de portadora y del retardo ($\hat{\tau}_i$) de del código de intervalo para generar los valores $Y_i[n]$ de correlador;

5 La FIG. 2 (TÉCNICA ANTERIOR) es un diagrama de bloques de una arquitectura de seguimiento de bucle cerrado típica que representa un bucle para tanto un bucle 104 de seguimiento de portadora como un seguimiento 106 del código de intervalo;

La FIG. 3 es un diagrama de bloques de la arquitectura de sistema del sistema de medición según una realización de la invención;

10 La FIG. 4 es un diagrama de bloques del módulo 31 de adquisición de datos de la Fig. 3;

La FIG. 5 es un diagrama de bloques del módulo 32 de demodulación de bucle abierto de la Fig. 3;

La FIG. 6 es un diagrama de bloques del proceso, llevado a cabo en el módulo 33 AMA de la Fig. 3, de cálculo del valor de S_4 dada una serie de valores de correlador, Y_i ;

15 La FIG. 7 es un diagrama de bloques del proceso, llevado a cabo en el módulo 33 AMA de la Fig. 3, de cálculo del valor de σ_ϕ dada una serie de estimaciones de fase, $\hat{\theta}_i$;

La FIG. 8 es un diagrama de bloques del proceso, llevado a cabo en el módulo 33 AMA de la Fig. 3, de reconstrucción de fase a partir de los valores de correlador, Y_i , que calculan la fase actual;

La FIG. 9 es un diagrama de bloques del proceso, llevado a cabo en el módulo 33 AMA de la Fig. 3, de cálculo del valor de σ_ϕ dada una serie de estimaciones de diferencia de fase de correlador, Δ ;

20 La FIG. 10 es una trama de S_4 en el tiempo calculada mediante tanto el Método 1 como el Método 2, usando el algoritmo representado en la FIG. 6, y comparada con un valor de referencia proporcionado por un receptor de monitorización atmosférica comercial; y

25 La FIG. 11 es una trama de σ_ϕ en el tiempo calculada mediante tanto el Método 1 como el Método 2, llevada a cabo en el módulo 33 AMA de la Fig. 3, usando los algoritmos representados en la FIG. 7 y la FIG. 9, y comparado con un valor de referencia proporcionado por un receptor de monitorización atmosférica comercial.

Descripción detallada de las realizaciones

La Fig. 3 es un diagrama de bloques de la arquitectura de sistema del sistema de medición según una realización de la invención;

30 La arquitectura de sistema se puede organizar en tres bloques principales: la Adquisición 31 de Datos (DAQ), el Demodulador 32 de Bucle Abierto (OLD) y los Algoritmos 33 de Monitorización Atmosférica (AMA).

35 Para superar los problemas y desventajas asociados con las arquitecturas de seguimiento de bucle cerrado de alimentación hacia delante o de retroalimentación en los receptores GNSS, las realizaciones de la presente invención utilizan una arquitectura de bucle abierto. Una realización de la invención se compone, como se representa en la FIG. 3, de los siguientes componentes: un módulo 31 de adquisición de datos (DAQ), un demodulador 32 de bucle abierto (OLD) y un módulo 33 de algoritmos de monitorización atmosférica (AMA) que incorporan un conjunto de algoritmos de monitorización atmosférica. Como se discutirá en más detalle más adelante, el módulo 31 DAQ recibe las señales (por ejemplo GNSS) en bruto y emite muestras (r) de IF, teniendo cada una asociada una etiqueta de tiempo (TOW). El demodulador 32 recibe la r y la TOW y, en base a estos y a los datos auxiliares (generalmente designados 35), genera los valores Y_i de correlador, que se emiten al módulo 33 AMA.

40 La FIG. 4 es un diagrama de bloques del módulo 31 de adquisición de datos de la Fig. 3.

45 El módulo 33 DAQ, representado en la FIG. 4, realiza las tareas de adquisición de las muestras (r) de frecuencia intermedia para una o más bandas GNSS desde la antena 402. Las señales recibidas en la antena 402 son amplificadas por un amplificador 404 de bajo ruido (LNA), pasadas a través de un filtro 406 RF de paso banda y un amplificador 408 adicional, hasta un convertor 410 descendente, que las convierte a IF. Las señales IF emitidas desde el convertor 410 descendente se someten a una amplificación adicional en el bloque 412 de ganancia, y se pasan a través de un filtro 414 IF paso banda, antes de ser convertidas en muestras (r) digitales (de IF) en el ADC 416. Se usa un reloj 418 preciso para realizar la conversión descendente y digitalizar las muestras de manera tal que se proporcione una etiqueta de tiempo que se alinee de manera precisa con UTC o un sistema de tiempo GNSS, denotado aquí como TOW 420, para cada muestra r de IF. La señal 422 de reloj del reloj 418 de referencia se suministra al PLL 424, que forma un bucle con el VCO 426, siendo la salida 426 del VCO aplicada al convertor 410

descendente para la generación de las señales de IF. (Como será apreciado por las personas expertas en la técnica, si los datos de IF se pueden transmitir directamente al módulo 32 OLD (Fig. 3) para su procesamiento en tiempo real o se pueden transmitir a un disco de almacenamiento para su procesamiento posterior). Una característica clave de la DAQ es el reloj 418 de referencia. Preferiblemente, el reloj 418 de referencia se sincroniza de manera precisa con UTC o un sistema de tiempo concreto de GNSS o es bien conocida su compensación. Sin embargo, en las realizaciones preferidas, es necesario que el reloj 418 de referencia no sea controlado directamente desde el sistema GNSS durante la adquisición de datos, ya que esto violaría el principio de bucle abierto sobre el cual funcionan las realizaciones del sistema. Las realizaciones concretas del reloj 418 de referencia de la DAQ 31 se discutirá con más detalle más adelante.

Volviendo a la Fig. 3, el módulo 32 OLD acepta como entradas las muestras r de IF y las etiquetas de tiempo asociadas, (TOW y r) de la DAQ 31, y también la información 35 auxiliar; en la presente realización, esto último incluye las efemérides satelitales, la información de posición del receptor y la información atmosférica, respectivamente denotadas como S.V., Rec. y Atm. en la FIG. 3, aunque una, algunas o todas estas se pueden usar. Preferiblemente, para cada muestra de r , la TOW correspondiente se usa en conjunción con la información 35

S.V., Rec. y Atm. para predecir los valores de los parámetros de señal recibidos, denotados como \hat{r}_i y $\hat{\theta}_i$. Esencialmente, esta información se puede usar para predecir el canal de propagación consistente en el rango geométrico, el efecto relativista, cualquier efecto atmosférico conocido y/o determinista, el reloj del satélite y los sesgos de hardware y cualquier sesgo de receptor conocido. Estos parámetros de señal se pasan entonces a un DMF, que puede ser un DMF 102 estándar como se representa en la FIG. 1 para producir los valores de correlador, $Y[n]$. El DMF 102 realiza el borrado de portadora y de código de intervalo y después la operación de integración y descarga para producir los valores $Y[n]$ de correlador. Referente al proceso de fase descrito en la Ec. (2), los procesos $\theta_{LOS}(t)$ y $\theta_{SV,RJL}(t)$ se eliminan, dejando sólo aquellos que corresponden a los errores de atmósfera y residuales que provienen de los errores en las efemérides satelitales. Al menos se produce un valor $Y[n]$ de correlador para cada señal que se captura dentro de los datos de IF, para cada satélite visible, aunque se pueden generar valores de correlador extras, correspondientes a las compensaciones particulares en ya sea uno o ambos de entre el retardo de código de intervalo y la fase de portadora.

El módulo 33 AMA acepta como entrada los valores $Y[n]$ de correlador generados por el módulo 32 OLD y los usa para producir diversas mediciones de la atmósfera. El módulo puede implementar una variedad de algoritmos que proporcionan información sobre el estado de la atmósfera o los niveles de actividad atmosférica. En concreto, el módulo 33 AMA puede realizar la generación de mediciones que se relacionan con la actividad ionosférica, incluyendo aquellas que describen o cuantifican el centelleo. Aunque muchos receptores usan tanto los valores $Y[n]$ de correlador como una estimación de fase completa, explotando las características de los algoritmos, el módulo 33 AMA puede implementar los algoritmos de medición ionosférica estándar con sólo Y_i .

Referente a la Fig. 4, el módulo 31 DAQ incorpora la antena 402 receptora y procesa las señales GNSS RF recibidas. La salida de este bloque es un flujo etiquetado en el tiempo de manera precisa de datos GNSS digitales (r , TOW). La última es esencialmente una representación digital de la señal GNSS, como es recibida por la antena, donde cada muestra r está emparejada con una etiqueta en el tiempo TOW precisa. El tiempo se puede expresar en la trama de tiempo local (receptor) o en la trama de tiempo remota (vehículo espacial, transmisor). En cada caso, un contador local, que representa el tiempo actual, se puede incrementar según cada muestra r de la señal de IF es registrada por el conversor 416 analógico a digital. El valor de este contador se empareja con esta muestra r , que representa la etiqueta de tiempo TOW.

