

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 603 265**

51 Int. Cl.:

G01S 19/43 (2010.01)

G01S 19/07 (2010.01)

G01S 19/04 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.10.2013 PCT/NL2013/050747**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.05.2014 WO14065664**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.10.2013 E 13786543 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.08.2016 EP 2912490**

54 Título: **Método PPP-RTK y sistema para la determinación de posición a base de señal de GNSS**

30 Prioridad:

25.10.2012 NL 2009695

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

24.02.2017

73 Titular/es:

**FUGRO N.V. (100.0%)
Veurse Achterweg 10
2264 SG Leidschendam, NL**

72 Inventor/es:

DE JONG, CORNELIS DICK

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 603 265 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 PPP-RTK y sistema para la determinación de posición a base de señal de GNSS

5 Campo técnico

[0001] La invención se refiere a un sistema de corrección de señal de la navegación global por satélite (GNS por su sigla en inglés) y a un móvil que coopera con el sistema de corrección de señal de GNS. Además, la invención se refiere a métodos complementarios para calcular correcciones del sistema de navegación global por satélite (GNSS) y para determinar la posición de un móvil. Además, la invención se refiere a productos de programas informáticos dispuestos para ejecutar los métodos propuestos, y un medio legible por ordenador que comprende cualquiera de tales programas informático.

15 Antecedentes

[0002] Un sistema global de navegación por satélite (GNSS) es un sistema de satélites que se puede usar para la determinación de la ubicación geográfica de un receptor móvil con respecto a la tierra. El GNSS incluye GPS, Galileo, Glonass, Compass y otros sistemas de posicionamiento. Se conocen distintos sistemas de corrección de navegación global por satélite (GNS) que se configuran para recibir datos de señales de GNSS de satélites de GNSS, para procesar estos datos de GNSS, para calcular correcciones de GNSS a partir de los datos de GNSS y para suministrar estas correcciones a un móvil, con el fin realizar cálculos más rápidos y precisos de la posición geográfica del móvil.

[0003] Se conocen distintos métodos de estimación de posición en los cuales los cálculos de posición se basan en la medición repetida de los denominados observables de pseudodistancia y fase portadora por receptores de GNSS basados en la tierra. El observable "pseudodistancia" o el "código" representan una diferencia entre tiempo de transmisión de una señal satelital de GNSS y el tiempo de recepción local de esta señal satelital, y, por lo tanto, incluye la distancia geométrica cubierta por la señal de radio del satélite. Además, la medición de la alineación entre la onda portadora de la señal satelital de GNSS recibida y una copia de tal señal generada dentro del receptor proporciona otra fuente de información para la determinación de la distancia aparente entre el satélite y el receptor. El observable correspondiente se llama el "fase portadora", que representa el valor integrado de la frecuencia Doppler debido al movimiento relativo del satélite transmisor y el receptor. Cualquier observación de pseudodistancia comprende contribuciones de errores inevitables, entre los que hay errores del receptor y del reloj del transmisor, al igual que retardos adicionales causados por la refracción distinta de cero de la atmósfera, retardos instrumentales, efectos del multitrayecto y ruido de detector. Cualquier observación de la fase portadora además comprende un número entero desconocido de ciclos de señal que han transcurrido antes de que se haya obtenido un bloqueo a esta alineación de señal; este número se denomina "ambigüedad de la fase portadora". Normalmente, se miden los observables; es decir, son muestreados por un receptor en tiempos consecutivos discretos. El índice para el tiempo en el que se mide un observable se denomina una "época". Los métodos de determinación de posición conocidos comúnmente implican un cálculo dinámico del valor numérico y un esquema de corrección para las distancias y los componentes de error, sobre la base de mediciones para los observables muestreados en épocas consecutivas.

[0004] Las siguientes definiciones se usan en este caso para definir conceptos adicionales que comúnmente se conocen y se usan en el campo de procesamiento de señales de GNSS. El término "medición" se refiere en este caso a un valor numérico muestreado resultante de la medición real de un observable. El término "modelo de estado dinámico" se refiere a las relaciones matemáticas entre la variables estáticas del sistema (es decir, una colección de cantidades variables que se asume que son suficientes para describir y predecir sin ambigüedad el comportamiento del sistema, pero que no se pueden medir directamente) y las mediciones (que son fotografías instantáneas de parámetros de sistema que se pueden medir, es decir, observables, pero, como tales, son insuficientes para predecir el comportamiento futuro del sistema), al igual que la evolución prevista de la variables estáticas del sistema en el tiempo. Las variables estáticas del sistema subyacente en el modelo estático del sistema se calculan dinámicamente y se corrigen intermitentemente sobre la base de mediciones nuevas. El término "estimación dinámica" de un parámetro se refiere en este caso al proceso de calcular reiteradamente un valor numérico para este parámetro en tiempos posteriores sobre la base del modelo estático del sistema, bien por medio de predicción de la evolución temporal supuesta de este parámetro, o por medio de la corrección del valor predicho sobre la base de mediciones adquiridas recientemente.

[0005] Se han propuesto diferentes métodos para el posicionamiento de punto preciso (PPP) con resolución de la ambigüedad de números enteros (IAR), donde se estiman las ambigüedades de la fase portadora en tiempo real, por medio de un modelo estático del sistema dinámico que se basa en medición de observables de GNSS por una red de estaciones de referencia. El mayor desafío en cada uno de estos métodos es definir un modelo de estado dinámico por medio del cual los cálculos de estado repetitivos se pueden calcular de manera estable numéricamente. Esto es esencial para obtener cálculos sólidos de corrección de GNSS y la posterior determinación de la posición precisa del móvil. No se da ninguna indicación con respecto a la manera en que tal sistema o método podría aplicarse en ausencia de tal red de estaciones de referencia. Consecuentemente, tales disposiciones son en

gran medida inapropiadas para ubicaciones remotas donde quizás solo una estación de referencia estará viendo el mismo conjunto de satélites que el receptor móvil.

Resumen

5 [0006] Sería conveniente proporcionar un sistema y un método adaptables y sólido numéricamente para el cálculo de correcciones de GNSS y un móvil complementario y un método para determinación de la posición del móvil.

10 [0007] Por lo tanto, según un primer aspecto, se proporciona un método para el cálculo de correcciones de GNSS para la transmisión a un móvil, utilizando un sistema de corrección de señales de GNS que comprende una estación de referencia y un transmisor de señales del sistema, donde el método comprende: - adquirir en la estación de referencia datos de GNSS que comprenden observaciones del sistema de pseudodistancia y observaciones del sistema de la fase portadora de una pluralidad de satélites de GNSS transmitidos por épocas múltiples; - aplicar datos de GNSS recibidos de la estación de referencia a un modelo estático del sistema dinámico teniendo las observaciones del sistema de pseudodistancia y las observaciones del sistema de la fase portadora como mediciones - calcular dinámicamente retardos del hardware del sistema de código y fase combinados con diferencia única de satélite, y - transmitir retardos del hardware del sistema de código y fase combinados al móvil en tiempo real por medio del transmisor de señales del sistema.

20 [0008] Los retardos de hardware de código y fase combinados del valor flotante de diferencia única de satélite, que forman un subconjunto de correcciones del GNSS, se calculan por medio del modelo estático del sistema dinámico para diferentes observaciones de la fase portadora y frecuencias del portador de la señal satelital. El adjetivo "de diferencia única de satélite" se refiere en este caso a una sola sustracción o diferencia entre dos parámetros asociados a dos satélites de GNSS diferentes, por ejemplo, un satélite de referencia seleccionado y otro satélite arbitrario. El adjetivo "de código y fase combinados" en este caso implica que el parámetro en cuestión se obtiene a partir de una operación matemática entre un parámetro estático de sistema de código original y un parámetro estático del sistema de fase original. La introducción de retardos de hardware de código y fase combinados produce una reducción del parámetro eficaz por la que se eliminan las singularidades en las ecuaciones estáticas del sistema, y por la que se obtiene un modelo de sistema dinámico de rango completo. El término "retardo" se utiliza en este caso para indicar una variable estática desconocido inicialmente (o "ambigüedad") que causa una retardación de la señal. Según corresponda, se debería interpretar en sentido amplio en este caso que un retardo también comprende retardos que tienen un valor negativo, correspondiente con una señal avanzada.

35 [0009] El uso de retardos de hardware del sistema de código y fase combinados (con valor flotante) de diferencia única de satélite en el modelo estático del sistema dinámico según este aspecto de la invención mejora la precisión de los cálculos de tiempo real cinemático de posicionamiento puntual preciso (PPP-RTK). Los resultados de las pruebas han indicado que para un móvil que reciba y aplique las correcciones de GNSS recibidas sobre la base de los principios descritos en este caso, es posible obtener una determinación de posición del móvil en tiempo real con una exactitud de 1 - 4 cm RMS o aún mejor, dependiendo de la distancia del móvil desde la estación/las estaciones de referencia que genera/n las correcciones. El modelo estático del sistema dinámico retiene las observaciones del sistema de pseudodistancia original y las observaciones del sistema de la fase portadora para estaciones de referencia diferentes como parámetros de medición de sistema diferentes, a diferencia de modelos observables acoplados en métodos conocidos (ver, por ejemplo, aquellos descritos en WO2011/034614) donde se introducen combinaciones lineales de observables de pseudodistancia y fase portadora y observaciones diferenciadas entre estaciones para eliminar ciertos parámetros de las ecuaciones del modelo de estado dinámico. Al retener los observables originales, el método propuesto se puede aplicar con una estación de referencia única o una red de estaciones de referencia múltiples y cualquier número de frecuencias. Una estación de referencia única ya bastará, pero el sistema puede adaptarse fácilmente para incluir cualquier número de estaciones de referencia con el fin de mejorar la exactitud del cálculo.

50 [0010] Preferiblemente, las observaciones se adquieren y los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados se actualizan a razón de 1 Hz o más. Como dato de importancia, también es preferible que la transmisión de tales retardos al móvil tenga lugar a razón de menos de una vez por minuto, preferiblemente, una vez por 20 s o incluso una vez por 10 s. Las mediciones pueden ser frecuencia única, frecuencia doble o multifrecuencia. Para sistemas de frecuencia doble o multifrecuencia cabe señalar que los retardos de fase y código para diferentes frecuencias se correlacionan en gran medida y un retardo único se puede transmitir con un índice de actualización alta de quizás una vez por 10-20 seg con la diferencia entre los retardos de frecuencia transmitidos a un índice de actualización muy inferior de quizás una vez por minuto o más. Ya que la diferencia entre frecuencias no cambia mucho debido a la alta correlación, se puede poner a disposición un ancho de banda adicional para la transmisión del retardo único.

60 [0011] En una forma de realización, el método para calcular correcciones de GNSS para la transmisión a un móvil usa un sistema de corrección de señal de GNS que comprende solo una estación de referencia única y el móvil y la estación de referencia forman una solución de línea base única.

65 [0012] A diferencia de esto, en el método cinemático en tiempo real (RTK) de la red de PPP descrito por Teunissen et al en ref.[1], donde los retardos del reloj de satélite con valor real también se calculan dinámicamente, se calcula

dinámicamente una solución de red RTK con diferencia de estación de referencia, y, por lo tanto, su método siempre necesita una red que comprenda estaciones de referencia múltiples.

5 [0013] Según una forma de realización del método de cálculo de corrección de GNSS, el modelo estático del sistema dinámico se define como se indica en la reivindicación 2.

10 [0014] En esta forma de realización del método de cálculo de corrección de GNSS, la estructura matemática del modelo estático del sistema dinámico es una de las ecuaciones estáticas casi idénticas para las observaciones de pseudodistancia originales y las observaciones del sistema de la fase portadora. En este modelo, se retienen los parámetros de corrección atmosférica locales asociados a estaciones de referencia individual, es decir, los retardos troposféricos y los retardos ionosféricos. Estos parámetros de corrección atmosférica pueden así calcularse y aprovecharse cuando son útiles, o, de lo contrario, pueden descartarse. Al separar las correcciones atmosféricas, que dependen en gran medida de la posición de la tierra, de otras correcciones que solo tienen una dependencia posicional débil, por ejemplo, retardos del hardware del sistema de código y fase combinados, los últimos pueden transmitirse separadamente al móvil a grandes distancias y ser aplicados posteriormente por el móvil en la resolución de su propio modelo estático dinámico. Por lo tanto, el sistema de corrección de señal de GNS propuesto no requiere que un móvil esté cerca de una estación de referencia de GNSS para recibir correcciones de GNSS útiles, menos aún tener acceso a una red de RTK de múltiples estaciones de referencia poco espaciadas. Además, como el modelo estático del sistema no se acopla en el dominio de frecuencia, el modelo estático del sistema dinámico de puede extender fácilmente para incluir señales de frecuencia de GNSS recientemente disponibles (por ejemplo, señal L5 de GPS).

25 [0015] Las ecuaciones estáticas para las observaciones del sistema de pseudodistancia en esta forma de realización deberían mínimamente comprender como variables estáticas, los retardos del hardware del sistema de código y código de valor flotante de diferencia única del satélite. De forma similar, las ecuaciones estáticas para las observaciones del sistema de la fase portadora en esta forma de realización deberían mínimamente comprender como variables estáticas, los retardos del hardware del sistema de código y fase de valor flotante de diferencia única del satélite. Aunque las expresiones para el modelo estático del sistema dinámico definido en la reivindicación 2 reflejan una selección preferida para la formación de un conjunto suficiente de variables estáticas, pueden concebirse algunas variaciones en la definición y/o la composición de la variables estáticas restantes (en la reivindicación 2, es decir, los retardos troposféricos del sistema, los sesgos del reloj de sistema de código, los sesgos del reloj de sistema de fase y las correcciones ionosféricas del sistema de diferencia única del satélite).