Preferiblemente, se usa un reloj 418 suficientemente preciso para recopilar los datos de IF y generar las etiquetas de tiempo (TOW). Más preferiblemente, para monitorizar el centelleo, el reloj 418 necesita presentar un muy bajo ruido de fase. Las realizaciones de la presente invención también imponen un segundo requisito sobre la deriva del reloj y las características de la tasa de deriva, que necesita ser suficientemente estable para ajustarse al modelo conocido durante la duración completa de la operación de adquisición de datos. El grado de alineamiento con una trama de tiempo GNSS dada que es necesaria está determinado por las características de la señal que se monitoriza y de manera nominal se toma para ser menor que una décima parte del periodo del chip de código de intervalo. Según las realizaciones, se puede emplear una implementación diferente, como se expone más adelante.

Por ejemplo, una implementación en vivo de la invención usa una interfaz GNSS y un digitalizador. Normalmente dicho sistema está compuesto de un bloque de pre condicionamiento de señal (pre amplificadores y filtros), uno o más sintetizadores y mezcladores, filtros de anti solapamiento y un Conversor Analógico a Digital (ADC). El reloj usado para sintonizar los osciladores locales debería abarcar también el ADC. Una implementación posterior a la misión involucra la transmisión de datos desde un archivo que fue capturado anteriormente con un digitalizador GNSS.

El proceso de etiquetado del tiempo de un flujo de muestras GNSS es conducido por un único reloj 418, como se representa en la FIG. 4. Es importante que este reloj esté alineado con una trama de tiempo GNSS y que se pueda usar para propagar una estimación del tiempo, para la generación de etiquetas de tiempo, con una precisión muy alta (≈ 1 - nanosegundo).

En una realización, se usa un reloj 418 perfecto (esto es, perfectamente modelado). En este caso el módulo 31 DAQ simplemente propaga el tiempo desde un punto de sincronización único en el pasado usando el periodo de muestreo predecible.

5 Otra realización implica confiar en un Oscilador Disciplinado (DO). En este caso el módulo 31 DAQ requiere que el oscilador de referencia mantenga el alineamiento durante el periodo de tiempo durante el que se adquieren los datos. Los osciladores disciplinados generalmente contienen un oscilador interno y explotan un estándar de frecuencia externo para proporcionar correcciones, o modificaciones, al oscilador interno. Una fuente común de estándar de frecuencia externo es una señal GNSS. En el caso en que el control no venga de un GNSS (esto es usando un Oscilador Disciplinado GPS (GPSDO)), se debe asegurar que el control se realiza antes de que comience el proceso de adquisición de datos. Además, se debe asegurar que el dispositivo tiene un suficientemente bueno rendimiento de retención para mantener el alineamiento a lo largo de todo el proceso de recogida de datos. Por supuesto, dicha implementación puede emplear un estándar, fuera de plataforma, GPSDO como reloj de referencia, y elegir deshabilitar la acción de control durante el periodo de adquisición de datos.

15 En otra realización, en la que se usa un reloj de funcionamiento libre, se realiza el modelado en vivo de sus parámetros desconocidos (esto es la deriva y la tasa de deriva) usando un algoritmo de estimación del reloj a medida. En esencia, esto es equivalente a la realización del párrafo anterior, en el sentido de que se usa el sistema GNSS como una referencia, contra la cual se estiman los parámetros desconocidos del reloj de referencia. Sin embargo, más que intentar modificar, o disciplinar el oscilador, los parámetros de reloj estimados simplemente se miden, y se usan para propagar de manera más precisa las etiquetas de tiempo desde un punto de sincronización inicial. Un caso especial de esto es el post procesamiento de los datos previamente adquiridos. Los datos se procesan posteriormente y una (o más) señales de satélite que parecen no estar afectadas, o sólo estar afectadas de manera leve, por la anomalía atmosférica bajo prueba se pueden utilizar para estimar los parámetros de reloj desconocidos. Observe que el conjunto de satélites usados para estimar los parámetros de reloj desconocidos y aquellos usados para monitorizar la atmósfera deben ser mutuamente exclusivos. Este enfoque se ha usado extensamente para validar los resultados en contra de los archivos de centello almacenados anteriormente en el tiempo sin usar una característica de etiquetado de tiempo precisa.

20 Las tres realizaciones anteriormente mencionadas del reloj 418 de referencia representan un medio de propagación de un punto de sincronización inicial, desde una etiqueta de tiempo inicial, hacia delante en el tiempo. En todos los casos se debe lograr esta sincronización de tiempo inicial. En las realizaciones, esto se hace procesando la salida, r , de la DAQ 31. Estas muestras se pueden procesar como se hace en un receptor GNSS típico, se aplican los algoritmos de bucle cerrado a las muestras r y se calcula una posición y tiempo fijos. Este tiempo fijo proporcionará el punto de sincronización inicial para el proceso de etiquetado de tiempo.

La FIG. 5 es un diagrama de bloques del módulo 32 de demodulación de bucle abierto de la Fig. 3.

35 El módulo 32 Demodulador de Bucle Abierto (OLD) procesa las muestras r de IF producidas por el módulo 31 DAQ para producir los valores Y_i de correlador. Las entradas necesarias al módulo 32 OLD incluyen preferiblemente: un flujo etiquetado de tiempo de manera precisa de los datos GNSS (r , TOW); dinámicas de usuario, dinámicas de vehículo espacial (incluyendo el reloj de abordaje), y los retardos atmosféricos. Observe que los retardos inducidos en el lado del receptor son modelados por/absorbidos en las etiquetas de tiempo TOW de la muestra de IF. El módulo produce como salidas los valores Y_i de correlador para cada una de las señales de satélite visibles. Un periodo de integración coherente típico es de 1 ms, sin embargo una implementación más general puede usar periodos más cortos o más largos.

40 El OLD 32, como se representa en la FIG. 5, está compuesto de dos sub bloques principales: un sintetizador 502 de señal GNSS y un DMF 102. El sintetizador reproduce las señales de satélite tal como se deberían observar en la antena 402 receptoras (Fig. 4) en la ubicación y en el tiempo específicos del usuario. Para hacer esto, la trayectoria de la antena 402 de usuario necesita ser bien cero o conocida de manera precisa. Esto se logra proporcionando la entrada, denotada como 'Rec.' en la FIG. 5, que representa una trayectoria continua a trozos de la antena 402 receptores en una trama fija de tierra, centrada en la tierra. El OLD 32 comprende de manera adecuada un modelo de receptor de usuario para recibir una etiqueta de tiempo (TOW) y la entrada Rec; y el módulo 504 receptor de usuario emite un retardo $\Delta(t)_{RX}$ de tiempo.

45 Las dinámicas de la señal del satélite se generan usando parámetros orbitales y correcciones de reloj combinadas con la referencia de tiempo precisa. Los parámetros de este modelo de trayectoria se denotan en la FIG. 5 por la variable 'S.V.'. Estos parámetros orbitales son referidos a menudo como efemérides y pueden tener la forma de un conjunto de efemérides de difusión, como son proporcionadas por el GNSS, un conjunto de así llamadas efemérides precisas de una tercera parte, o cualquier otro modelo de trayectoria adecuado. Los ejemplos típicos son los conjuntos de difusión de parámetros Keplerianos usados para GPS, Galileo y BeiDou, o las posiciones Cartesianas y el modelo de derivadas usado para GLONASS, otras opciones incluyen los modelos de efemérides precisas proporcionados por terceras partes tales como el Servicio GNSS Internacional (IGS). El OLD 32 también incluye de manera adecuada un modelo 506 de vehículo espacial; y el modelo 506 de vehículo espacial se adapta para recibir una etiqueta de tiempo (TOW) y los parámetros (S.V.) orbitales y para generar un retarde δt_{SV} de tiempo relacionado con el vehículo espacial. Finalmente, las estimaciones de los retardos atmosféricos se producen cada una usando

otro modelo, parametrizado de manera adecuada que usa valores conocidos o información de efemérides auxiliares, esta información se denota en la FIG. 5 por la variable 'Atm.'. Los modelos típicos incluyen los modelos Klobuchar o NeQuick para la ionosfera y el modelo Saastamoinen para la troposfera, por citar sólo algunos. El modelo 508 atmosférico se adapta para recibir la etiqueta de tiempo (TOW), el retardo (δt_{RX}) de tiempo relacionado con el receptor, y el retardo (δt_{SV}) de tiempo relacionado con el vehículo espacial y la información (Atm.) de efemérides. A partir de estos, el modelo 508 atmosférico genera un retardo (δt_A) de tiempo relacionado con la atmósfera.

El OLD 32 incluye un primer elemento 510 de suma para generar una primera suma 512 que comprende la suma del retardo (δt_{RX}) relacionado con el receptor y el retardo (δt_{SV}) relacionado con el vehículo espacial. Además, un segundo elemento 514 de suma se adapta para generar una segunda suma que comprende la suma de la primera suma 512 y el retardo (δt_A) de tiempo relacionado con la atmósfera, para generar un retardo (t_{SIG}) de tiempo relacionado con la señal. El retardo (t_{SIG}) de tiempo relacionado con la señal se introduce a un MCO 516 de código y portador para generar una estimación ($\hat{\phi}_i$) para la entrada a un DMF 102.

El DMF 102 realiza la concentración y acumulación del flujo de señal de entrada contra la señal réplica simulada, como se representa en la FIG. 1. Este paso es muy similar al que hace un motor correlador en un receptor GNSS de bucle cerrado típico, como se representa en la FIG. 2, con la distinción de que no hay operación de retroalimentación. De manera ventajosa, la presente invención se basa en la medición precisa de las variaciones de amplitud, retardo y fase observables en la señal recibida sin confiar en ningún mecanismo de retroalimentación que observe las salidas Y_i de correlador que pueden, en sí, estar afectadas por estas anomalías. En una realización del DMF 102, sólo se usa un correlador por señal de satélite, pero el concepto es más general y se podría usar un número más arbitrario. En otra realización, se implementan muchos correladores, espaciados tanto en frecuencia como en retardo alrededor del correlador alineado nominalmente, para proporcionar una estimación más robusta y precisa de los parámetros de señal recibidos. En las realizaciones, la implementación involucra un procesamiento clásico en tiempo real o un post procesamiento.

Dentro del OLD 32 la interfaz entre los dos sub bloques (el sintetizador 502 de señal y el DMF 102) es una secuencia de retraso de código y fase de portadora adecuadamente temporizado, respectivamente \hat{t}_i y $\hat{\phi}_i$. Ambos se relacionan con el rango geométrico de la Línea de Visión (LOS) entre el usuario y las antenas del satélite de navegación, pero existen sustanciales diferencias debido a, entre otros factores, la atmósfera que es un medio dispersivo. Usando el tiempo de flujo preciso el acumulador se puede desechar en cualquier momento, pero normalmente de una forma sincronizada con los bordes de código de propagación. Además, dado el acceso a los mensajes de navegación de difusión, se puede predecir una parte significativa de los mensajes de navegación, permitiendo realizar el borrado de bits en la señal recibida. Cuando es posible, esto mejora significativamente la reconstrucción de fase, como se discute en la siguiente sección.

El módulo 33 de algoritmos de Monitorización Atmosférica (AMA) (Fig. 3) acepta como entradas los valores complejos de correlador, $Y[n]$, desde el módulo 32 OLD y produce como salidas las mediciones atmosféricas. A continuación, se discuten las realizaciones de un módulo de monitorización del centelleo ionosférico que produce los índices de centelleo comunes, incluyendo S_4 y σ_ϕ , como se define más adelante.

Los parámetros ampliamente aceptados para la caracterización del centelleo son S_4 para la amplitud y σ_ϕ para la fase de portadora. Generalmente, el cálculo de S_4 requiere el cálculo de un parámetro intermedio, denotado \mathcal{I} , a partir de los valores de correlador, $Y[n]$. En muchos casos esto se implementa a menudo a través de variables intermedias adicionales, denotadas como Potencia de Banda Estrecha (NBP) y Potencia de Banda Ancha (WBP). De manera alternativa, otras implementaciones calculan esto directamente a partir de los valores de correlador, como se representa en la FIG. 6. Se realiza la eliminación de la tendencia de los valores \mathcal{I} usando un filtro paso bajo Butterworth de 6° orden con un ancho de banda de 0,1 Hz que, por razones de estabilidad numérica, se implementa como una serie en cascada de filtros de 2° orden y es denotado por LPF 62 en la FIG. 6.

La FIG. 7 muestra un diagrama de bloques del proceso, llevado a cabo en el módulo 33 AMA de la Fig. 3, de cálculo del valor de σ_ϕ , dada una serie de estimaciones de fase, $\hat{\phi}_i$.

El método convencional de cálculo de σ_ϕ involucra tres pasos, tal y como sigue. En primer lugar la fase de la señal GNSS recibida se reconstruye y se muestrea con una tasa de muestreo fija, para producir el proceso equivalente $\theta[n] = \theta(nT_1)$. En segundo lugar, se realiza la eliminación de la tendencia usando un filtro paso alto Butterworth de 6° orden con un ancho de banda de 0,1 Hz. Finalmente, la varianza del proceso de eliminación de la tendencia de fase se calcula (bloque 74) sobre un número finito de bloques que no se solapan de periodo \mathcal{T} segundos. Por tanto, se usan las salidas del correlador complejo de réplica rápida (o más bien sus sub productos) para evaluar las anomalías de amplitud donde se usen las mediciones de fase de la portadora para medir las anomalías de fase. Como se representa en la FIG. 7, se implementa el filtro paso alto como la diferencia (a través del elemento 76 de suma) entre la señal y el componente de paso bajo, generada a través del filtrado del LPF 72.

Se observa que un receptor GNSS estándar deriva las observaciones de la fase de la portadora a través de un algoritmo de seguimiento de fase de bucle cerrado, tal como un PLL. Al contrario, en la realización de la presente

invención, se emplean dos enfoques novedosos para calcular σ_ϕ . Las ventajas del no seguimiento de la fase de la señal recibida con un bucle cerrado incluyen: aislar el cálculo del índice de centelleo de los artefactos del filtro de bucle de seguimiento, y evitar los problemas de los fallos del seguimiento de fase (por ejemplo los deslices de ciclo) bajo condiciones de señal muy pobres.

5 Ambas realizaciones de los métodos para calcular σ_ϕ explotan el hecho de que se elimina de manera inmediata la tendencia de la fase reconstruida. Como se observa aquí anteriormente, el módulo 32 OLD, a través de la síntesis de señal, elimina todas las contribuciones determinísticas conocidas a la fase de portadora, incluyendo la dinámica de línea de visión (LOS), el reloj del satélite y las contribuciones atmosféricas conocidas. Lo que queda son los errores residuales provenientes de las efemérides y los modelos atmosféricos y una contribución de fase adicional del oscilador local. Un objetivo del proceso de eliminación de la tendencia es eliminar la contribución de todos los factores distintos de $\theta_{\text{Atm.}}(t)$ y, por lo tanto, el proceso de reconstrucción de fase sólo necesita representar este término. Las dos realizaciones son como siguen:

Método 1: Reconstrucción del proceso de fase.

15 La FIG. 8 muestra un diagrama de bloques del proceso, llevado a cabo en el módulo 33 AMA de la Fig. 3, de reconstrucción de fase desde los valores de correlador, Y_i , que calcula la fase actual como la suma de la fase anterior y la fase residual observada cuando se des voltea el correlador actual por la estimación de fase anterior. La notación $e^{-j\theta}$ representa un vector unitario en el plano complejo que tiene un ángulo $-\theta$ en relación al eje real y la notación z^{-1} representa un retardo de muestra único. En este caso, la parte útil del proceso de fase es reconstruida por una suma acumulativa de las diferencias de fases calculadas entre las parejas sucesivas de valores de correlador (esto es $Y[n-1]$ y $Y[n]$). Como se muestra en la FIG. 8, los valores Y_i de correlador se des voltean (a través de la entrada del bloque 82 al primer elemento 84 de multiplicación) por la estimación de fase anterior y se mide el error de fase residual. Un bloque 84 discriminador representa la función del discriminador de fase, descrita en la Ec. 4. La estimación da fase total, θ , es proporcionada acumulando estas mediciones de fase residual. El proceso de fase resultante se puede procesar de una manera similar a la producida por un receptor GNSS típico. La contribución más significativa a la medición de la fase de la frecuencia portadora es debida a la velocidad de la LOS entre el usuario y la antena del satélite así como la diferencia entre la deriva del reloj del usuario y del satélite. Generalmente, al usar mediciones de fase de un receptor tradicional, esta contribución es filtrada por el filtro de eliminación de tendencia a costa de un tiempo de convergencia no despreciable. En efecto, este tiempo de convergencia de dicho filtro puede estar en el orden de los minutos. Esta técnica elimina de manera natural esta contribución de fase. Los resultados muestran que, en condiciones de ruido nominales, el mismo filtro de eliminación de tendencia produce exactamente los mismos resultados en el proceso de fase convencional y en el del Método 1, pero converge mucho más rápido en el último caso.