35 [0016] Aparte de esto, se puede suponer que cualquiera o todas las estaciones de referencia en el sistema de corrección de señal de GNS tienen posiciones fijas conocidas con respecto a la superficie de la tierra. Además, se puede suponer que también se conocen las posiciones satelitales de GNSS y las correcciones de reloj satelital, por ejemplo, de los datos de señal satelital, con correcciones precisas de la red de correcciones. La inserción de estas posiciones conocidas en el modelo de estado dinámico permite al sistema de corrección de señal de GNS focalizar en el cálculo dinámico de solo las contribuciones de error restantes a las observaciones del sistema de fase portadora y pseudodistancia.

[0017] Según una forma de realización, los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados se definen como se indica en la reivindicación 3.

45 [0018] En esta forma, los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados siguen una combinación lineal simple de un retardo de hardware de sistema de diferencia única de satélite y el retardo de hardware del sistema de código de diferencia única del satélite original.

50 [0019] Según una forma de realización del método, el sistema de corrección de señal de GNS comprende otra estación de referencia, y el método comprende: - estimar dinámicamente los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia simple de satélite para la estación de referencia y la estación de referencia adicional ;- asumir retardos de hardware de diferencia doble de estaciones y satélites, definidos por medio de

$$d_{\phi_i, p_1, b}^{s, ref}(t) - d_{\phi_i, p_1, a}^{s, ref}(t) = \lambda_i N_{i, a, b}^{s, ref}, \text{ para tener un valor de número entero } N_{i, a, b}^{s, ref} \in \mathbb{N}, \text{ y - determinar}$$

55 dinámicamente retardos de hardware de diferencia doble de estaciones y satélites a un valor de número entero.

[0020] Se enfatiza que se cree que el método según la presente invención es único en que este permite el posicionamiento preciso y la convergencia rápida con una estación de referencia única incluso cuando la distancia entre el móvil y la estación de referencia es grande (1000 km). Sin embargo, la exactitud de los cálculos dinámicos se puede mejorar si el sistema de corrección de señal de GNS implica dos o más estaciones de referencia. La designación de una de las estaciones de referencia en el sistema como la estación de referencia principal permite la expresión del modelo estático del sistema dinámico en retardos de hardware de código y fase combinados (valor flotante) de diferencia única del satélite para la estación de referencia principal, suplementado por retardos de hardware (valor de número entero) de diferencia doble de estaciones y satélites entre la estación de referencia principal y cada una de las estaciones de referencia adicionales. El último retardo de hardware teóricamente debería

ser un número entero. En esta forma de realización, la mejora resulta de presentar esta restricción de valor de número entero extra. El resultado de un primer paso de cálculo es una serie de retardos de hardware de valor real y una matriz de covarianza de sistema correspondiente. Las ambigüedades y las entradas matriciales entonces pueden usarse como entrada para un método de LAMBDA, que encuentra el conjunto estadísticamente favorecido de ambigüedades del número entero. Después de la aplicación de los valores de número entero descubiertos más probables, los resultados de la estimación del modelo estático del sistema se hará más preciso. El conjunto único resultante de retardos de hardware del sistema de código y fase combinados se puede transmitir al móvil en tiempo real por medio del transmisor de señales del sistema. La estructura matemática desacoplada para el modelo estático del sistema dinámico según esta forma de realización todavía permite una fácil extensión para incluir más estaciones de referencia y/o frecuencias de señal, y/o incluso otros sistemas de GNS.

[0021] Un método alternativo para el cálculo de correcciones de GNSS para la transmisión a un móvil usa un sistema de corrección de señal de GNS que comprende una estación de referencia y una estación de referencia adicional. En este caso, el sistema de corrección de señal de GNS puede llevar a cabo el método descrito anteriormente separadamente para la estación de referencia y para la estación de referencia adicional. Los retardos de hardware del sistema de código y fase combinados respectivos luego son transmitidos al móvil en tiempo real como conjuntos separados de datos de corrección, dando lugar a una solución de línea base múltiple. Se entiende que al menos uno de los conjuntos separados de datos de corrección se puede obtener a partir de una estación de referencia y una o varias estaciones de referencia adicionales como se describe en el párrafo precedente.

[0022] Según otra forma de realización ventajosa, el método puede comprender además la aplicación de una ponderación a los conjuntos separados de datos de corrección en el móvil. Pueden aplicarse varias consideraciones de ponderación dependiendo de la exactitud prevista de los conjuntos respectivos de datos. De la forma más preferible, la ponderación se basará al menos parcialmente en una distancia entre el móvil y la estación de referencia respectiva.

[0023] Tal método puede ser aplicable al caso de que la estación de referencia y la estación de referencia adicional estén relativamente cerca, en particular, cuando estén relativamente más cerca entre ellas de lo que están del móvil. De manera más importante, el método puede ser aplicable cuando las estaciones de referencia están relativamente más distantes entre sí de lo que están del móvil. En particular, el método puede proporcionar resultados precisos y rápidos aún cuando la estación de referencia adquiere datos de GNSS de una primera serie de satélites y la estación de referencia adicional adquiere datos de GNSS de un segundo conjunto de satélites al menos parcialmente diferente del primer conjunto.

[0024] Según una forma de realización, el método comprende: - calcular dinámicamente correcciones ionosféricas del sistema simultáneamente con retardos de hardware del sistema de código y fase combinados, y - transmitir correcciones ionosféricas del sistema al móvil por medio del transmisor de señales del sistema.

[0025] Las correcciones ionosféricas que se calculan dinámicamente por el centro de control del sistema (SCC) también se pueden transmitir al móvil si se desea. En particular, si el móvil está cerca del SCC, las correcciones atmosféricas estimadas son representativas de la posición del móvil, y pueden ser usadas por el móvil para mejorar la exactitud y/o la velocidad de convergencia de determinación de su posición. Las correcciones ionosféricas son estimadas separadamente para cada satélite. Si las estaciones de referencia están cerca una a la otra, se supone que las correcciones ionosféricas tienen el mismo valor para cada estación de referencia, aunque estos valores son diferentes para cada satélite. Se enfatiza nuevamente que el presente sistema y método no dependen de la presencia de tales correcciones ionosféricas y troposféricas, y pueden conseguir convergencia precisa en distancias significativas sin estas correcciones.

[0026] Según una otra forma de realización, el método comprende - calcular dinámicamente correcciones troposféricas simultáneamente con los retardos de hardware de código y fase combinados por medio del modelo estático del sistema dinámico, y - transmitir la corrección troposférica al móvil por medio del transmisor de señales del sistema.

[0027] Las correcciones troposféricas se pueden estimar como un retardo de cenit, que es el mismo para cada satélite. Para una elevación satelital arbitraria, el retardo de cenit se mapea a esa elevación usando una función de mapeo apropiada, que se puede tomar aproximadamente inversamente proporcional a la función de seno con la elevación como argumento.

[0028] Según otra forma de realización de este método, las correcciones ionosféricas de sistema se definen por

$$I_r^{s,ref}(t) = I_r^s(t) - I_r^{ref}(t) + d_{p1,r}^{s,ref}(t), \text{ donde } I_r^s(t) - I_r^{ref}(t) \text{ son correcciones ionosféricas con diferencia única del satélite, y } d_{p1,r}^{s,ref} \text{ son retardos de hardware del sistema de código con diferencia doble del satélite}$$

[0029] En cualquiera de las formas de realización anteriormente descritas, al menos uno de los retardos de hardware

del sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite, las correcciones ionosféricas del sistema y las correcciones troposféricas del sistema, y los retardos de hardware de diferencia doble de estaciones y satélites puede calcularse dinámicamente mediante unos cuadrados mínimos o el modelo estático del sistema dinámico basado en filtro Kalman.

5 [0030] Según un segundo aspecto, y complementario al método de cálculo de correcciones de GNSS descrito anteriormente con referencia al primer aspecto, se proporciona un método para determinar la posición en la tierra de un móvil, lo que comprende: - proporcionar el móvil que comprende un receptor móvil de GNSS en la posición en la tierra del móvil; - adquirir datos de GNSS que comprendan observaciones móviles de pseudodistancia y observaciones móviles de la fase portadora de una pluralidad de satélites de GNSS transmitidas en épocas múltiples; - recibir correcciones de GNSS de un sistema de corrección de señal de GNS en tiempo real. Las correcciones de GNSS comprenden retardos del hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia única de satélite estimadas dinámicamente por un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9; - aplicar retardos del hardware del sistema de código y fase combinados a un modelo estático del móvil dinámico teniendo las observaciones móviles de pseudodistancia y las observaciones móviles de fase portadora como mediciones, y - calcular dinámicamente la posición en la tierra del móvil por medio del modelo estático del móvil dinámico.

[0031] El método de determinación de posición del móvil propuesto según este aspecto puede ser en la superficie de la tierra o cerca de esta (por ejemplo, en un avión), y se configura para derivar su posición con respecto a la tierra basándose en sus propias observaciones de pseudodistancia y fase portadora, que forman entrada para el modelo estático del móvil dinámico. Este modelo estático del móvil también se proporciona con las correcciones de GNSS recibidas del SCC. El móvil puede aprovechar los retardos de hardware del sistema de código y fase combinados del SCC como una fuente extra de información para mejorar el tiempo de convergencia y/o la exactitud de sus propias estimaciones.

[0032] Según una forma de realización del método de determinación de posición del móvil, el modelo estático del móvil dinámico se define como se indica en la reivindicación 11.

[0033] El modelo estático del móvil dinámico en esta forma de realización de este método se estructura de manera matemáticamente idéntica al modelo estático de sistema dinámico en un método de cálculo de corrección de GNSS como se describe más arriba. Por lo tanto, los componentes de software (por ejemplo, clases, funciones numéricas, manipulación de errores, etc.) se pueden diseñar para sean intercambiables entre aplicaciones de software para el método de determinación de posición del móvil y aplicaciones de software para el método de cálculo de corrección de GNSS. Alternativamente, un sistema de software único se puede diseñar con todas las clases e interacciones requeridas para el procesamiento del modelo estático del sistema dinámico y el modelo estático del móvil dinámico. Tal sistema de software puede ser ejecutado por la unidad de procesamiento del sistema de corrección de señal de GNS o la unidad de procesamiento móvil, y su funcionalidad puede así fácilmente adaptarse a los requisitos de procesamiento.

[0034] Las ecuaciones estáticas para las observaciones móviles de pseudodistancia en esta forma de realización deberían comprender mínimamente como variables estáticas: las coordenadas de receptor móvil, al igual que los retardos de hardware móviles de código y código de valor flotante de diferencia doble de satélite. De forma similar, las ecuaciones estáticas para las observaciones móviles de la fase portadora en esta forma de realización mínimamente deberían comprender como variables estáticas: las coordenadas del receptor móvil, al igual que los retardos de hardware móvil de código y fase de valor flotante de diferencia única de satélite. Aunque las expresiones para el modelo estático del móvil dinámico definido en la reivindicación 11 reflejan una selección preferida para la formación de un conjunto suficiente de variables estáticas móviles, algunas variaciones en la definición y/o la composición de la variables estáticas restantes (en la reivindicación 11; es decir, pueden concebirse retardos troposféricos móviles, los sesgos de reloj móvil de código, los sesgos del reloj móvil de fase, y correcciones ionosféricas móviles de diferencia única de satélite).

[0035] Según una forma de realización, los retardos de hardware del móvil de código y fase combinados se definen

por $d_{\phi_i, p_1, m}^{s, ref}(t) = d_{\phi_i, m}^{s, ref}(t) + \gamma_i d_{p_1, m}^{s, ref}(t)$, donde $d_{\phi_i, m}^{s, ref}$ son retardos de hardware del móvil de fase de diferencia única del satélite, y $d_{p_1, m}^{s, ref}$ son retardos de hardware móvil de código de diferencia única del satélite, y

[0036] Según una forma de realización, el método comprende: - asumir retardos de hardware de diferencia doble de

móvil del sistema y los satélites $d_{\phi_i, p_1, m}^{s, ref}(t) - d_{\phi_i, p_1, r}^{s, ref}(t) = \lambda_i N_{i, m, r}^{s, ref}$, para tener un valor de número entero $N_{i, m, r}^{s, ref} \in \mathbb{N}$, y - fijar dinámicamente los retardos de hardware de diferencia doble del móvil del sistema y los satélites a un valor de número entero.

[0037] Por aplicación de retardos del hardware del sistema de código y fase combinados del SCC al modelo estático del móvil dinámico, los retardos de hardware de diferencia doble del móvil del sistema y los satélites deberían teóricamente convertirse en número entero. Sin embargo, no es posible calcular parámetros de número entero directamente. El resultado de un primer paso de estimación es una serie de retardos de hardware de valor real y su matriz de covarianza. Estos valores flotantes se pueden utilizar como entrada para un método de LAMBDA, que encuentra el conjunto estadísticamente favorecido de ambigüedades del número entero, aumentando así la cantidad de información disponible para el modelo estático del móvil dinámico para calcular los parámetros estáticos. En otra forma de realización del método, después de que los retardos de hardware de diferencia doble del móvil del sistema y los satélites hayan sido fijados dinámicamente a un valor de número entero, las observaciones móviles de la fase portadora en el modelo estático del sistema dinámico son definidos por:

$$\phi_{i,m}^s(t) - \lambda_i N_{i,m,r}^{s,ref} = R_m^s(t) + T_m^s(t) + b_{\phi_i,m}^{ref}(t) + d_{\phi_i,p1,r}^{s,ref}(t) - \gamma_i I_m^{s,ref}(t)$$

[0038] Después de fijar los valores de número entero más probables para los retardos de hardware de diferencia doble de móvil de sistema y satélites, el modelo estático del móvil dinámico se adapta para incluir estos valores de número entero fijados, de modo que el número de parámetros de la estimación disminuye y los resultados de estimación de posición del móvil se hacen más precisos.