25 Específicamente, el proceso de fase se reconstruye como sigue. En primer lugar, los valores de correlador actuales se des voltean por la estimación de fase anterior (que se inicializa a cero para la primera muestra). En segundo lugar, la fase residual ϕ es estimada por bien un discriminador 86 coherente (arco tangente de cuatro cuadrantes) o no coherente (arco tangente), dependiendo de si se conoce el signo de los bits de datos correspondientes a la muestra actual. EL valor de la fase ϕ residual se calcula después como la suma (a través del elemento 87 de suma) de la fase anterior (derivada mediante la aplicación del bloque 88) y la fase ϕ residual actual. Matemáticamente, este proceso se puede representar por:

$$\begin{aligned}
 Y' [n] &= Y [n] e^{-i\theta[n-1]} \\
 \Delta [n] &= \begin{cases} \text{atan2}(d[n] \Re \{Y' [n]\}, \Im \{Y' [n]\}) & \text{si son datos conocidos} \\ \text{atan}\left(\frac{\Im\{Y'[n]\}}{\Re\{Y'[n]\}}\right) & \text{en otro caso} \end{cases} \\
 \theta [n] &= \theta [n - 1] + \Delta [n] \tag{4}
 \end{aligned}$$

40 donde $d[n]$ es el valor de los bits de datos actuales y suponemos que el proceso de fase se puede descomponer en una suma recursiva de diferencia de fase, como:

$\theta [n] = \theta [n-1] + \Delta[n]$, la notación $\Re \{x\}$ and $\Im \{x\}$ denota respectivamente las partes real e imaginaria de x , y las funciones $\text{atan}(x)$ y $\text{atan2}(y,x)$, denotan respectivamente las funciones arco tangente y arco tangente de cuatro cuadrantes. Al procesamiento de esta estimación de fase para producir la medición de la σ_ϕ después sigue el algoritmo estándar representado en la FIG. 7.

Método 2: Filtro de eliminación de tendencia modificado.

La FIG. 9 es un diagrama de bloques del proceso, llevado a cabo en el módulo 33 AMA de la FIG. 3, de cálculo del

5 valor de σ_ϕ dadas una serie de estimaciones de diferencia de fase, $\hat{\Delta}$. El segundo enfoque aprovecha el hecho de que un filtro de paso alto de 6° orden con un ancho de banda de 0,1 Hz esencialmente elimina todas las dinámicas que varían lentamente de la fase de portadora. Esto sugiere que la reconstrucción del proceso de fase se puede evitar en su totalidad y usar las diferencias de fase en lugar de la fase absoluta. El orden del filtro de eliminación de tendencia puede ser reducido en uno y un filtro equivalente pero más simple genera exactamente los mismos resultados obtenidos siguiendo el enfoque convencional. Este nuevo filtro se encuentra como sigue. Suponga un filtro Butterworth paso alto de 6° orden convencional que tiene una función de transferencia en el dominio z dada por:

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{\sum_{i=0}^6 b_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^6 a_i z^{-i}} \quad (5)$$

10 donde la salida de la Ec. (5) es el proceso de eliminación de tendencia de la fase, denotada aquí por $\theta^D[n]$, es encontrada mediante la aplicación de $H(z)$ a la fase reconstruida, $\theta[n]$. Este filtro es idénticamente equivalente al proceso en cascada de aplicar un filtro $B(z)$ a $\theta[n]$ y posteriormente aplicar el filtro $1/A(z)$ al resultado. Por lo tanto, el proceso de fase, $\theta[n]$, sólo es operado por $B(z)$.

En el momento n, la salida del filtro $B(z)$ aplicada a $\theta[n]$, denotado aquí como $\theta_B[n]$, está dado por:

$$\theta_B[n] = \sum_{i=0}^6 b_i \theta[n-i] \quad (6)$$

15 De nuevo, suponiendo una descomposición del proceso de fase en una suma de diferencias de fase, entonces la Ec. (6) está dada por:

$$\begin{aligned} \theta_B[n] &= \sum_{i=0}^6 b_i \left(\sum_{j=i}^6 \Delta[n-j] + \theta[n-7] \right) \\ &= \sum_{i=0}^6 \sum_{j=i}^6 b_i \Delta[n-j] + \sum_{i=0}^6 b_i \theta[n-7] \end{aligned} \quad (7)$$

Observando que ya que $H(z)$ es un filtro paso alto y tiene una ganancia DC cero, entonces $H(1) = 0$ y por lo tanto

$$\sum_{i=0}^6 b_i = 0 \quad (8)$$

20 y (7) se reduce a:

$$\begin{aligned} \theta_B[n] &= \sum_{i=0}^6 \sum_{j=i}^6 b_i \Delta[n-j] \\ &= \sum_{j=0}^6 \sum_{i=0}^j b_i \Delta[n-j] \\ &= \sum_{j=0}^6 \Delta[n-j] \sum_{i=0}^j b_i \\ &= \sum_{j=0}^6 \Delta[n-j] c_j \end{aligned} \quad (9)$$

donde

$$c_j = \sum_{i=0}^j b_i \quad (10)$$

renombrando (8), encontramos que $c_6 = 0$ y por lo tanto

$$\theta_B [n] = \sum_{j=0}^5 \Delta [n - j] c_j. \quad (11)$$

Por lo tanto se muestra que el proceso de eliminación de tendencia de fase, θ^D , obtenido procesando el proceso de fase original θ usando el filtro $H(z)$, es idénticamente equivalente que el obtenido procesando el proceso de diferencia de fase $\Delta[n] = \theta[n] - \theta[n-1]$, usando un nuevo filtro dado por:

$$H(z) = \frac{C(z)}{A(z)} = \frac{\sum_{i=0}^5 c_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^6 a_i z^{-i}}. \quad (12)$$

La implicación de (12) es que ningún proceso de fase necesita ser reconstruido y que sólo es necesaria la estimación de la diferencia de fase entre dos valores adyacentes de correlador. Esto simplifica enormemente la generación de σ_ϕ , y resulta en un algoritmo de monitorización más robusto. Específicamente, en una realización, la reconstrucción del proceso de diferencia de fase implica:

$$\Delta [n] = \begin{cases} \text{atan2}(\text{Cruz}, \text{Punto}) & \text{si son datos conocidos} \\ \text{atan}\left(\frac{\text{Cruz}}{\text{Punto}}\right) & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (13)$$

$$\text{Punto} = \Re \{Y [n]\} \Re \{Y [n - 1]\} + \Im \{Y [n]\} \Im \{Y [n - 1]\}$$

$$\text{Cruz} = \Im \{Y [n]\} \Re \{Y [n - 1]\} - \Re \{Y [n]\} \Im \{Y [n - 1]\}$$

donde se usa cualquiera de los dos estimadores de fase, dependiendo de si son conocidos o no los bits de datos de ambos valores de correlador. Habiendo generado este proceso de diferencia de fase, se puede aplicar el filtro modificado y, finalmente, se puede calcular una estimación de σ_ϕ . El proceso de cálculo de σ_ϕ a partir de los valores $\Delta[n]$ se representa en la FIG. 9 en donde el bloque etiquetado 'M-FLT' representa el filtro modificado descrito aquí.

Aunque se supone a continuación la estimación directa simple de la diferencia de fase, como se da en la Ec. (13), en realizaciones alternativas se puede hacer un procesamiento adicional de los valores de correlador para mejorar la estimación de $\Delta[n]$. Por ejemplo, la estimación puede estar condicionada en modelos estadísticos a priori para el proceso de fase; se puede implementar un esquema para rechazar o corregir las estimaciones que parecen ser atípicas, o erróneas; se pueden observar también múltiples valores de correlador sucesivos, tres o más.

En la FIG. 10 y la FIG. 11 se presenta una comparación de σ_ϕ , y de S_4 según son calculados por el Método 1 y el Método 2 y un receptor de monitorización (Referencia) atmosférica comercial, respectivamente, en donde se puede ver que el algoritmo de monitorización de bucle abierto es capaz de reproducir perfectamente la del receptor de bucle cerrado tradicional.

Aunque las realizaciones se han descrito en referencia a realizaciones que tienen diversos componentes en sus respectivas implementaciones, se apreciará que otras realizaciones hacen uso de otras combinaciones y permutaciones de estos y otros componentes.

Además, algunas de las realizaciones se describen en la presente memoria como un método o combinación de elementos de un método que pueden ser implementados por un procesador de un sistema informático o por otros medios para llevar a cabo la función. Por tanto, un procesador con las instrucciones necesarias para llevar a cabo dicho método o elemento de un método forma un medio para llevar a cabo el método o elemento de un método. Además, el elemento descrito en la presente memoria de una realización de un aparato es un ejemplo de un medio para llevar a cabo la función realizada por el elemento con el propósito de llevar a cabo la función.

En la descripción proporcionada en la presente memoria, se exponen numerosos detalles específicos. Sin embargo, se entiende que las realizaciones de la invención se pueden poner en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, los métodos, estructuras y técnicas bien conocidas no se han mostrado en detalle para no complicar el entendimiento de esta descripción.

Por tanto, aunque se han descrito las que se creen las realizaciones preferidas de la invención, aquellos expertos en la técnica reconocerán que otras y adicionales modificaciones se pueden hacer a la misma sin salir del alcance de la invención.

Se pueden añadir o eliminar funcionalidades de los diagramas de bloques y se pueden intercambiar las operaciones entre bloques funcionales. Se pueden añadir o eliminar pasos a los métodos descritos dentro del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de medición para generar mediciones del centelleo de fase ionosférico en base a al menos una señal de un Sistema de Navegación por Satélite Global (GNSS) de un transmisor de satélite de un GNSS, comprendiendo el sistema de medición, en un receptor basado en tierra:

5 un módulo (31) de adquisición de datos, un módulo (32) demodulador y un módulo (33) de algoritmos de monitorización atmosférica dispuestos en una configuración de bucle abierto;

en donde el módulo (31) de adquisición de datos se adapta para recibir dicha señal GNSS e incluye un reloj (418) de referencia y un conversor (416) analógico a digital (ADC) acoplado al reloj (418) de referencia, estando el ADC adaptado para generar una pluralidad de muestras (r) de frecuencia intermedia (IF) bajo la temporización del reloj (418) de referencia, teniendo cada muestra de IF una etiqueta de tiempo (TOW) asociada derivada de dicho reloj (418) de referencia;

10

en donde el módulo (32) demodulador se adapta para recibir dichas muestras (r) de IF y asociar las etiquetas de tiempo (TOW) y los datos (35) auxiliares relacionados con dicho sistema de satélite, los datos (35) auxiliares incluyen información (ATM) de efemérides, y se adaptan para generar los valores (Y_i) de correlador del mismo; y

15

en donde el módulo de algoritmo de monitorización atmosférica se adapta para recibir dichos valores (Y_i) de correlador y generar a partir de estos dichas mediciones (σ_φ) de centelleo; y

en donde el módulo (33) de algoritmos de monitorización atmosférica incluye un algoritmo de reconstrucción del proceso de fase, comprendiendo el algoritmo de reconstrucción del proceso de fase:

des voltear los valores actuales (Y_i) de correlador por la anterior estimación de fase;

20

estimar la fase (φ) residual usando un discriminador; y

calcular la fase (θ) actual como la suma de la fase anterior y la fase (φ) residual actual,

2. Un sistema de medición para generar las mediciones de centelleo de la fase ionosférica en base a al menos una señal del sistema de Navegación por Satélite Global (GNSS) a partir de un transmisor de satélite de un GNSS, comprendiendo el sistema de medición, en un receptor de tierra:

25 un módulo (31) de adquisición de datos, un módulo (32) demodulador y un módulo (33) de algoritmos de monitorización atmosférica dispuestos en una configuración de bucle abierto,

en donde el módulo (31) de adquisición de datos se adapta para recibir dicha señal GNSS e incluye un reloj (418) de referencia y un conversor (416) analógico a digital (ADC) acoplado al reloj (418) de referencia, estando el ADC adaptado para generar una pluralidad de muestras (r) de frecuencia intermedia (IF) bajo la temporización del reloj (418) de referencia, teniendo cada muestra de IF una etiqueta de tiempo (TOW) asociada derivada de dicho reloj (418) de referencia;

30

en donde el módulo (32) demodulador se adapta para recibir dichas muestras (r) de IF y las etiquetas de tiempo (TOW) asociadas y los datos (35) auxiliares relacionados con dicho sistema de satélite, los datos (35) auxiliares incluyen la información de efeméride (ATM), y se adapta para generar los valores (Y_i) de correlador a partir de la misma; y

35

en donde el módulo de algoritmo de monitorización atmosférica se adapta para recibir dichos valores (Y_i) de correlador y generar a partir de estos dichas mediciones (σ_φ) de centelleo de fase;

en donde el módulo (33) de algoritmo de monitorización atmosférica incluye un algoritmo de proceso de diferencia de fase, siendo el algoritmo de proceso de fase operable para reconstruir los valores Δ[n] del proceso de diferencia de fase, en donde cada valor Δ[n] del proceso de diferencia de fase es una diferencia de fase entre dos valores adyacentes de correlador (Y[n], Y[n-1]) y los valores del proceso de diferencia de fase Δ[n] se reconstruyen usando

40

$$\Delta [n] = \begin{cases} \text{atan2}(\text{Cruz}, \text{Punto}) & \text{si los bits de datos de ambos valores de correlador } (Y[n], Y[n-1]) \text{ son conocidos} \\ \text{atan}\left(\frac{\text{Cruz}}{\text{Punto}}\right) & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$\text{Punto} = \Re \{Y [n]\} \Re \{Y [n - 1]\} + \Im \{Y [n]\} \Im \{Y [n - 1]\}$$

$$\text{Cruz} = \Im \{Y [n]\} \Re \{Y [n - 1]\} - \Re \{Y [n]\} \Im \{Y [n - 1]\}$$

y en donde σ_φ se calcula a partir de los valores $\Delta[n]$ del proceso de diferencia de fase usando un filtro aplicado para esto dado por

$$H(z) = \frac{C(z)}{A(z)} = \frac{\sum_{i=0}^5 c_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^6 a_i z^{-i}}$$

3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, en donde el módulo (31) de adquisición de datos (i) se adapta para emitir cada muestra (r) de IF como una muestra (r) de IF etiquetada, comprendiendo cada muestra (r) de IF una muestra (r) de IF etiquetada con una etiqueta de tiempo (TOW) respectiva, (ii) comprende un módulo (420) de etiquetado de tiempo adaptado para emitir dichas etiquetas de tiempo (TOW) de manera síncrona con unas respectivas muestras (r) de IF, y/o (iii) comprende un módulo (420) de etiquetado acoplado al reloj (418) de referencia, estando el módulo (420) de etiquetado de tiempo adaptado para funcionar como un contador local que representa la hora local, siendo la cuenta del contador local aumentada según se genera cada muestra (r) de IF.
4. El sistema de la reivindicación 1, 2 o 3, en donde el módulo (32) demodulador se adapta para recibir dichas muestras (r) de IF etiquetadas, mediante lo cual cada valor (Y_i) de correlador generado por el módulo (32) demodulador se asocia con una respectiva etiqueta de tiempo (TOW).
5. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el módulo (31) de adquisición de datos (i) comprende un conversor (410) descendente adaptado para generar señales de IF analógicas a partir de las señales de radionavegación, funcionando el conversor (410) descendente en base a una señal de conversión derivada a partir de la salida del reloj (418) de referencia, más preferiblemente en donde el módulo (31) de adquisición de datos comprende un PLL (424) acoplado para recibir la salida del reloj (418) de referencia, en donde el PLL (424) dirige un VCO (426) que proporciona la señal de conversión al conversor (410) descendente.
6. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el reloj (418) de referencia (A) tiene un grado de alineamiento con una trama de tiempo de la señal de radionavegación (i) de menos de una décima parte del periodo de un chip de código de intervalo de la señal de radionavegación, y/o (ii) tal que se puede usar para propagar una estimación del tiempo, para la generación de etiquetas de tiempo, con una precisión de aproximadamente 1 nanosegundo, y/o en donde el reloj (418) de referencia se adapta para propagarse desde un punto de sincronización inicial, correspondiente a una etiqueta de tiempo inicial, adelante en el tiempo, y/o en donde el reloj (418) de referencia comprende un reloj perfectamente modelado, en donde dichas etiquetas de tiempo se derivan de las señales de tiempo propagadas desde un punto de sincronización de señal en el pasado usando un periodo de muestreo predeterminado, (B) comprende un oscilador disciplinado, incluyendo el oscilador disciplinado un oscilador interno y estando adaptado para recibir una señal de reloj de control de un estándar de frecuencia externo, en donde más preferiblemente el sistema se puede operar en una fase de iniciación y una fase de adquisición, en donde el reloj (418) de referencia se puede operar de manera tal que el control por el oscilador disciplinado esté activo durante la fase inicial y deshabilitado durante la fase de adquisición de datos, en donde más preferiblemente se proporciona el estándar de frecuencia externo por una de entre una señal GNSS y una señal de Oscilador Disciplinado de GPS (GPSDO), o (C) comprende un reloj de funcionamiento libre sobre el que se realiza el modelado in vivo de sus parámetros desconocidos usando un algoritmo de estimación de reloj, en donde más preferiblemente el reloj (418) de referencia se puede operar para medir los parámetros de reloj estimados, y propagar de manera precisa las etiquetas de tiempo desde un punto de sincronización inicial basado en los parámetros de reloj estimados, en donde más preferiblemente los parámetros de reloj estimados se pueden medir a partir de las señales de radionavegación a partir de un primer conjunto de transmisores en satélite y en donde la señal o señales de radionavegación recibidas por dicho módulo (31) de adquisición de datos son de uno o más transmisores de satélite, no teniendo el primer conjunto y el segundo conjunto un transmisor de satélite en común.
7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los datos (35) auxiliares incluyen un parámetro (Rec.) relacionado con el receptor, representando el parámetro relacionado con el receptor una trayectoria continua a trozos de la antena (402) del receptor en una trama fija de tierra, centrada en la tierra.
8. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los datos (35) auxiliares incluyen los parámetros (S.V.) orbitales de un satélite sobre el que se monte el transmisor, en donde más preferiblemente los parámetros (S.V.) orbitales comprenden efemérides de difusión, en donde más preferiblemente las efemérides de difusión comprenden efemérides GNSS o efemérides precisas.
9. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el módulo (32) demodulador (i) incluye un modelo (504) de receptor de usuario para recibir una etiqueta de tiempo (TOW) y el parámetro (Rec.) relacionado con el receptor, y para emitir un retardo (δt_{RX}) de tiempo relacionado con el receptor, y/o (ii) incluye un modelo (506) de vehículo espacial, estando el modelo de vehículo espacial adaptado para recibir una etiqueta de tiempo (TOW) y los parámetros (S.V.) orbitales, y para generar un retardo (δt_{SV}) relacionado con el vehículo espacial.
10. El sistema de la reivindicación 9, en donde el módulo (32) demodulador (i) incluye un modelo (508) atmosférico, estando el modelo atmosférico adaptado para recibir la etiqueta de tiempo (TOW), el retardo (δt_{RX}) de tiempo relacionado con el receptor, el retardo (δt_{SV}) relacionado con el vehículo espacial y la información (Atm.) de