[0039] Según una forma de realización, el método comprende: - recibir correcciones ionosféricas de sistema de corrección de señal de GNS estimadas por un método de acuerdo con la reivindicación 9; - obtener correcciones ionosféricas del sistema ponderado, sobre la base de una distancia calculada entre la posición de tierra del móvil y la posición de tierra de la estación, y - aplicar las correcciones ionosféricas del sistema ponderado al modelo estático del móvil dinámico, para mejorar la exactitud y/o el tiempo de convergencia de la estimación dinámica de la posición en tierra del móvil.

[0040] Generalmente se considera que la aportación de la ionosfera a la acumulación de errores en las observaciones de datos de GNSS es altamente variable como función de posición de la tierra. Al ponderar las correcciones ionosféricas recibidas del centro de control del sistema, el móvil puede variar la credibilidad y la importancia de las correcciones ionosféricas estimadas como función de su distancia al sistema de corrección de señal de GNS. La ponderación se puede conseguir, por ejemplo, usando coeficientes dependientes de distancia en una matriz de covarianza que es actualizada dinámicamente por el móvil a cada paso de estimación. Si el móvil está muy lejos, por ejemplo, a más de 100 km, se considera que los valores para los parámetros ionosféricos estimados por el sistema de corrección de señal de GNS no reflejan la contribución de error ionosférico local real en el sitio del móvil. En esta situación, el paso de ponderación excluye eficazmente la corrección ionosférica de los cálculos del modelo estático del móvil dinámico. Por el contrario, si el móvil de acerca a la estación de referencia, se supone que las correcciones ionosféricas del sistema de corrección de señal de GNS reflejan mejor la contribución de error en la posición del móvil. Entonces, cuando el móvil se acerca mucho al centro de control del sistema, aumenta el peso de las correcciones ionosféricas fiables, y el móvil es capaz de obtener temporalmente más información de medición asistiendo en el acortamiento del tiempo de convergencia, por ejemplo, fijando más rápido los retardos de hardware a valores de número entero. Incluso si el móvil posteriormente se aleja del centro de control del sistema, puede retenerse el bloqueo adquirido a los valores de número entero correctos para retardos de hardware de diferencia doble de móvil de sistema y satélites.

[0041] Según un tercer aspecto, y conforme a los efectos descritos anteriormente, se proporciona un sistema de corrección de señal de GNS para estimar y transmitir correcciones de GNSS a un móvil. El sistema de corrección de señal de GNS comprende: - una estación de referencia que comprende: - un receptor del sistema GNSS para adquirir datos de GNSS que comprenden observaciones del sistema de pseudodistancia y observaciones del sistema de fase portadora de una pluralidad de satélites de GNSS transmitidos por épocas múltiples; - un centro de control del sistema, configurado para recibir los datos de GNSS de la estación de referencia en tiempo real, y que comprende: - una unidad de procesamiento del sistema configurada para la aplicación de los datos de GNSS para un modelo estático de sistema dinámico que tiene las observaciones del sistema de pseudodistancia y las observaciones del sistema de la fase portadora como mediciones; - un transmisor de señales del sistema para transmitir señales al móvil; caracterizado en que la unidad de procesamiento del sistema está configurada para estimar dinámicamente las correcciones de GNSS que comprenden retardos del hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite para diferentes observaciones de fase portadora y frecuencias portadoras, por medio de las formas de realización del método descritas más arriba con referencia al primer aspecto; y en que el centro de control del sistema está configurado para transmitir los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados en tiempo real.

[0042] Según una forma de realización, el sistema de corrección de señal de GNS comprende solo una estación de referencia única.

[0043] Según otra forma de realización, el sistema de corrección de señal de GNS comprende otra estación de referencia, donde el centro de control del sistema se configura - para estimar dinámicamente retardos del hardware

del sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite para la estación de referencia y la otra estación de referencia, y - para fijar dinámicamente retardos de hardware de diferencia doble de estaciones y satélites a un valor de número entero según el método de la reivindicación 4.

5 [0044] El centro de control del sistema se puede situar remotamente desde cualquiera de las estaciones de referencia.

[0045] Según una forma de realización, el centro de control del sistema se configura para estimar dinámicamente de forma separada correcciones ionosféricas del sistema, y para la transmitir las correcciones ionosféricas del sistema al móvil por medio del transmisor de señales del sistema.

[0046] Según un cuarto aspecto, y conforme a los efectos descritos más arriba, se proporciona un móvil para cooperar con el sistema de corrección de señal de GNS, que comprende - un receptor móvil de GNSS para la adquisición de datos de GNSS que comprende observaciones del móvil de pseudosotancia y observaciones del móvil de la fase portadora de la pluralidad de satélites GNSS transmitidas en épocas múltiples, - un receptor de señal del móvil para recibir correcciones de GNSS del centro de control del sistema. Las correcciones de GNSS comprenden retardos de hardware de sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite y el móvil comprende una unidad de procesamiento del móvil configurada para aplicar los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados a un modelo estático de móvil dinámico con las observaciones del móvil de pseudosotancia y las observaciones del móvil de la fase portadora como mediciones, y para derivar una posición en tierra del móvil utilizando cualquiera de las formas de realización del método según el segundo aspecto.

[0047] Según una forma de realización, además de recibir las correcciones de GNSS del SCC, la unidad de procesamiento del móvil se configura para recibir enlaces de satélites geoestáticos o Internet (que no necesariamente son parte del sistema de corrección de GNS), los parámetros de corrección de la órbita y el reloj satelital y cualquiera de las otras correcciones tales como correcciones ionosféricas y troposféricas, y para aplicar los parámetros de corrección de la órbita y el reloj satelital recibidos al modelo estático del móvil dinámico. Por lo tanto, se entiende que que estos parámetros puede provenir de una fuente diferente o de la misma fuente como las correcciones de GNSS.

[0048] Según otra forma de realización, el móvil está dispuesto para recibir las correcciones ionosféricas del sistema del sistema de corrección de señal de GNS, donde la unidad de procesamiento móvil se configura para ponderar las correcciones ionosféricas del sistema sobre la base de una distancia calculada entre la posición de tierra de la estación de referencia y la posición en tierra del móvil, y para aplicar correcciones ionosféricas ponderadas al modelo estático del móvil dinámico, con el fin de mejorar un tiempo de exactitud y/o de convergencia para la estimación dinámica de la posición en tierra del móvil.

[0049] Según una forma de realización, el móvil comprende una interfaz de usuario que se configura para ajustar al menos un valor de matriz de covarianza del modelo estático del móvil dinámico, para mejorar una exactitud de estimación dinámica de un componente vertical de la posición en tierra del móvil.

[0050] Esta interfaz de usuario puede tomar cualquier forma adecuada, por ejemplo, un interruptor simple, o una entrada numérica para proporcionar realmente los valores de matriz de covarianza deseados en el modelo estático del móvil dinámico. Por medio de la interfaz de usuario, el usuario puede, en cualquier momento, ajustar la configuración del modelo estático del móvil dinámico para el móvil, por ejemplo, con solo accionar el interruptor para dejar el sistema cambiar a un conjunto diferente de valores de covarianza preseleccionados, o con la introducción manual de tales cambios. Por medio del ajuste de la configuración del modelo estático, la exactitud de estimación de, por ejemplo, el componente vertical de la posición de tierra del móvil se puede mejorar. Esta mejora puede estar acompañada de una exactitud reducida de los resultados de estimación horizontal, pero esto es de menor importancia si el usuario solo se interesa en cambios posicionales verticales del móvil, por ejemplo, cuando el móvil está sujeto a temblores o movimientos de las mareas.

[0051] Según un quinto aspecto, se proporciona un producto de programa informático configurado para proporcionar instrucciones para llevar a cabo un método según el cuarto aspecto, o un método según el quinto aspecto cuando se lo carga en una disposición de ordenador.

[0052] Según un sexto aspecto, se proporciona un medio legible por ordenador, que comprende un producto de programa informático según el quinto aspecto de la invención.

[0053] Según otro aspecto, y conforme a los efectos descritos más arriba, se proporciona una combinación de receptor móvil y sistema de corrección de señal de GNS, que comprende un sistema de corrección de señal de GNS según el primer aspecto, y un móvil según el segundo aspecto de la invención.
Breve descripción de los dibujos

[0054] Las formas de realización se describirán ahora, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los dibujos

esquemáticos anexos en los cuales los símbolos de referencia correspondientes indican partes correspondientes, y en los cuales:

La FIG. 1 muestra esquemáticamente una forma de realización de un sistema de corrección de señal de GNS y un móvil según la invención;

La FIG. 2 muestra un diagrama para un método de corrección de señal de GNS según una forma de realización de la invención;

La FIG. 3 muestra un diagrama para un método de determinación de posición del móvil según una forma de realización de la invención; y

La FIG. 4 muestra una configuración de la invención en la cual una estación de referencia adicional prevé una solución de línea base múltiple.

[0055] Las figuras están previstas para uso ilustrativo solamente, y no sirven como restricción del alcance ni la protección como lo establecen las reivindicaciones.

Descripción de las formas de realización

[0056] Existen diferentes abordajes de PPP o posicionamiento cinemático en tiempo real del posicionamiento puntual preciso (PPP RTK) cuyos métodos se pueden emplear para servicios de posicionamiento de GNSS preciso en tiempo real. La resolución de ambigüedad de número entero (IAR) es una técnica de clave para este tipo de servicios, y es necesaria para obtener soluciones rápidas y precisas. Más abajo, se dilucidan formas de realización de un método PPP RTK con IAR para mejorar la precisión y/o reducir el tiempo de convergencia de los servicios de posicionamiento de GNSS precisos en tiempo real. Como lo ilustra la Fig.1, el método propuesto usa un sistema de corrección de señal GNS 2 que comprende una o más estaciones de referencia 4a, 4b para computar continuamente retardos de hardware de valor flotante en las ecuaciones estáticas del portador satelital de señales de GNSS recibidas de una pluralidad de satélites de GNSS 26a-c. Una vez computados, estos retardos se pueden aplicar a datos de cualquier móvil o receptor móvil 30 situado a más de 1000 km de la red, para resolver ambigüedades en el modo PPP.

Este no solo supondrá convergencia más rápida (10-15 minutos), sino también en una solución más precisa. El método de corrección de GNSS basado en PPP RTK y el método de posicionamiento 30 del móvil aprovechan las observaciones del sistema de pseudodistancia P_r y las observaciones del sistema de la fase portadora Φ_r adquirida por las estaciones de referencia 4a, 4b, y observaciones del móvil de pseudodistancia P_m y observaciones del móvil de la fase portadora Φ_m adquiridas por el móvil 30 respectivamente. Además de correcciones de ambigüedad de la fase portadora, también pueden estimarse correcciones ionosféricas y troposféricas. Se demostrará que el método propuesto admite solo una estación de referencia principal única 4a para estimar los parámetros de interés.

[0057] En general, un servicio en tiempo real basado en el método PPP RTK propuesto requiere:

- señales de GNSS de la pluralidad de satélites de GNSS 26 a-c;
- el sistema de corrección de señal de GNS 2, que comprende:
 - una estación de referencia 4a o diferentes estaciones de referencia 4a, 4b para recibir el señales satelitales de GNSS ;
 - un centro de control del sistema (SCC) 12 para recolectar datos de estación de referencia, para procesar los datos de estación de referencia para generar correcciones de GNSS, para codificar correcciones y para distribuir correcciones codificadas para usuarios móviles;
 - enlaces de datos en tiempo real 18 entre al menos una estación de referencia 4a, 4b y el SCC 12, y
- el móvil o receptor móvil 30 configurado con software para procesamiento en tiempo real de datos de GNSS de receptor y correcciones de GNSS basadas en PPP RTK.

Modelo de medición de PPP

[0058] El siguiente modelo de estado dinámico para observaciones del sistema de pseudodistancia

$$P_r = \{ p_{i,r}^s(t) \}$$
 y observaciones del sistema de la fase portadora
$$\Phi_r = \{ \phi_{i,r}^s(t) \}$$
 (ambos en metros),
 adquiridos en la estación de referencia $r = 4a, 4b, \dots$ con respecto al satélite GNSS = 26a, 26b, ..., n en la frecuencia del portador $i = 1, 2, \dots, f$ y en el tiempo t, se conocen en la técnica:

$$\begin{aligned}
 p_{r,i}^s(t) &= R_r^s(t) + c\delta t_r(t) - c\delta t^s(t) \\
 &+ T_r^s(t) + \gamma_i I_r^s(t) \\
 &+ m_{p_{i,r}}^s(t) \\
 &+ d_{p_{i,r}} - d_{p_i}^s \\
 \phi_{i,r}^s(t) &= R_r^s(t) + c\delta t_r(t) - c\delta t^s(t) \\
 &+ T_r^s(t) - \gamma_i I_r^s(t) \\
 &+ m_{\phi_{i,r}}^s(t) \\
 &+ d_{\phi_{i,r}} - d_{\phi_i}^s \\
 &+ \lambda_i N_{i,r}^s + \varphi_{i,r} - \varphi_i^s
 \end{aligned} \tag{1}$$

Aquí, $R_r^s(t)$ es la distancia real $\|R_r(t) - R^s(t)\|$ entre la posición de estación conocida R_r de la estación de referencia r y la posición del satélite s , c es la velocidad de la luz, δt_r y δt^s son sesgos del reloj del receptor y sesgos del reloj del satélite, $T_r^s(t)$ son retardos troposféricos, $\gamma_i = \lambda_i^2 / \lambda_1^2$ con λ_i la longitud de onda portadora para frecuencia i , $I_r^s(t)$ son correcciones ionosféricas, $d_{p_{i,r}}^s, d_{p_i}^s, d_{\phi_{i,r}}^s, d_{\phi_i}^s$ son retardos de hardware (que pueden suponerse constantes durante un paso orbital satelital de varias horas), $N_{i,r}^s$ son ambigüedades de la fase portadora con valor de número entero y $\varphi_{i,r}, \varphi_i^s$ son ambigüedades iniciales de portador (que por lo general no son un número entero). De ahora en adelante, se ignorarán los efectos del multitrayecto m dados en eq. (1). No es posible resolver para todos parámetros en eq. (1), de modo que se realiza una reparametrización.

[0059] A continuación, se elucida una reparametrización propuesta de eq. (1), que produce retardos de hardware del sistema de código y fase combinados con diferencia única de satélite $dr = d_{\phi_i, p_{i,r}}^{s,ref}(t)$. Se supone que la mayor parte del sesgo de reloj satelital δt^s puede quitarse, por ejemplo, usando parámetros transmitidos por los satélites 26a-c en su mensaje de navegación, u otros parámetros más precisos determinados en (casi) tiempo real, y que solo permanece una parte residual $\epsilon^s(t)$ que cambia lentamente. Ya que las órbitas satelitales no son perfectas, también se sustituye un sesgo orbital residual que cambia lentamente $v_r^s(t)$ mapeado a lo largo de la línea visual. Pasando por alto el multitrayecto, los diferentes elementos de eq. (1) pueden describirse de la siguiente manera:

- Sesgo del reloj de sistema de código

$$b_{p_{i,r}}^{ref}(t) :$$

$$\begin{aligned}
 b_{p_{i,r}}^{ref}(t) &= c\delta t_r(t) + d_{p_{i,r}} - d_{p_i}^{ref} \\
 &- \epsilon^{ref}(t) + v_r^{ref}(t) \\
 &+ \gamma_i I_r^{ref}(t) \quad i = 1, \dots, f
 \end{aligned} \tag{2}$$

- retardos de hardware de sistema de código y código $d_{p_i, p_{i,r}}^{s,ref}(t) :$

Primer parámetro definido $d_{p_i,r}^{s,ref}$ como

$$d_{p_i,r}^{s,ref}(t) = -d_{p_i}^s + d_{p_i}^{ref} - e^s(t) + e^{ref}(t) + v_r^s(t) - v_r^{ref}(t) \quad i = 1, \dots, f \quad s = 1, \dots, n \quad s \neq ref \quad (3)$$

Los retardos del hardware de sistema de código y código se definen como

$$d_{p_i,p_{1,r}}^{s,ref}(t) = d_{p_i,r}^{s,ref}(t) - \frac{\gamma_1}{\gamma_1} d_{p_{1,r}}^{s,ref}(t) \quad i = 2, \dots, f \quad s = 1, \dots, n \quad s \neq ref \quad (4)$$

- 5 • Sesgos de reloj de sistema de la fase portadora

$b_{\phi_i,r}^{ref}(t)$:

$$b_{\phi_i,r}^{ref}(t) = c\delta t_r(t) + d_{\phi_i,r} - d_{\phi_i}^{ref} - e^{ref}(t) + v_r^{ref}(t) + \lambda_i N_{i,r}^{ref} + \varphi_{i,r} - \varphi_i^{ref} - \gamma_1 I_r^{ref}(t) \quad i = 1, \dots, f \quad (5)$$

- Retardos de hardware de sistema de código y fase

$dr = d_{\phi_i,p_{1,r}}^{s,ref}(t)$:

Primer parámetro definido $d_{\phi_i,r}^{s,ref}(t)$ como

$$d_{\phi_i,r}^{s,ref}(t) = -d_{\phi_i}^s + d_{\phi_i}^{ref} - e^s(t) + e^{ref}(t) + v_r^s(t) - v_r^{ref}(t) + \lambda_i N_{i,r}^s - \varphi_i^s - \lambda_i N_{i,r}^{ref} + \varphi_i^{ref} \quad i = 1, \dots, f \quad s = 1, \dots, n \quad s \neq ref \quad (6)$$

Luego, los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite se define como

$$d_{\phi_i,p_{1,r}}^{s,ref}(t) = d_{\phi_i,r}^{s,ref}(t) + \frac{\gamma_1}{\gamma_1} d_{p_{1,r}}^{s,ref}(t) \quad i = 1, \dots, f \quad s = 1, \dots, n \quad s \neq ref \quad (7)$$

15

- Los efectos ionosféricos en las observaciones de sistema de pseudodistancia Pr y las observaciones del sistema de fase portadora Φ_r se representan por medio de un conjunto de parámetros de corrección

ionosférica $I_r = \{I_r^{s,ref}(t)\}$ que se dejan para ser estimados por medio del método de cálculo de

corrección GNSS propuesto (en oposición a ser eliminados según varios métodos conocidos):

$$I_r^{s,ref}(t) = I_r^s(t) - I_r^{ref}(t) + d_{p_1,r}^{s,ref}(t)$$

$$s = 1, \dots, n \quad s \neq ref \quad (8)$$

5 [0060] La reparametrización propuesta produce el siguiente modelo estático de sistema dinámico 60:

$$p_{i,r}^s(t) = R_r^s(t) + T_r^s(t) + b_{p_1,r}^{ref}(t) + d_{p_1,p_1,r}^{s,ref}(t) + \gamma_i I_r^{s,ref}(t)$$

$$\phi_{i,r}^s(t) = R_r^s(t) + T_r^s(t) + b_{\phi_i,r}^{ref}(t) + d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t) - \gamma_i I_r^{s,ref}(t) \quad (9)$$

Por medio de esta transformación, la estructura matemática de ambos tipos de observación se vuelve tal que se

10 pueden estimar todos los parámetros. Se debe tener en cuenta que $d_{p_1,p_1,r}^{ref}(t)$ es cero. Además, se puede asumir que se conocen la posición de la estación de referencia R_r y la posición satelital, por ejemplo, a partir del

conocimiento previo u otras fuentes, de modo que la distancia real $R_r^s(t) = \|R_r(t) - R^s(t)\|$ entre la posición de estación de referencia conocida R_r y la posición satelital es conocida, y no es necesario calcularla.

15 [0061] Como lo ilustra la Fig., se propone un sistema de corrección de GNSS 2 estimando y transmitiendo las correcciones de GNSS al móvil 30 sobre la base del modelo estático de sistema dinámico 60 en eq. (9). En general, el sistema de corrección de señal de GNS 2 propuesto comprende:

- al menos una estación de referencia 4a, 4b, que dispone de:
 - un receptor de sistema GNSS 10 para adquirir datos de GNSS que comprende observaciones del sistema de pseudodistancia P_r y observaciones de sistema de fase portadora Φ_r de satélites de GNSS 26a-c transmitidas en épocas múltiples;
- el centro de control del sistema 12, que se configura para recibir los datos de GNSS de al menos una estación de referencia en tiempo real, y que comprende:
 - una unidad de procesamiento del sistema 14 configurada para la aplicación de los datos de GNSS al modelo estático de sistema dinámico 60 que tiene, para diferentes estaciones de referencia, observaciones del sistema de pseudodistancia P_r y observaciones de sistema de la fase portadora Φ_r como mediciones;
 - un transmisor de señales del sistema 16 para transmitir las correcciones de GNSS al móvil 30 en tiempo real.

20 La unidad de procesamiento del sistema 14 se configura para estimar dinámicamente las correcciones de GNSS que comprenden retardos del hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite

$dr = \{ d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t) \}$ para distintas observaciones del sistema de la fase portadora Φ_r y frecuencias portadoras i, por medio del modelo estático del sistema dinámico 60.

25 [0062] Adicionalmente, el método de corrección de GNSS propuesto puede comprender la estimación dinámica de las correcciones ionosféricas del sistema I_r simultáneamente con los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados dr, y la transmisión de las correcciones ionosféricas de sistema I_r al móvil 30 por medio del transmisor de señales del sistema 16. Conforme a eq.(8), las correcciones ionosféricas del sistema I_r en el método

de corrección de GNSS se pueden definir por $I_r^{s,ref}(t) = I_r^s(t) - I_r^{ref}(t) + d_{p_1,r}^{s,ref}(t)$, donde

30 $I_r^s(t) - I_r^{ref}(t)$ son correcciones ionosféricas de diferencia única del satélite y $d_{p_1,r}^{s,ref}$ son los retardos de hardware del sistema de código de diferencia única del satélite. Además, se puede hacer una aproximación a los

retardos troposféricos $T_r = \{ T_r^s(t) \}$ por medio de

$$T_r^s(t) = M_d(E(t))T_{d,z} + M_w(E(t))T_{w,z} + M_\Delta(E(t))\{G_N \cos(A(t)) + G_E \sin(A(t))\} \quad (10)$$

donde $T_{d,z}$ y $T_{w,z}$ con los retardos cenitales secos (hidrostático) y húmedos, A y E son el azimut y la elevación del satélite, G_N y G_E son los elementos de un vector gradiente horizontal y M_d , M_w y M_Δ son funciones de mapeo. En

este modelo se desconocen los retardos de cenit (o correcciones a algunos valores a priori) y los elementos del vector gradiente. Los elementos del vector gradiente son generalmente pequeños y pueden ser ignorados, dejando solo el retardo cenital. Como el retardo cenital seco es previsible o conocido, solo queda por estimar el retardo cenital húmedo.

5 [0063] Correspondientemente, el centro de control del sistema 12 en el sistema de corrección de señal de GNS 2 se puede configurar para estimar dinámicamente de forma separada las correcciones ionosféricas del sistema Ir y/o las correcciones troposféricas del sistema Tr, y transmitir las correcciones ionosféricas del sistema Ir y/o las correcciones troposféricas del sistema Tr al móvil 30 por medio del transmisor de señales del sistema 16.

10 Método PPP RTK ejemplar

15 [0064] A continuación, y con referencia a la Fig.2, se presentan ejemplos específicos del sistema de corrección de GNSS 2 general y el sistema de corrección 2, donde hay presente (como mínimo) dos estaciones de referencia distanciadas cercanamente 4a, 4b. Cada una de las estaciones de referencia 4a, 4b puede adquirir observaciones del sistema de pseudodistancia Pr y observaciones del sistema de la fase portadora Φ_r de una pluralidad de satélites de GNSS 26a-26c (en la Fig.2, solo se muestra el satélite 26b) transmitidas en épocas múltiples. Las observaciones recibidas por las estaciones de referencia 4a, 4b se suministran al centro de control 12 que tiene una unidad de procesamiento del sistema 14 configurada para el procesamiento del modelo estático de sistema dinámico 60, sobre la base de observaciones del sistema de pseudodistancia Pr y observaciones de sistema de fase portadora Φ_r como mediciones. El modelo estático de sistema dinámico 60 puede alternativamente ejecutar predicciones estáticas del sistema 62 y correcciones estáticas del sistema 64, por ejemplo, por medio de la implementación usando técnicas de filtro de Kalman para que los cuales en la técnica se conocen principios básicos. Las predicciones estáticas de sistema 62 son actualizaciones temporales de las variables estáticas del sistema basadas en modelos de propagación física que no se mencionarán en el presente documento. Si los periodos de predicción son relativamente cortos, una matriz de identidad simple puede ser suficiente como matriz de transición. Las correcciones estáticas del sistema 64 son actualizaciones de medición de las variables estáticas de sistema basadas en los últimos valores de medición para los observables. El modelo estático del sistema 60 admite estimaciones dinámicas de retardos del hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite dr para diferentes observaciones de la fase portadora (acción 66).

20 [0065] Además, el centro de control del sistema 12 se puede configurar para estimar dinámicamente las correcciones ionosféricas del sistema Ir (acción 68), y para transmitir las correcciones ionosféricas del sistema al móvil 30 por medio del transmisor de señales 16 del sistema (acción 70). Cualquiera de las acciones anteriormente descritas según se ilustra en la Fig.2 puede estar presente en el método de cálculo de corrección GNSS general, incluyendo solo una estación de referencia 4a o diferentes estaciones de referencia 4a, 4b.