- efeméride, y para emitir un diferencial (δt_A) de tiempo relacionado con la atmósfera, y/o (ii) se adapta para generar una primera suma (512) que comprende la suma del diferencial (δt_{RX}) de tiempo relacionado con el receptor y el diferencial (δt_{SV}) de tiempo relacionado con el vehículo espacial, y para generar una segunda suma que comprende la suma de la primera suma (512) y del diferencial (δt_A) de tiempo relacionado con la atmósfera para generar un retardo (t_{SIG}) de tiempo relacionado con la señal.
- 5
11. El sistema de la reivindicación 10, en donde el módulo demodulador incluye además un MCO de código y portadora, adaptado para recibir el retardo (t_{SIG}) de la señal y para general una estimación (\hat{S}_i) para la entrada a un DMF (102).
- 10
12. Un método de medición para generar mediciones del centelleo de fase ionosférico basado en al menos una señal del Sistema de Navegación por Satélite Global (GNSS) de un transmisor de satélite de un GNSS, comprendiendo el método:
- proporcionar un módulo (31) de adquisición de datos , un módulo (32) demodulador y un módulo (33) de algoritmos de monitorización atmosférica dispuestos en una configuración de bucle abierto en un receptor en tierra, en donde el módulo (31) de adquisición de datos incluye un reloj (418) de referencia y un conversor (416) analógico a digital (ADC) acoplado al reloj (418) de referencia;
- 15
- recibir, usando el módulo (31) de adquisición de datos, dicha señal GNSS, estando el ADC adaptado para generar a partir de la misma una pluralidad de muestras (r) de frecuencia intermedia (IF) bajo la temporización del reloj (418) de referencia, teniendo cada muestra de IF una etiqueta de tiempo (TOW) asociada derivada de dicho reloj (418) de referencia;
- 20
- recibir, usando el módulo (32) demodulador, dichas muestras (r) de IF y etiquetas de tiempo (TOW) asociadas y datos (35) auxiliares relacionados con dicho sistema de satélite, los datos (35) auxiliares incluyen la información (ATM) de efemérides, y generar los valores (Y_i) de correlador a partir de estos; y
- recibir, usando el módulo (33) de algoritmo de monitorización atmosférica, dichos valores (Y_i) e correlador y generar a partir de ellos dichas mediciones (σ_ϕ) del centelleo de fase; y
- 25
- en donde el módulo (33) de algoritmos de monitorización atmosférica incluye un algoritmo de reconstrucción del proceso de fase, estando adaptado el algoritmo de reconstrucción del proceso de fase para:
- des voltear los valores (Y_i) actuales de correlador por la anterior estimación de fase;
- estimar la fase (ϕ) residual usando un discriminador; y
- calcular la fase actual (θ) como la suma de la fase anterior y la fase (ϕ).residual actual
- 30
13. Un método de medición para generar mediciones del centelleo de fase ionosférica basado en al menos una señal del Sistema de Navegación por Satélite Global (GNSS) de un transmisor de satélite de un GNSS, comprendiendo el método:
- proporcionar un módulo (31) de adquisición de datos , un módulo (32) demodulador y un módulo (33) de algoritmos de monitorización atmosférica dispuestos en una configuración de bucle abierto en un receptor en tierra, en donde el módulo (31) de adquisición de datos incluye un reloj (418) de referencia y un conversor (416) analógico a digital (ADC) acoplado al reloj (418) de referencia;
- 35
- recibir, usando el módulo (31) de adquisición de datos, dicha señal GNSS, estando el ADC adaptado para generar a partir de la misma una pluralidad de muestras (r) de frecuencia intermedia (IF) bajo la temporización del reloj (418) de referencia, teniendo cada muestra de IF una etiqueta de tiempo (TOW) asociada derivada de dicho reloj (418) de referencia;
- 40
- recibir, usando el módulo (32) demodulador, dichas muestras (r) de IF y etiquetas de tiempo (TOW) asociadas y datos (35) auxiliares relacionados con dicho sistema de satélite, los datos (35) auxiliares incluyen la información (ATM) de efemérides, y generar los valores (Y_i) de correlador a partir de estos; y
- recibir, usando el módulo (33) de algoritmo de monitorización atmosférica, dichos valores (Y_i) e correlador y generar a partir de ellos dichas mediciones (σ_ϕ) del centelleo de fase; y
- 45
- en donde el módulo (33) de algoritmos de monitorización atmosférica incluye un algoritmo de proceso de diferencia de fase, siendo el algoritmo de proceso de diferencia de fase operable para reconstruir los valores $\Delta[n]$ del proceso de diferencia de fase, en donde cada valor $\Delta[n]$ del proceso de diferencia de fase es una diferencia de fase entre dos valores de correlador adyacentes ($Y[n]$, $Y[n-1]$) y los valores $\Delta[n]$ del proceso de diferencia de fase se reconstruyen usando
- 50

$$\Delta [n] = \begin{cases} \text{atan2}(\text{Cruz}, \text{Punto}) & \text{si los bits de datos de ambos valores de} \\ & \text{correlador (Y[n], Y[n-1]) son conocidos} \\ \text{atan}\left(\frac{\text{Cruz}}{\text{Punto}}\right) & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$\text{Punto} = \Re \{Y [n]\} \Re \{Y [n - 1]\} + \Im \{Y [n]\} \Im \{Y [n - 1]\}$$

$$\text{Cruz} = \Im \{Y [n]\} \Re \{Y [n - 1]\} - \Re \{Y [n]\} \Im \{Y [n - 1]\}$$

y en donde σ_φ se calcula a partir de los valores $\Delta[n]$ del proceso de diferencia de fase usando un filtro aplicado para esto dado por

$$H(z) = \frac{C(z)}{A(z)} = \frac{\sum_{i=0}^5 c_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^6 a_i z^{-i}}$$

- 5 14. Un medio registrable, regrabable o almacenable que tenga registrado o almacenado en éste datos legibles por ordenador que definen las instrucciones que, al ser ejecutadas por un ordenador, provocan que el ordenador lleve a cabo al menos los pasos de las reivindicaciones 12 y 13.
- 10 15. Un ordenador servidor que incorpora un dispositivo de comunicación y un dispositivo de memoria y que se adapta para la transmisión bajo demanda o de cualquier otra forma de los datos legibles por ordenador que definen las instrucciones que, al ser ejecutadas por un ordenador, provocan que el ordenador lleve a cabo al menos los pasos de las reivindicaciones 12 y 13.

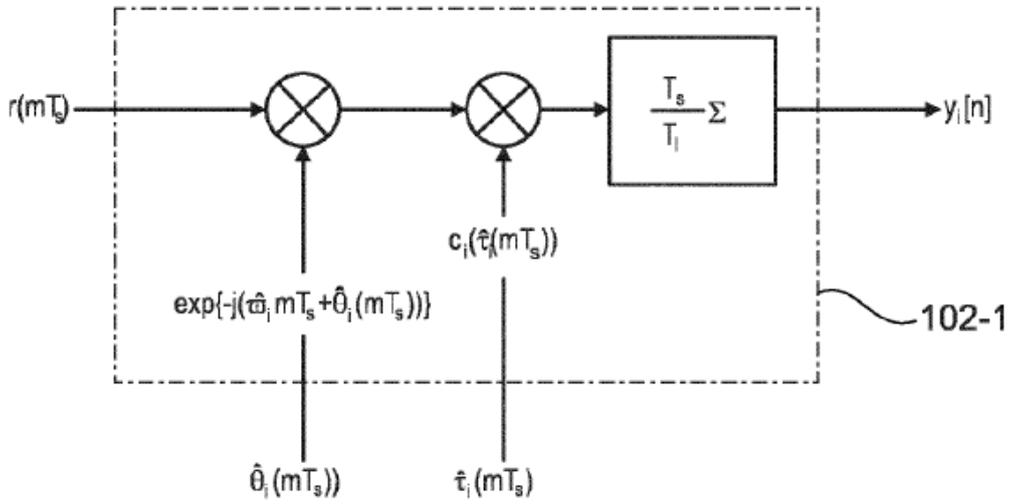


Fig. 1 (TÉCNICA ANTERIOR)

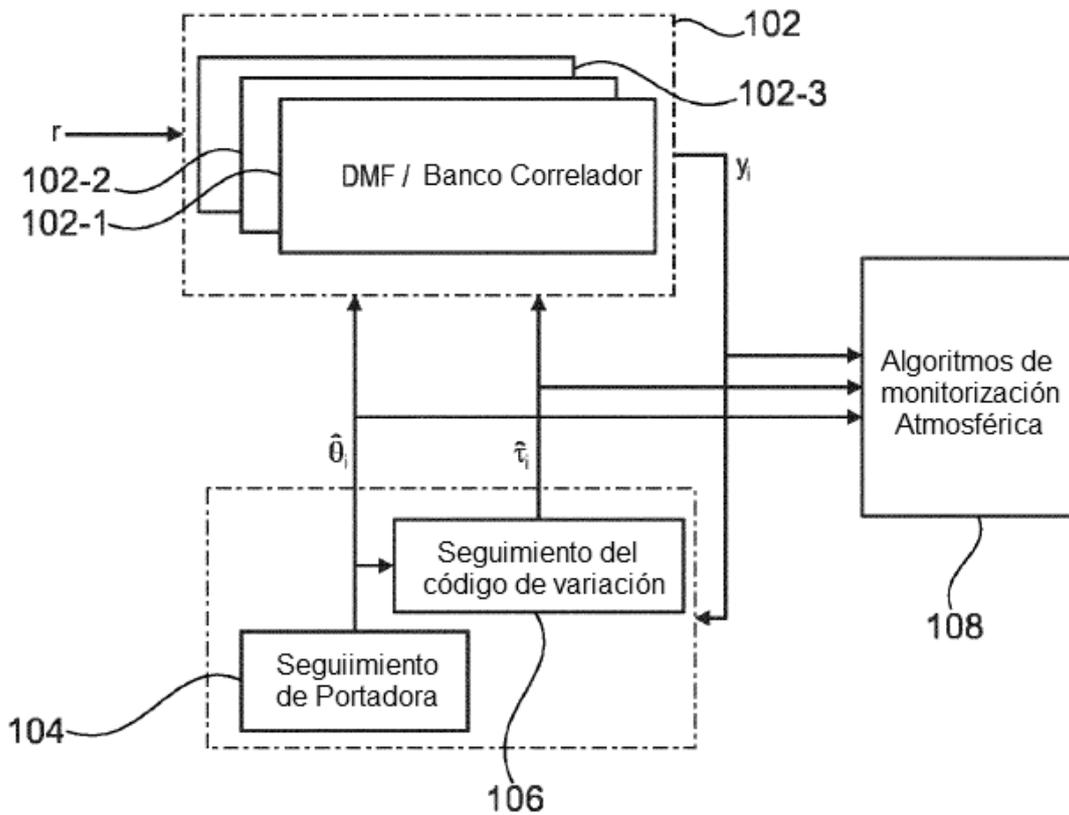


Fig. 2 (TÉCNICA ANTERIOR)