35 [0066] En el ejemplo particular con dos estaciones de referencia 4a, 4b indexadas por $r=a, b$, que además se supone que están situadas una cerca de la otra, se deduce que

$$\begin{aligned}
 v_a^s &= v_b^s = v^s \\
 T_a^s &= T_b^s = T^s \\
 I_a^s &= I_b^s = I^s \\
 d_{p_i,a}^{s,ref} &= d_{p_i,b}^{s,ref} = d_{p_i}^{s,ref} \\
 d_{p_i,p_1,a}^{s,ref} &= d_{p_i,p_1,b}^{s,ref} = d_{p_i,p_1}^{s,ref} \\
 I_a^{s,ref} &= I_b^{s,ref} = I^{s,ref}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

40 Esto conduce las siguientes ecuaciones estáticas del sistema dinámico PPP simplificadas 60:

$$\begin{aligned}
 p_{i,a}^s(t) &= R_a^s(t) + T^s(t) + \gamma_i I^{s,ref}(t) + b_{p_i,a}^{ref}(t) + d_{p_i,p_1}^{s,ref}(t) \\
 \phi_{i,a}^s(t) &= R_a^s(t) + T^s(t) - \gamma_i I^{s,ref}(t) + b_{\phi_{i,a}}^{ref}(t) + d_{\phi_{i,p_1,a}}^{s,ref}(t) \\
 p_{i,b}^s(t) &= R_b^s(t) + T^s(t) + \gamma_i I^{s,ref}(t) + b_{p_i,b}^{ref}(t) + d_{p_i,p_1}^{s,ref}(t) \\
 \phi_{i,b}^s(t) &= R_b^s(t) + T^s(t) - \gamma_i I^{s,ref}(t) + b_{\phi_{i,b}}^{ref}(t) + d_{\phi_{i,p_1,b}}^{s,ref}(t)
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

El observable del sistema de la fase portadora $\phi_{i,b}^s(t)$ para la estación de referencia adicional 4b puede escribirse como:

$$\begin{aligned} \phi_{i,b}^s(t) &= R_b^s(t) + T^s(t) - \gamma_i I^{s,ref}(t) + b_{\phi_{i,b}}^{ref}(t) \\ &+ d_{\phi_{i,p1,a}}^{s,ref}(t) + d_{\phi_{i,p1,b}}^{s,ref}(t) - d_{\phi_{i,p1,a}}^{s,ref}(t) \\ &= R_b^s(t) + T^s(t) - \gamma_i I^{s,ref}(t) + b_{\phi_{i,b}}^{ref}(t) + d_{\phi_{i,p1,a}}^{s,ref}(t) + d_{\phi_{i,p1,a,b}}^{s,ref}(t) \\ &= R_b^s(t) + T^s(t) - \gamma_i I^{s,ref}(t) + b_{\phi_{i,b}}^{ref}(t) + d_{\phi_{i,p1,a}}^{s,ref}(t) + \lambda_i N_{i,a,b}^{s,ref} \end{aligned} \quad (13)$$

donde $N_{i,a,b}^{s,ref} = \{N_{i,a,b}^{s,ref}\}$ son retardos de hardware de diferencia doble de estaciones y satélites (es decir, diferencias entre cuatro parámetros asociados a dos satélites diferentes y dos estaciones de referencia diferentes), definidos entre la estación de referencia principal 4a y la otra estación de referencia 4b. Estos retardos de hardware

Nab teóricamente deberían tener valores de número íntegro $N_{i,a,b}^{s,ref} \in \mathbb{N}$, conforme a

$$d_{\phi_{i,p1,b}}^{s,ref}(t) - d_{\phi_{i,p1,a}}^{s,ref}(t) = \lambda_i N_{i,a,b}^{s,ref}.$$

Las estimaciones dinámicas basadas en el modelo estático del sistema dinámico 60 en este ejemplo específico están simplificadas, debido al reducido número de parámetros que es necesario estimar. En esta forma de realización, la mejora resulta por la presentación de la restricción del número entero a los retardos de hardware de diferencia doble de estaciones y satélites Nab. El resultado de un primer paso de cálculo es una serie de retardos de hardware de valor real y una matriz de covarianza de sistema correspondiente.

$$dr = \{d_{\phi_{i,p1,b}}^{s,ref}(t) - d_{\phi_{i,p1,a}}^{s,ref}(t)\},$$

y una matriz de covarianza del sistema correspondiente. Los retardos del hardware del sistema dr y las entradas de la matriz de covarianza se pueden utilizar como entrada para un método de LAMBDA (u otro método de estimación de número entero adecuado muy probablemente conocido por la persona experta), que se puede usar para encontrar el conjunto favorecido estadísticamente de retardos de hardware de número entero Nab (acción 72). Después de cualquier decisión de que los retardos de hardware se han fijado exitosamente a un valor de número entero (acción 78), los valores de número entero más probables para Nab se aplicarán al modelo estático del sistema dinámico 60 (acción 80), y los resultados de estimación del modelo estático del sistema dinámico 60 se harán más precisos. Si la fijación de número entero no resulta exitosa, el modelo estático del sistema dinámico 60 continuará con la estimación de valor flotante del retardos del hardware de sistema dr (acción 76) según eq. (12).

[0067] Por consiguiente, en esta forma de realización ejemplar, el sistema de corrección de señal de GNS 2 comprende la estación de referencia principal 4a y la otra estación de referencia 4b, y el centro de control del sistema 12 se configura - para estimar dinámicamente los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite dr para la estación de referencia 4a y la otra estación de referencia 4b, y - para fijar dinámicamente los retardos de hardware de diferencia doble de estaciones y satélites Nab a un valor de número entero como se describe anteriormente.

[0068] Ahora se describen las opciones de implementación para el modelo estático del sistema dinámico 60. Nuevamente, la estructura matemática desacoplada para el modelo estático del sistema dinámico 60 según esta forma de realización permite la fácil extensión para incluir más estaciones de referencia y/o frecuencias portadoras fi, e incluso otros sistemas de GNS. Al seleccionar el último satélite como satélite de referencia y al omitir el argumento temporal, el modelo de medición para una época de datos de doble frecuencia está dado por una ecuación de matriz de estado del sistema dinámico

$$y = Ax \quad (14)$$

con y que representa un vector de valores observados menos valores computarizados para la distancia y la fase portadora, x que representa un vector de los parámetros estáticos, y A que representa una matriz de transformación de estado a observaciones. En particular, tenemos

$$\begin{aligned}
 y &= \begin{pmatrix} (p_{1,a} - R_a)^T & (p_{2,a} - R_a)^T & (\phi_{1,a} - R_a)^T & (\phi_{2,a} - R_a)^T & \dots \\ \dots & (p_{1,b} - R_b)^T & (p_{2,b} - R_b)^T & (\phi_{1,b} - R_b)^T & (\phi_{2,b} - R_b)^T \end{pmatrix}^T \\
 x &= \begin{pmatrix} b_{p_{1,a}}^n & b_{p_{2,a}}^n & b_{\phi_{1,a}}^n & b_{\phi_{2,a}}^n & b_{p_{1,b}}^n & b_{p_{2,b}}^n & b_{\phi_{1,b}}^n & b_{\phi_{2,b}}^n & ZD & \dots \\ \dots & I^{n,T} & d_{p_{2,p_1}}^{n,T} & d_{\phi_{1,p_1,a}}^{n,T} & d_{\phi_{2,p_1,a}}^{n,T} & N_{1,a,b}^{n,T} & N_{2,a,b}^{n,T} \end{pmatrix}^T
 \end{aligned} \tag{15}$$

$$A = \begin{pmatrix}
 \begin{matrix}
 e_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{n,a} & \gamma_1 E_{n \times (n-1)} & \dots \\
 0 & e_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{n,a} & \gamma_2 E_{n \times (n-1)} & \dots \\
 0 & 0 & e_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{n,a} & -\gamma_1 E_{n \times (n-1)} & \dots \\
 0 & 0 & 0 & e_n & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{n,a} & -\gamma_2 E_{n \times (n-1)} & \dots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & e_n & 0 & 0 & 0 & f_{n,b} & \gamma_1 E_{n \times (n-1)} & \dots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e_n & 0 & 0 & f_{n,b} & \gamma_2 E_{n \times (n-1)} & \dots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e_n & 0 & f_{n,b} & -\gamma_1 E_{n \times (n-1)} & \dots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e_n & f_{n,b} & -\gamma_2 E_{n \times (n-1)} & \dots
 \end{matrix} \\
 \dots & & 0 & & 0 & & 0 & & 0 & & 0 \\
 \dots & E_{n \times (n-1)} & & & 0 & & 0 & & 0 & & 0 \\
 \dots & & 0 & E_{n \times (n-1)} & & & 0 & & 0 & & 0 \\
 \dots & & 0 & & 0 & E_{n \times (n-1)} & & & 0 & & 0 \\
 \dots & & 0 & & 0 & & 0 & & 0 & & 0 \\
 \dots & E_{n \times (n-1)} & & & 0 & & 0 & & 0 & & 0 \\
 \dots & & 0 & E_{n \times (n-1)} & & & 0 & \lambda_1 E_{n \times (n-1)} & & & 0 \\
 \dots & & 0 & & 0 & E_{n \times (n-1)} & & & 0 & \lambda_2 E_{n \times (n-1)} &
 \end{pmatrix} \tag{16}$$

5 donde

$$\begin{aligned}
 p_{i,j} &= \left(p_{i,j}^1 \quad \dots \quad p_{i,j}^n \right)^T \\
 \phi_{i,j} &= \left(\phi_{i,j}^1 \quad \dots \quad \phi_{i,j}^n \right)^T \\
 R_j &= \left(R_j^1 \quad \dots \quad R_j^n \right)^T \\
 e_a &= \left(1 \quad \dots \quad 1 \right)^T \\
 I^n &= \left(I^{1,a} \quad \dots \quad I^{n-1,a} \right)^T \\
 d_{p_2,p_1}^n &= \left(d_{p_2,p_1}^{1,n} \quad \dots \quad d_{p_2,p_1}^{n-1,n} \right)^T \\
 d_{\phi_i,p_1,a}^n &= \left(d_{\phi_i,p_1,a}^{1,n} \quad \dots \quad d_{\phi_i,p_1,a}^{n-1,n} \right)^T \\
 N_{i,a,b}^n &= \left(N_{i,a,b}^{1,n} \quad \dots \quad N_{i,a,b}^{n-1,n} \right)^T
 \end{aligned} \tag{17}$$

con $i = 1, 2$ y $j = a, b$. La matriz $E_{n \times (n-1)}$ está dada por

$$E_{n \times (n-1)} = \begin{pmatrix} I_{n-1} \\ 0_{n-1}^T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & \ddots & & \\ & & & 1 \\ 0 & \dots & & 0 \end{pmatrix} \tag{18}$$

Finalmente, los vectores $f_{n,a}$ y $f_{n,b}$ contienen valores de función de mapeo troposféricas para cada satélite. En general, se supone que $f_{n,a} \neq f_{n,b}$, pero cuando las estaciones están cerca una de la otra, obtenemos $f_{n,a} \approx f_{n,b} = f_n$. Como resultado, la matriz de diseño A ya no es de rango completo, y no es posible resolver todos los parámetros una época de una época de dato. Como se ha mencionado anteriormente, el parámetro troposférico desconocido T^s consiste en un retardo cenital troposférico ZD solamente, que cambia lentamente y fácilmente con el tiempo y puede, por lo tanto, ser modelado utilizando un simple filtro de Kalman. Cuando la geometría de satélite y receptor cambia, lo mismo hacen los elementos de f_n . Como resultado, para más de una época de datos, es posible estimar todos los parámetros. Se asume que la geometría de satélite y receptor cambia solo lentamente con el tiempo, de modo que, para que todos los parámetros puedan estimarse, es posible que el intervalo de tiempo a considerar deba ser grande, es decir, del orden de decenas de segundos. Los parámetros que se usarán en este ejemplo como de

correcciones de GNSS basadas en PPP RTK para la transmisión a un móvil 30 comprenden $d_{\phi_i, p_1, r}^n$ y también pueden comprender I^n , $d_{p_2, p_1, r}^n$ y ZD. En adelante se dilucida el uso de las correcciones de GNSS por un móvil 30 en general.

Móvil

[0069] Las formas de realización de un móvil 30 y un método para la determinación de una posición móvil Rm, que funcionan complementarios a los sistemas de corrección de señal GNS 2 y métodos de cálculo de corrección de GNSS descritos anteriormente se dilucidan a continuación con referencia a la Fig.3. En general, el móvil 30 comprende: - un receptor móvil de GNSS 32 para adquirir datos de GNSS que comprende observaciones del móvil de pseudodistancia Pm y observaciones del móvil de la fase portadora Φ_m de la pluralidad de satélites de GNSS 26a-26c (en la Fig.3, solo se muestra el satélite 26b) transmitidas en épocas múltiples, y - un receptor de señal del móvil 34 para recibir correcciones de GNSS del centro de control de sistema 12 del sistema de corrección de señal de GNS 2. Las correcciones de GNSS recibidas por el móvil 30 comprenden los retardos de hardware de sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite dr recibidas del sistema de corrección de señal GNS 2, y el móvil 30 comprende una unidad de procesamiento del móvil 38 que se configura para la aplicación del retardos de hardware de sistema de código y fase combinados dr a un modelo estático del móvil dinámico 90 con las observaciones del móvil de pseudodistancia Pm y las observaciones del móviles de la fase portadora Φ_m como mediciones, y para derivar una posición en la tierra del móvil Rm utilizando el método de corrección de GNSS.

[0070] Para el método de determinación de posición propuesto en general, el modelo estático del móvil dinámico 90 es definido por:

$$p_{i,m}^s(t) = R_m^s(t) + T_m^s(t) + b_{p_i,m}^{ref}(t) + d_{p_i,p_1,m}^{s,ref}(t) + \gamma_i I_m^{s,ref}(t)$$

$$\phi_{i,m}^s(t) - d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t) = R_m^s(t) + T_m^s(t) + b_{\phi_i,m}^{ref}(t) + d_{\phi_i,p_1,m}^{s,ref}(t) - d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t) - \gamma_i I_m^{s,ref}(t) \quad (19)$$

5 donde s es un índice satelital, m es un índice del móvil, i es un índice de frecuencia del portador, $p_{i,m}^s(t)$ son las observaciones del móvil de pseudodistancia P_m , $\phi_{i,m}^s(t)$ son las observaciones del móvil de la fase portadora Φ_m , $R_m^s(t)$ son distancias $\|R_m(t) - R^s(t)\|$ entre la posición en tierra del móvil R_m y una posición satelital de GNSS, $T_m^s(t)$ son retardos troposféricos del móvil, $b_{p_i,m}^{ref}(t)$ y $b_{\phi_i,m}^{ref}(t)$ son sesgos del reloj del móvil de código y sesgos del reloj del móvil de fase, respectivamente, $d_{p_i,p_1,m}^{s,ref}(t)$ son los retardos de hardware del móvil de código y código combinados (valor flotante) de diferencia única del satélite d_m , $d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t)$ son los retardos de hardware del móvil de código y fase combinados (valor flotante) de diferencia única del satélite d_m , $I_m^{s,ref}(t)$ son los retardos de hardware del sistema de código y fase combinados (valor flotante) de diferencia única del satélite d_m recibidos, $I_m^{s,ref}(t)$ son las correcciones ionosféricas el móvil de diferencia única del satélite I_m , y $\gamma_i = \lambda_i^2 / \lambda_1^2$, con λ_i una longitud de onda portadora para la frecuencia portadora correspondiente f_i .