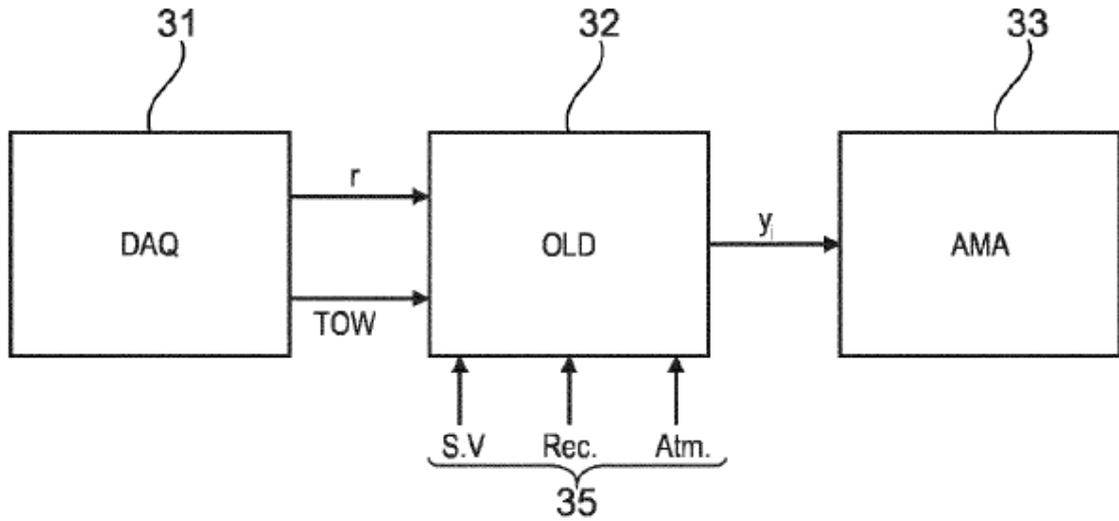


Fig. 3

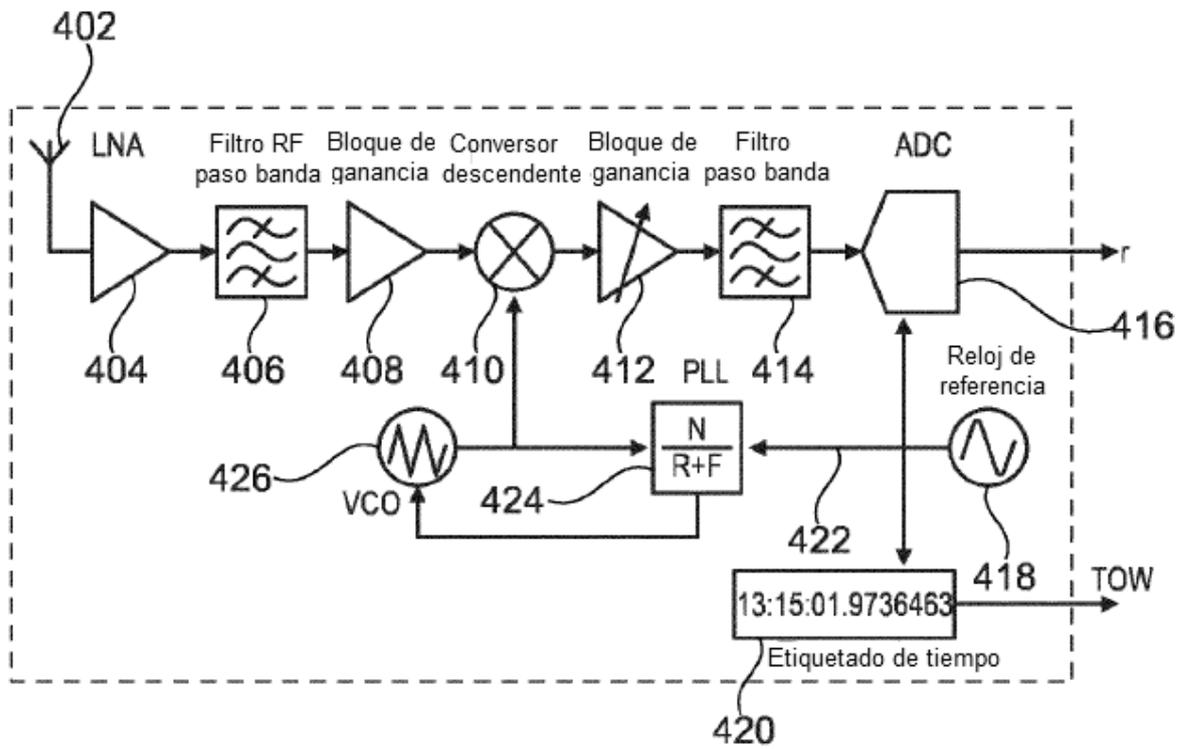


Fig. 4

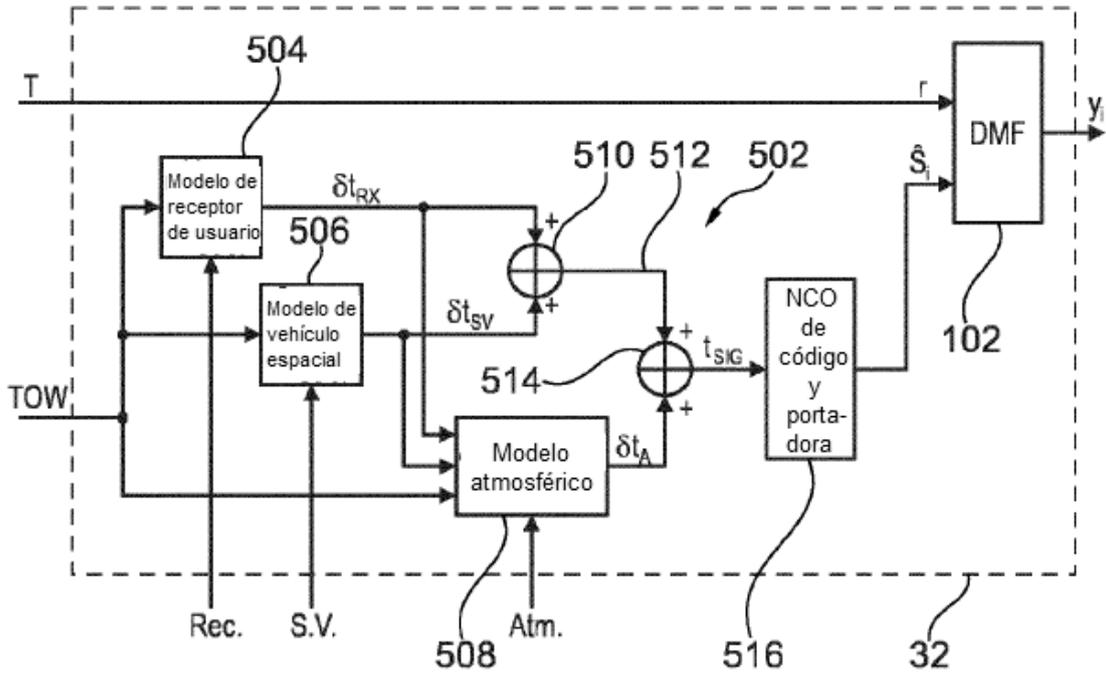


Fig. 5

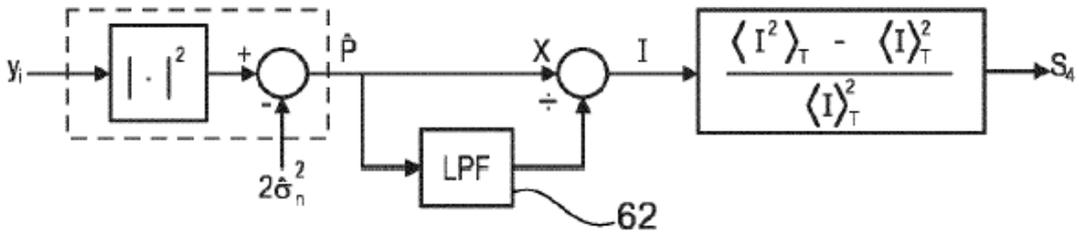


Fig. 6

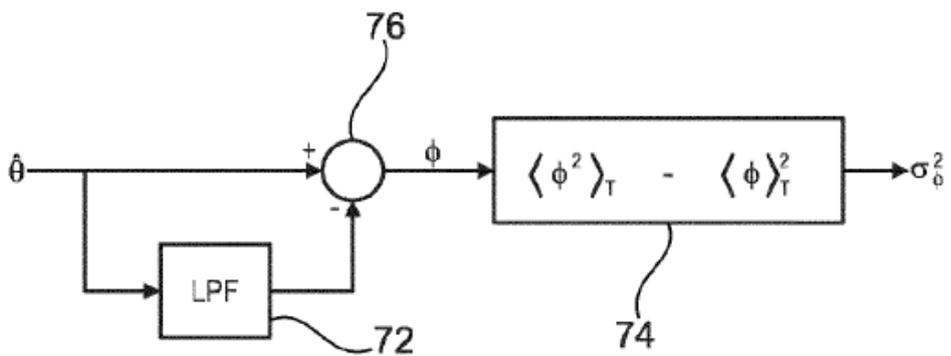


Fig. 7

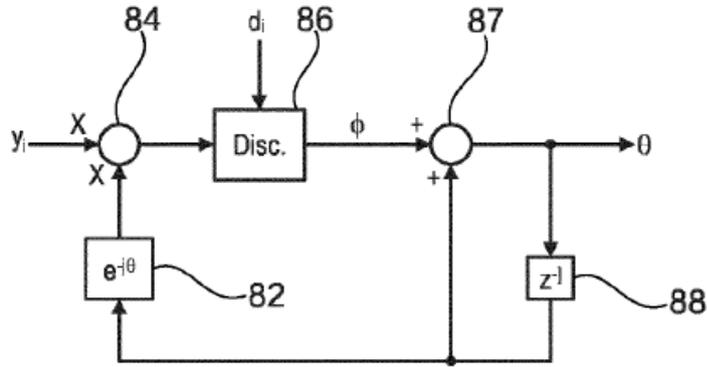


Fig. 8

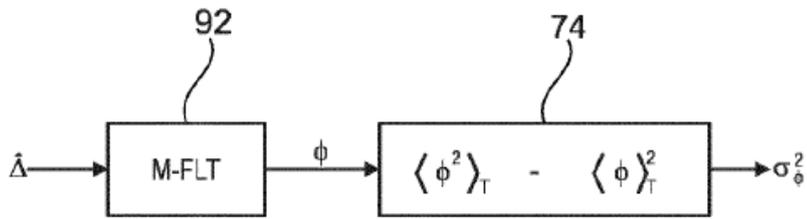


Fig. 9

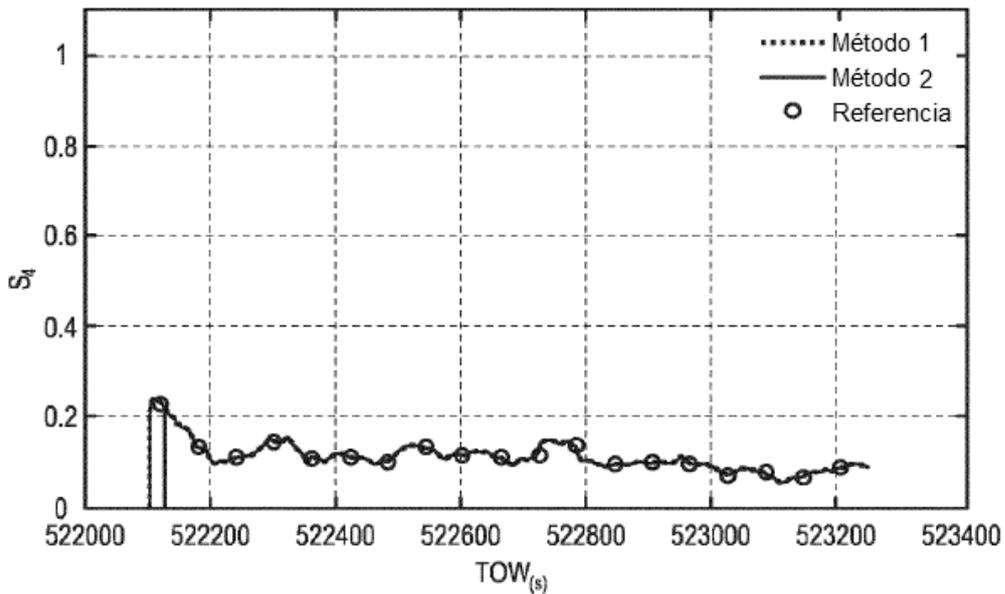


Fig. 10

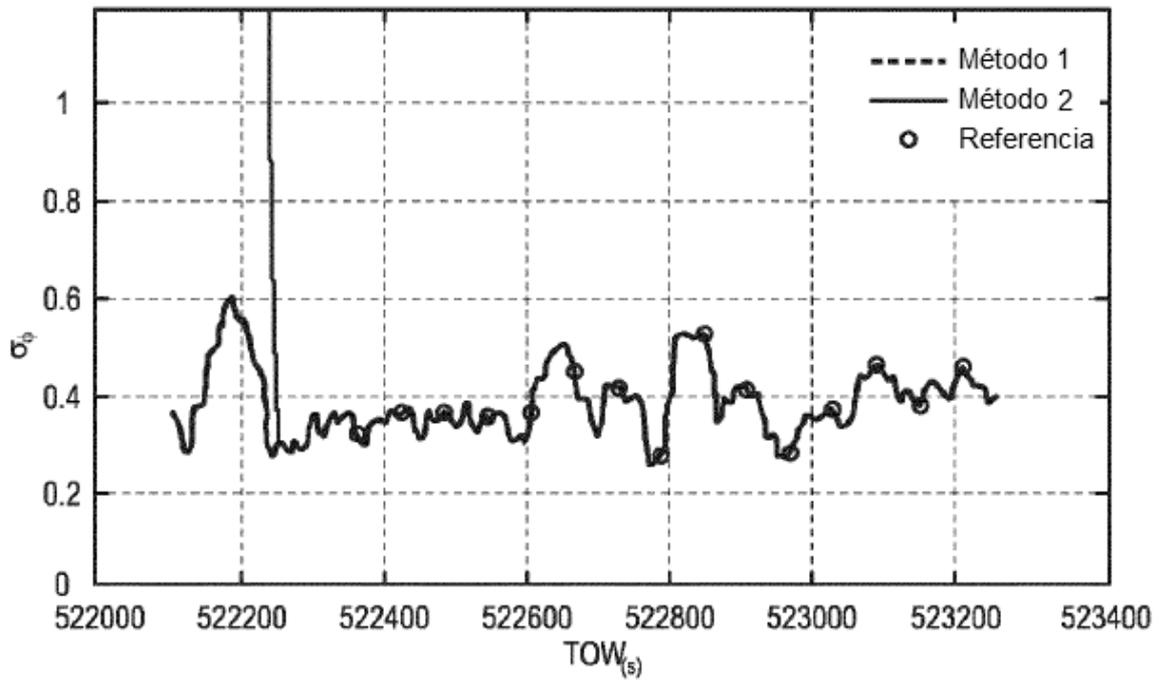


Fig. 11