15 [0071] A partir de la inspección de eq. (19), parece que los retardos del hardware del sistema d_r generados por el NCC inicialmente se aplican al modelo estático del móvil dinámico 90 sin efecto neto, y que el modelo estático del móvil dinámico 90 comprende ecuaciones estáticas que son matemáticamente similares a aquellas que están en eq. (9). La unidad de procesamiento del móvil 38 se configura para el procesamiento del modelo estático del móvil dinámico 90 sobre la base de estas observaciones del móvil P_m , Φ_m como mediciones, donde valores numéricos para la posición móvil R_m , los sesgos del reloj del receptor, las correcciones troposféricas e ionosféricas del móvil T_m , I_m , y los retardos de hardware, indicados en eq. (19), se estiman dinámicamente (acciones 92 y 94). El procesamiento con el modelo estático del móvil dinámico 90 puede alternativamente producir predicciones estáticas del móvil 92 (es decir, actualizaciones temporales de la variables estáticas del móvil basadas en cualquier modelo de propagación física conocido, que no se describirá en este caso) y correcciones estáticas del móvil 94 (es decir, actualizaciones de mediciones de la variables estáticas del móvil basada sen los últimos valores de medición para los observables), por ejemplo, por medio de la implementación basada en un filtro de Kalman. El procesamiento con el modelo estático del móvil 90 produce estimaciones dinámicas de los retardos de hardware del móvil de código y fase combinados de diferencia única del satélite d_m para diferentes observaciones móviles de la fase portadora (acción 96), y estimaciones dinámicas de la posición del móvil R_m (acción 98). Los retardos de hardware del móvil estimados d_m se combinan con los retardos del hardware del sistema recibidos d_r para lograr efectos beneficiosos explicados a continuación.

35 [0072] En general, un "parámetro de línea base" se define como una diferencia única entre dos parámetros simultáneos de una misma cantidad x a ubicaciones remotas. Al indicar las estaciones en ambos extremos de la línea base b por r (por ejemplo, la estación de referencia 4a) y m (por ejemplo, móvil30), obtenermos un parámetro de línea base arbitrario $x_b(t)$ medido con el tiempo t :

$$x_b(t) = x_m(t) - x_r(t) \quad (20)$$

40 En general, los tiempos de medición para observaciones en el móvil difieren de aquellas por observaciones en la estación de referencia.. Eq.(20) se puede generalizar para diferentes tiempos de medición $t_r \neq t_m$

$$x_b(t_m, t_r) = x_m(t_m) - x_r(t_r) \quad (21)$$

Para pequeñas diferencias de tiempo $t_m - t_r$ se puede escribir

$$\begin{aligned}
 x_b(t_m, t_r) &= x_m(t_m) - x_r(t_r) \\
 &= x_m(t_m) - x_r(t_m + t_r - t_m) \\
 &\approx x_m(t_m) - x_r(t_m) - \left. \frac{dx_r}{dt} \right|_{t_m} (t_r - t_m) \\
 &= x_b(t_m) - \left. \frac{dx_r}{dt} \right|_{t_m} (t_r - t_m)
 \end{aligned} \tag{22}$$

5 [0073] Para diferencias de tiempo insignificantes, solo el primer término en esta aproximación debería bastar. En particular para los retardos de hardware del móvil o el sistema de código y fase combinados d_r, d_m , se obtienen los siguientes retardos de hardware de línea base

$$d_{\phi_i, p_1, b}^{s,ref}(t) = d_{\phi_i, p_1, m}^{s,ref}(t) - d_{\phi_i, p_1, r}^{s,ref}(t) \tag{23}$$

Si los sesgos orbitales y el multitrayecto están ausentes, los retardos de hardware de línea base se reducen a

$$d_{\phi_i, p_1, m}^{s,ref}(t) - d_{\phi_i, p_1, r}^{s,ref}(t) = \lambda_i N_{i, m, r}^{s,ref} \tag{24}$$

10 [0074] Aquí $N_{i, m, r}^{s,ref} = \{ N_{i, m, r}^{s,ref} \}$ son retardos de hardware de diferencia doble del móvil del sistema y los satélites. Los retardos de hardware $N_{i, m, r}^{s,ref}$ se pueden aprovechar para la reducción de parámetros método de determinación de posición del móvil basado en PPP RTK propuesto.

15 [0075] El resultado de un paso de estimación dinámica inicial utilizando el modelo estático del móvil dinámico 90 es

una serie de retardos de hardware de código y fase combinados de valor real $d_{\phi_i, p_1, m}^{s,ref}(t) - d_{\phi_i, p_1, r}^{s,ref}(t)$, que en teoría debería ser un número entero de ciclos $N_{i, m, r}^{s,ref}$, multiplicado por una longitud de onda portadora (ver más arriba) y una matriz de covarianza de sistema correspondiente. Estos retardos del hardware y sus entradas matriciales de covarianza correspondiente se pueden utilizar como entrada para un método de LAMBDA (o otro método de estimación de número entero adecuado muy probablemente conocido por la persona experta), que se puede usar para encontrar un conjunto favorecido estadísticamente de valores de número entero para los retardos de hardware $N_{i, m, r}^{s,ref}$ (acción 100). Después de una decisión de que los retardos de hardware se han fijado exitosamente a un valor de número entero (acción 106), los valores de número entero más probables para los retardos de hardware $N_{i, m, r}^{s,ref}$ se aplicarán al modelo estático del móvil dinámico 90 (acción 108), y los resultados de estimación del modelo estático del móvil dinámico 90 se harán más precisos. Después de la fijación exitosa de los retardos de hardware de diferencia doble de móvil de sistema y satélites $N_{i, m, r}^{s,ref}$ a un valor de número entero (acción 106), se aplican los retardos del hardware $N_{i, m, r}^{s,ref}$ (acción 108) dejando a la ecuación estática para la observación móvil de la fase portadora Φ_m asumir la forma:

$$\phi_{i, m}^s(t) - d_{\phi_i, p_1, r}^{s,ref}(t) - \lambda_i N_{i, m, r}^{s,ref} = R_m^s(t) + T_m^s(t) + b_{\phi_i, m}^{ref}(t) - \gamma_i I_m^{s,ref}(t) \tag{25}$$

20 [0076] Las estimaciones dinámicas basadas en este modelo estático del móvil dinámico 90 son, de este modo, simplificadas, debido al número reducido de parámetros que es necesario estimar. Si la fijación del número entero no resulta exitosa, el modelo estático del móvil dinámico 90 continuará con la estimación del valor flotante de los retardos de hardware móvil $N_{i, m, r}^{s,ref}$ (acción 104) según eq. (19).

35 [0077] Correspondientemente, el método de estimación de posición del móvil comprende: - asumir retardos de

hardware de diferencia doble de móvil del sistema y los satélites $N_{i, m, r}^{s,ref} \in \mathbb{N}$, para tener un valor de número entero

$$d_{\phi_i, p_1, m}^{s,ref}(t) - d_{\phi_i, p_1, r}^{s,ref}(t) = \lambda_i N_{i, m, r}^{s,ref}$$

40 y - fijar dinámicamente los retardos de hardware de diferencia doble del móvil del sistema y los satélites a un valor de número entero.

[0078] Además, el móvil 30 puede disponerse para recibir y aprovechar las correcciones ionosféricas de sistema I_r del sistema de corrección de señal de GNS 2. Debido a que se puede asumir que las diferencias de corrección ionosférica son insignificantes para líneas base relativamente cortas, la corrección ionosférica del sistema I_r se puede recibir e introducir directamente en el modelo estático del móvil dinámico 90 para una convergencia más

rápida de los parámetros restantes, si el móvil 30 está relativamente cerca de la estación de referencia 4a. Más generalmente, el móvil 30 puede disponerse para recibir y aprovechar las correcciones ionosféricas de sistema Ir, incluso a distancias mayores. La unidad de procesamiento de móvil 38 puede, por ejemplo, ser configurada para ponderar las correcciones ionosféricas del sistema Ir sobre la base de una distancia calculada entre la posición en tierra de la estación de referencia Rr y la posición en tierra del móvil Rm, y para aplicar correcciones ionosféricas ponderadas lw al modelo estático del móvil dinámico 90, para mejorar una exactitud y/o un tiempo de convergencia para la estimación dinámica de la posición en tierra del móvil Rm. Aquí, el peso para la corrección ionosférica del sistema reducirá con la distancia en aumento entre el móvil 30 y la estación de referencia 4a.

[0079] Además, el móvil 30 puede comprender una interfaz de usuario 40 que se configura para el ajuste de al menos un valor de la matriz de covarianza del móvil Qm para el modelo estático del móvil dinámico 90, para mejorar la exactitud de una estimación dinámica de un componente vertical Zm de la posición en tierra del móvil Rm.

[0080] En la Fig. 4, se describe otra situación en la cual el sistema de corrección de señal de GNS 2 comprende una estación de referencia adicional 4c dentro del rango del móvil 30. Esta puede ser la situación en la que una embarcación se localiza en el medio del Atlántico y puede realizar el método de la invención con una o varias estaciones de referencia situadas en Europa o África y una estación de referencia adicional situada en América. En este caso, la estación de referencia 4a puede observar los satélites de GNSS 26a-c, mientras que la estación de referencia adicional 4c puede observar los satélites GNSS 26d-f. El móvil 30 en su posición actual puede observar cada uno de los satélites 26a-f.

[0081] En la realización del método, el sistema de corrección de señal de GNS 2 hace que cada estación de referencia 4a, 4c compute los retardos de hardware de código y fase combinados de valor real sobre la base de observaciones de aquellos satélites de GNSS 26a-f dentro del rango. Cada uno de los retardos de la estación de referencia se transmite al móvil 30. El móvil 30 usa los retardos y sus propios datos de observación de GNSS para computar una solución de línea base múltiple. Los resultados de esta computación son los retardos de hardware de valor flotante y su matriz de covarianza. Los retardos computarizados y su matriz de covarianza se introducen, por ejemplo, en un método de LAMBDA como se ha descrito anteriormente, que estima los valores de número entero de los retardos. Los retardos son los mismos que en el párrafo [0078] anterior, pero ahora por más de una línea base. En la utilización de los retardos en tal solución de línea base múltiple, el móvil 30 aplica una ponderación a los datos basados en la distancia entre el móvil y las estaciones de referencia 4a, 4c respectivas. En el presente ejemplo cabe señalar que cada estación de referencia dispone de un SCC 12. Sin embargo, debe entenderse que la estación de referencia adicional 4c puede proporcionar sus datos de referencia al SCC localizado en la primera estación de referencia 4a o ambas estaciones de referencia pueden transmitir un SCC situados en otro lugar.

[0082] Las descripciones anteriores tienen por propósito ser ilustrativas, no exhaustivas. Será aparente para el experto en la técnica que se pueden concebir formas de realización alternativas y equivalentes de la invención y se las puede reducir a la práctica, sin apartarse del alcance de las reivindicaciones indicadas más abajo.

Referencias

[0083]

1. [1] Teunissen et al, "PPP-RTK: Results of CORS Network-based PPP with Integer Ambiguity Resolution", Journ. Aeronautics, Astronautics and Aviation, Series A, vol.42, no.4, pp.223-230, 2010

Lista elementos de las figuras

[0084]

- 2 sistema de corrección de señal de GNS
- 4 estación de referencia
- 4a estación de referencia principal
- 4b otra estación de referencia
- 10 receptor del sistema de GNSS
- 12 centro de control del sistema (NCC)
- 14 unidad de procesamiento de sistema
- 16 transmisor de señales del sistema
- 18 enlace de datos
- 26a-c satélite de GNSS
- 30 móvil (receptor móvil)
- 32 receptor de GNSS del móvil
- 34 receptor de señal del móvil
- 38 unidad de procesamiento del móvil
- 40 interfaz de usuario
- 56 aplicar observaciones de sistema Pr, Φ a modelo estático del sistema dinámico
- 58 aplicar posiciones de estación conocida Rr al modelo estático del sistema dinámico

ES 2 603 265 T3

60	modelo estático de sistema dinámico (por ejemplo filtro de Kalman)
62	predecir estado del sistema (actualización temporal)
64	corregir estado del sistema (actualización de medición)
66	estimar retardos del hardware del sistema de código y fase combinados d_r
5	68 estimar corrección ionosférica de sistema I_r
	70 transmitir retardos del hardware d_r y/o correcciones I_r
	72 fijar N_i a número entero
	74 ¿ N_i está fijado?
	76 continuar con la estimación del estado del sistema dinámico de valor flotante
10	78 cambiar a estimación del estado del sistema dinámico de valor de número entero de N_i fijado
	80 aplicar N_i fijado de número entero al modelo estático de sistema dinámico
	84 recibir retardos de hardware de sistema d_r y/o correcciones I_r
	86 aplicar observaciones móviles P_m , Φ_m a modelo estático del móvil dinámico
	88 aplicar retardos del hardware de sistema d_r a modelo de estado del móvil dinámico
15	90 modelo de estado del móvil dinámico (por ejemplo, filtro de Kalman)
	92 predecir el estado del móvil (actualización temporal)
	94 corregir estado del móvil (actualización de medición)
	96 estimar retardos de hardware del móvil de código y fase combinados d_m
	98 estimar la posición en tierra del móvil R_m
20	100 fijación de N_{rm} a número entero
	102 ¿ N_{rm} está fijado?
	104 continuar con la estimación del estado del móvil dinámico de valor flotante
	106 cambiar a estimación de estado del móvil dinámico de valor de número entero con N_{rm} fijado
	108 aplicar N_{rm} fijado de número entero a modelo de estado del móvil dinámico
25	P_r observación de sistema (código) de pseudodistancia
	Φ_r observación de sistema de (portador) de fase portadora
	P_m observación de móvil (código) de pseudodistancia
	Φ_m observación móvil de (portador) de fase portadora
	Q_m matriz de covarianza del móvil
30	f_i frecuencia portadora
	d_r retardos de hardware de sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite
	d_m retardos de hardware móvil de código y fase combinados de diferencia única del satélite
	N_{ab} retardos de hardware de diferencia doble de estaciones y satélites
	N_{rm} retardos de hardware de diferencia doble de móvil y estación y satélites
35	I_r corrección ionosférica del sistema
	I_w corrección ionosférica ponderada
	T_r corrección troposférica del sistema
	R_r posición de estación de referencia
	R_m posición del móvil
40	Z_m componente de posición vertical del móvil
	ΔR distancia de móvil a estación

REIVINDICACIONES

1. Método para el cálculo de correcciones de GNSS para la transmisión a un móvil (30), utilizando un sistema de corrección de señales de GNS (2) que comprende una estación de referencia (4a) y un transmisor de señales del sistema (16) , donde el método comprende:

- adquirir en la estación de referencia (4a) datos de GNSS que comprenden observaciones del sistema de pseudodistancia (Pr) y observaciones del sistema de la fase portadora (Φ_r) de una pluralidad de satélites de GNSS (26a-c) transmitidos por épocas múltiples;
- aplicar datos de GNSS recibidos de la estación de referencia a un modelo estático del sistema dinámico (60) teniendo las observaciones del sistema de pseudodistancia y las observaciones del sistema de la fase portadora como mediciones;

caracterizado por

- estimar dinámicamente retardos de hardware del sistema de código y fase combinados de valor flotante de diferencia única del satélite (dr) para distintas observaciones de la fase portadora por medio del modelo estático del sistema dinámico, donde cada retardo de hardware del sistema de código y fase combinados de valor flotante de diferencia única del satélite se obtiene a partir de una operación matemática entre un retardo de hardware del sistema de código de diferencia única del satélite y un retardo de hardware del sistema de fase de diferencia única del satélite, y
- transmitir los retardos de hardware del sistema de código y fase combinados al móvil en tiempo real por medio del transmisor de señales del sistema.

2. Método según la reivindicación 1, donde el modelo estático de sistema dinámico es definido por:

$$p_{i,r}^s(t) = R_r^s(t) + T_r^s(t) + b_{p_i,r}^{ref}(t) + d_{p_i,p_1,r}^{s,ref}(t) + \gamma_i I_r^{s,ref}(t)$$

$$\phi_{i,r}^s(t) = R_r^s(t) + T_r^s(t) + b_{\phi_i,r}^{ref}(t) + d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t) - \gamma_i I_r^{s,ref}(t)$$

donde

- s es un índice satelital;
- r es un índice de estación de referencia;
- i es un índice de frecuencia portadora;

$p_{i,r}^s(t)$ son observaciones de sistema de pseudodistancia (Pr);

$\phi_{i,r}^s(t)$ son las observaciones de sistema de fase portadora (Φ_r);

$R_r^s(t)$ son distancias $\|R_r(t) - R^s(1)\|$ entre una posición de estación de referencia conocida (Rr) y una posición satelital de GNSS;

$T_r^s(t)$ son las observaciones de la fase portadora del sistema (Tr);

$b_{p_i,r}^{ref}(t)$ y $b_{\phi_i,r}^{ref}(t)$ son sesgos de reloj del sistema de código y sesgos del reloj del sistema de fase respectivamente;

$d_{p_i,p_1,r}^{s,ref}(t)$ son retardos de hardware de sistema de código y código de valor flotante de diferencia única del satélite;

$d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t)$ son retardos de hardware de sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite (d), que son definidos por:

$$d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t) = d_{\phi_i,r}^{s,ref}(t) + \frac{\gamma_i}{\gamma_1} d_{p_1,r}^{s,ref}(t)$$

y donde:

$d_{\phi_i,r}^{s,ref}$ son retardos de hardware de sistema de fase de diferencia única del satélite;

$d_{p_i,r}^{s,ref}$ son retardos de hardware de sistema de código de diferencia única del satélite;

$I_r^{s,ref}(t)$ son correcciones ionosféricas de sistema de diferencia única del satélite (Ir), y

$\gamma_i = \lambda_i^2 / \lambda_1^2$, con λ_i una longitud de onda portadora para una frecuencia portadora correspondiente (f_i).

3. Método según la reivindicación 1 o 2, donde el sistema de corrección de señal de GNS (2) comprende otra estación de referencia (4b), y donde el método comprende:

- estimar dinámicamente los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite (dr) para la estación de referencia (4a) y la otra estación de referencia (4b),
- asumir retardos de hardware de diferencia doble de estaciones y satélites (Nab) a un valor de número entero, de acuerdo con:

$$d_{\phi_i,p_1,b}^{s,ref}(t) - d_{\phi_i,p_1,a}^{s,ref}(t) = \lambda_i N_{i,a,b}^{s,ref} \quad ; \quad N_{i,a,b}^{s,ref} \in \mathbb{N}$$

donde $N_{i,a,b}^{s,ref}$ son retardos de hardware de diferencia doble de estaciones y satélites (Nab);

- fijar dinámicamente los retardos de hardware de diferencia doble de estaciones y satélites a un valor de número entero; y
- transmitir el conjunto único resultante de retardos de hardware del sistema de código y fase combinados al móvil en tiempo real por medio del transmisor de señales del sistema.

4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 3, que comprende:

- transmitir dinámicamente las correcciones ionosféricas del sistema (Ir) simultáneamente con los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados (dr),
- transmitir las correcciones ionosféricas del sistema al móvil (30) por medio del transmisor de señales del sistema (16)

5. Método según la reivindicación 4, donde las correcciones ionosféricas del sistema (Ir) son definidos por:

$$I_r^{s,ref}(t) = I_r^s(t) - I_r^{ref}(t) + d_{p_1,r}^{s,ref}(t)$$

donde $I_r^s(t) - I_r^{ref}(t)$ son correcciones ionosféricas de diferencia única del satélite, y

$d_{p_1,r}^{s,ref}$ son los retardos del hardware del sistema de código de diferencia única del satélite.

6. Método para la determinación de una posición en tierra de un móvil (Rm), que comprende:

- proporcionar el móvil (30) que comprende un receptor de GNSS del móvil en la posición en la tierra del móvil;
- adquirir datos de GNSS que comprendan observaciones móviles de pseudodistancia (Pm) y observaciones móviles de la fase portadora (Φ_m) de una pluralidad de satélites de GNSS (26a-c) transmitidas en épocas múltiples;

caracterizado por

- recibir correcciones de GNSS de un sistema de corrección de señal de GNS (2) en tiempo real. Las correcciones de GNSS comprenden retardos del hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia única de satélite (dr) estimadas dinámicamente por un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 5;
- aplicar retardos del hardware del sistema de código y fase combinados (dr) a un modelo estático del móvil dinámico (90) teniendo las observaciones móviles de pseudodistancia y las observaciones móviles de fase portadora como mediciones, y
- calcular dinámicamente la posición en la tierra del móvil por medio del modelo estático del móvil dinámico.

7. Método según la reivindicación 6, donde el modelo estático del móvil dinámico (90) es definido por:

$$p_{i,m}^s(t) = R_m^s(t) + T_m^s(t) + b_{p_i,m}^{ref}(t) + d_{p_i,p_1,m}^{s,ref}(t) + \gamma_i I_m^{s,ref}(t)$$

$$\phi_{i,m}^s(t) - d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t) = R_m^s(t) + T_m^s(t) + b_{\phi_i,m}^{ref}(t) + d_{\phi_i,p_1,m}^{s,ref}(t) - d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t) - \gamma_i I_m^{s,ref}(t)$$

donde:

- 5 s es un índice satelital;
 m es un índice del móvil;
 i es un índice de frecuencia portadora;

10 $p_{i,m}^s(t)$ son las observaciones móviles de pseudositancia (Pm);

$\phi_{i,m}^s(t)$ son las observaciones móviles de la fase portadora (Φ m);

$R_m^s(t)$ son distancias $\|R_m(t) - R^s(t)\|$ entre la posición den tierra del móvil (R_m) y la posición satelital de GNSS;

15 $T_m^s(t)$ son retardos troposféricos del móvil;

$b_{p_i,m}^{ref}(t)$ y $b_{\phi_i,m}^{ref}(t)$ son sesgos de reloj del móvil de código y sesgos de reloj del móvil de fase respectivamente;

20 $d_{p_i,p_1,m}^{s,ref}(t)$ son retardos de hardware del móvil de código y código de valor flotante de diferencia única del satélite;

25 $d_{\phi_i,p_1,m}^{s,ref}(t)$ son los retardos de hardware del móvil de código y fase combinados de diferencia única del satélite (dm);

$d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t)$ son los retardos de hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite (dr) recibidos;

30 $I_m^{s,ref}(t)$ son las correcciones ionosféricas del móvil de diferencia única del satélite (Im), y $\gamma_i = \lambda_i^2 / \lambda_1^2$, con λ_i una longitud de onda portadora para una frecuencia portadora correspondiente (f_i);

y donde el método comprende:

- asumir retardos de hardware de diferencia doble de móvil del sistema y los satélites(Nrm) para tener un valor de número entero, según:

35
$$d_{\phi_i,p_1,m}^{s,ref}(t) - d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t) = \lambda_i N_{i,m,r}^{s,ref} \quad ; \quad N_{i,m,r}^{s,ref} \in \mathbb{N}$$

donde

$N_{i,m,r}^{s,ref}$ son los retardos de hardware de diferencia doble de móvil de sistema y satélites (Nrm) y

- fijar dinámicamente los retardos de hardware de diferencia doble del móvil del sistema y los satélites (Nrm) a un valor de número entero.

40 8. Método según la reivindicación 7, donde, después de fijar dinámicamente los retardos de hardware de diferencia doble de móvil de sistema y satélites (Nrm) a un valor de número entero, las observaciones móviles de la fase portadora (Φ m) en el modelo estático del móvil dinámico (90) son definidas por:

$$\phi_{i,m}^s(t) - d_{\phi_i,p_1,r}^{s,ref}(t) - \lambda_i N_{i,m,r}^{s,ref} = R_m^s(t) + T_m^s(t) + b_{\phi_i,m}^{ref}(t) - \gamma_i I_m^{s,ref}(t)$$

45 9. Método según la reivindicación 7 o 8, que comprende:

- recibir correcciones ionosféricas de sistema de corrección de señal de GNS (2) estimadas por un método de acuerdo con la reivindicación 5;

- obtener correcciones ionosféricas del sistema ponderado (I_w), sobre la base de una distancia calculada (ΔR) entre la posición de tierra del móvil (R_m) y la posición de tierra de la estación (R_r), y
- aplicar las correcciones ionosféricas del sistema ponderado al modelo estático del móvil dinámico (90), para mejorar la exactitud y/o el tiempo de convergencia de la estimación dinámica de la posición en tierra del móvil.

5 10. Sistema de corrección de señal de GNS (2) para estimar y transmitir correcciones de GNSS a un móvil (30). El sistema de corrección de señal de GNS comprende:

- una estación de referencia (4a) que comprende:
 - un receptor de GNSS del sistema (10) para adquirir datos de GNSS que comprenden observaciones del sistema de pseudodistancia (P_r) y observaciones del sistema de la fase portadora (Φ_r) de una pluralidad de satélites de GNSS (26a-c) transmitidos por épocas múltiples;
- un centro de control del sistema (12), configurado para recibir los datos de GNSS de la estación de referencia en tiempo real, y que comprende:
 - una unidad de procesamiento del sistema (14) configurada para la aplicación de los datos de GNSS para un modelo estático de sistema dinámico (60) que tiene las observaciones del sistema de pseudodistancia y las observaciones del sistema de la fase portadora como mediciones;
 - un transmisor de señales del sistema (16) para transmitir señales al móvil;

caracterizado por el hecho de que

la unidad de procesamiento del sistema (14) está configurada para estimar dinámicamente las correcciones de GNSS que comprenden retardos del hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite (dr) para diferentes observaciones de fase portadora y frecuencias portadoras, por medio de un método según cualquiera de las reclamaciones 1-3;

y **de que** el centro de control del sistema está configurado para transmitir los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados en tiempo real.

25 11. Sistema de corrección de señal de GNS (2) según la reivindicación 10, que comprende otra estación de referencia (4b), donde el centro de control del sistema (12) está configurado:

- para estimar dinámicamente los retardos del hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite (dr) para la estación de referencia (4a) y la otra estación de referencia (4b), y
- para fijar dinámicamente retardos de hardware de diferencia doble de estaciones y satélites (N_{ab}) a un valor de número entero según el método de la reivindicación 3.

35 12. Sistema de corrección de señal de GNS (2) según la reivindicación 10 u 11, donde el centro de control del sistema (12) está configurado:

- para estimar dinámicamente las correcciones ionosféricas del sistema (I_r) según el método de la reivindicación 4 o 5, y
- para transmitir las correcciones ionosféricas del sistema al móvil (30) por medio del transmisor de señales del sistema (16).

40 13. Móvil (30) para la ejecución del método según cualquiera de las reivindicaciones 6-9, que comprende:

- un receptor móvil de GNSS (32) para adquirir datos de GNSS que comprende observaciones del móvil de pseudodistancia (P_m) y observaciones del móvil de la fase portadora (Φ_m) de la pluralidad de satélites de GNSS (26a-26c) transmitidas en épocas múltiples,
- un receptor de señal del móvil (34) para recibir correcciones de GNSS del centro de control de sistema (12), correcciones de GNSS que comprenden retardos del hardware del sistema de código y fase combinados de diferencia única del satélite (dr) y
- una unidad de procesamiento del móvil (38) que se configura para la aplicación del retardos de hardware de sistema de código y fase combinados a un modelo estático del móvil dinámico (90) con las observaciones del móvil de pseudodistancia y las observaciones del móviles de la fase portadora como mediciones, y estimar dinámicamente una posición en la tierra del móvil (R_m) por medio del modelo estático del móvil dinámico.

55 14. El móvil (30) según la reivindicación 13, dispuesto para recibir las correcciones ionosféricas del sistema (I_r) del sistema de corrección de señal de GNS (2), donde la unidad de procesamiento móvil (38) se configura para ponderar las correcciones ionosféricas del sistema sobre la base de una distancia calculada (ΔR) entre la posición de tierra de la estación de referencia (R_r) y la posición en tierra del móvil (R_m) y para aplicar correcciones ionosféricas ponderadas (I_w) al modelo estático del móvil dinámico (90), con el fin de mejorar un tiempo de exactitud y/o de convergencia para la estimación dinámica de la posición en tierra del móvil

60 15. Producto de programa informático configurado para proporcionar instrucciones para llevar a cabo un método según las reivindicaciones 1-5, o un método según las reclamaciones 8-9 cuando se lo carga en una disposición de ordenador (14,38).

16. Medio legible por ordenador, que comprende un producto de programa informático según la reivindicación 15.

Fig. 1

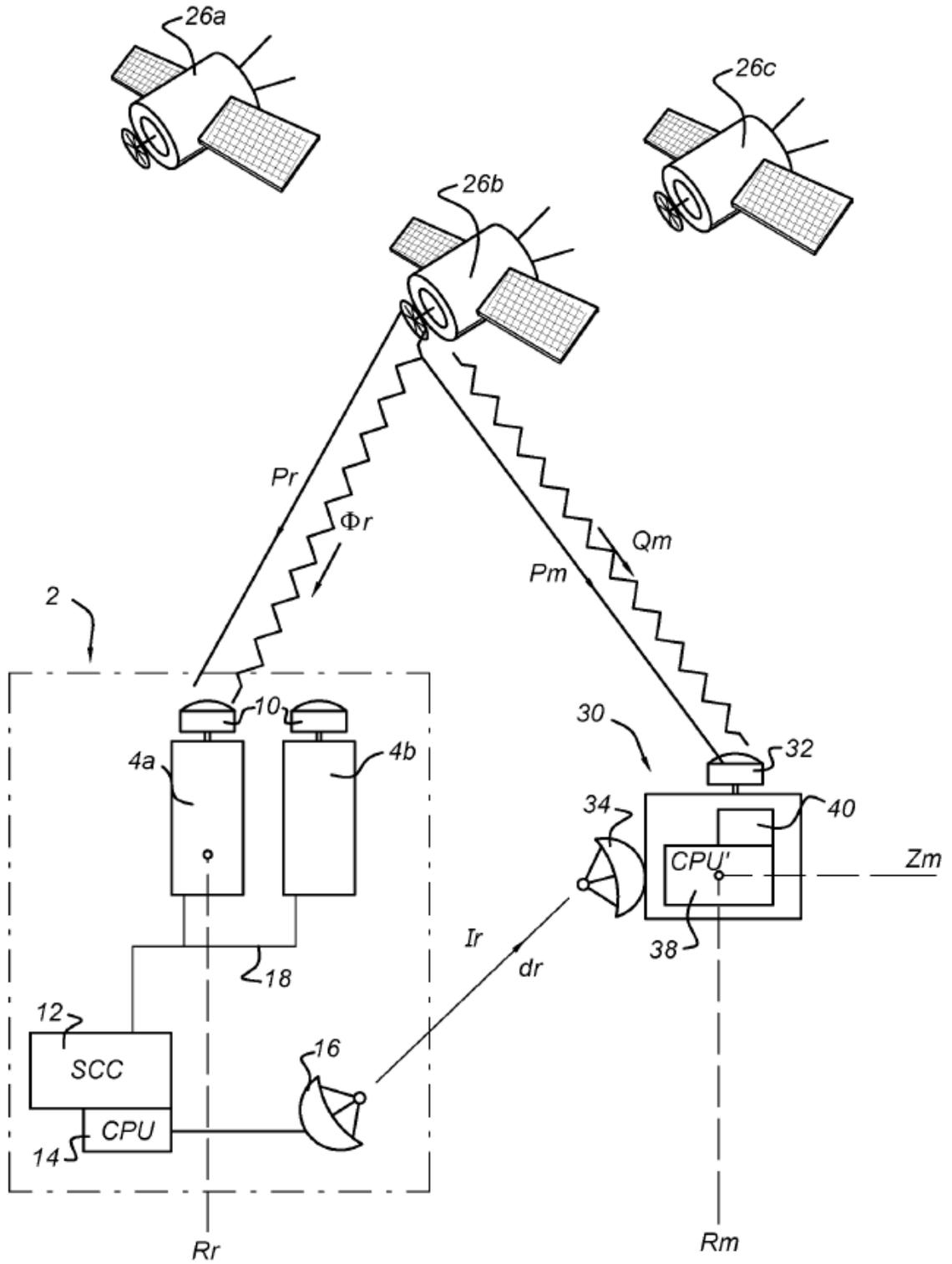
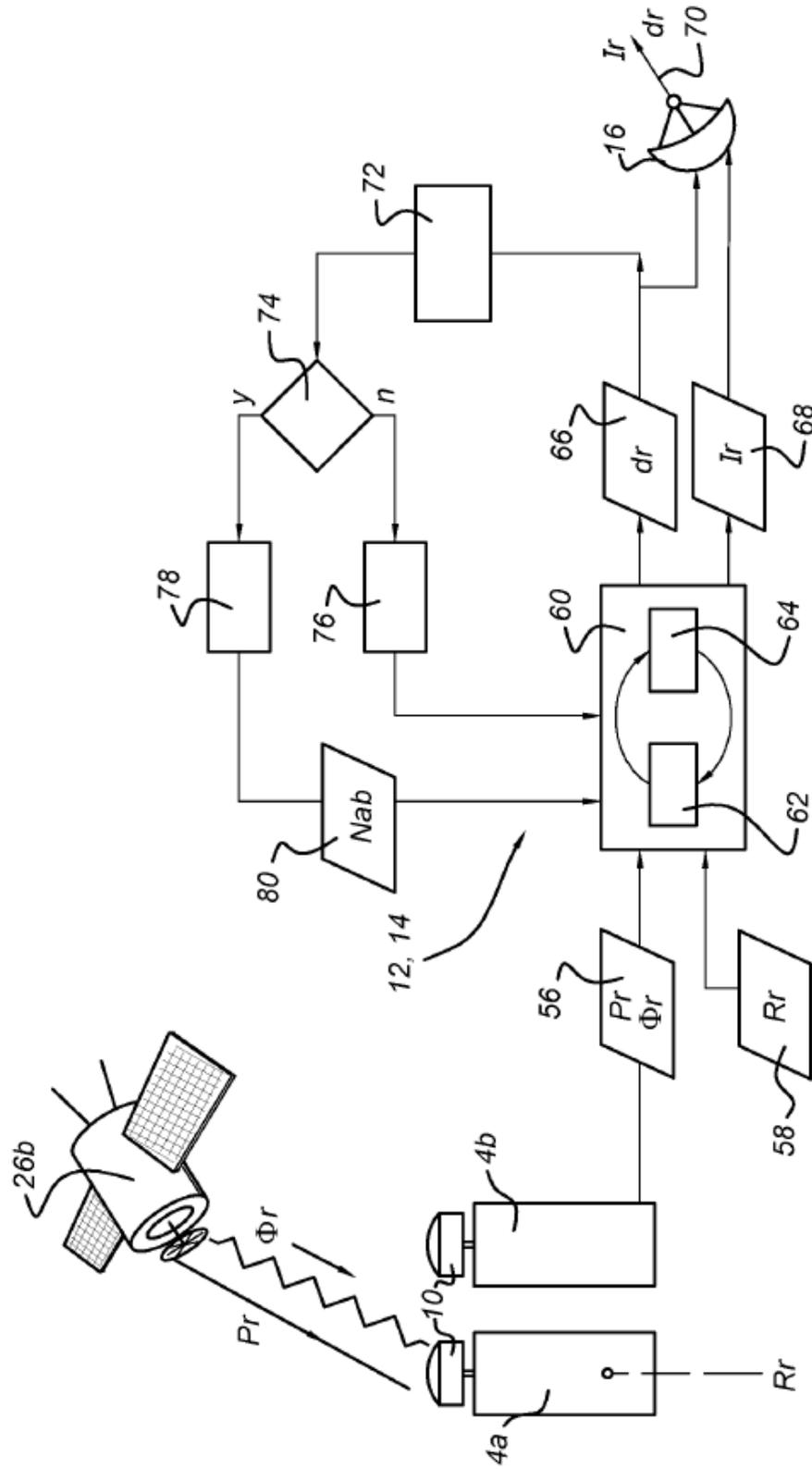


Fig. 2



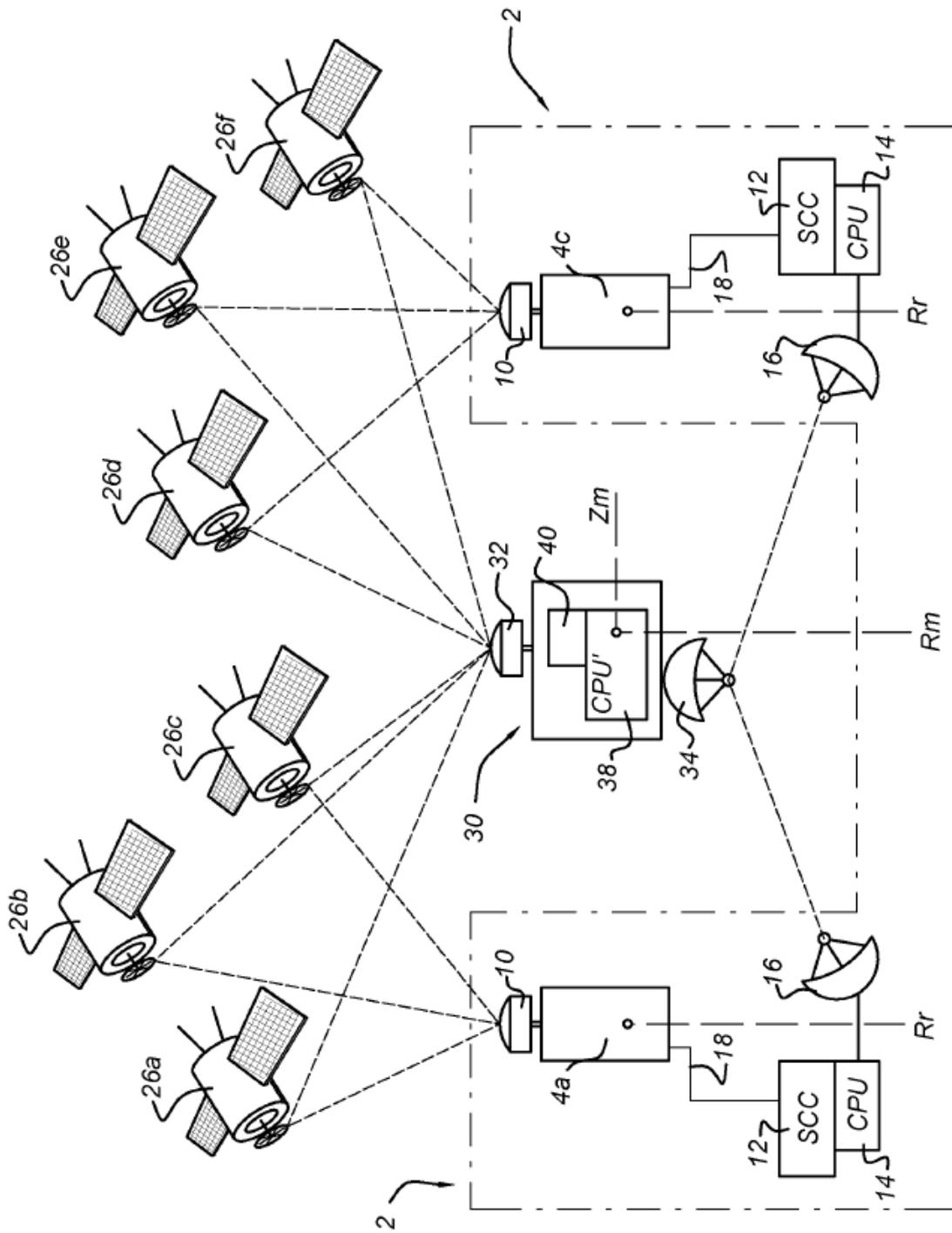


Fig. 4