

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 576 875**

51 Int. Cl.:

**G01S 19/44** (2010.01)

**G01S 19/29** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.03.2011** **E 11713678 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.05.2016** **EP 2689268**

54 Título: **Método, aparato y sistema para la determinación de la ubicación de un objeto, que tiene un receptor de Sistema global de navegación por satélite mediante el procesamiento de datos no diferenciados como mediciones de la fase de la portadora y productos externos tales como datos de la ionosfera**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**11.07.2016**

73 Titular/es:

**EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA) (100.0%)**  
**Headquarters - Siege, 8-10 rue Mario-Nikis**  
**75738 Paris Cedex 15, FR**

72 Inventor/es:

**HERNÁNDEZ-PAJARES, MANUEL;**  
**JUAN ZORNOZA, JOSÉ MIGUEL;**  
**SANZ SUBIRANA, JAUME;**  
**SAMSON, JARON y**  
**TOSSAINT, MICHEL MATHIAS MARIA**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 576 875 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, aparato y sistema para la determinación de la ubicación de un objeto, que tiene un receptor de Sistema global de navegación por satélite mediante el procesamiento de datos no diferenciados como mediciones de la fase de la portadora y productos externos tales como datos de la ionosfera

5 **Campo técnico de la invención**

La invención se refiere a un método y a un aparato para navegación utilizando señales de radio transmitidas por satélite y datos de servicio proporcionados por un proveedor de servicios.

La invención es, aunque no de manera exclusiva, aplicable al sector de la navegación independiente de la ubicación, en todo el mundo, preferiblemente sobre la base de mediciones de fase de portadora.

10 **Antecedentes de la invención**

En el sector de la navegación por satélite, la ubicación de un objeto, que puede ser un objeto estacionario o un objeto en movimiento, se determina utilizando señales de radio transmitidas por satélites que orbitan alrededor de la Tierra. En el caso de un objeto en movimiento, también la información relativa al movimiento del objeto, por ejemplo, su dirección y velocidad, puede ser obtenida de esta manera. Comúnmente, en el sector de la navegación por satélite, el objeto se denomina "rover (receptor)", o también "usuario". Sin pretender ninguna limitación, a continuación, se denominará "rover" o "usuario" cuando se describe la presente invención.

Existen varias técnicas conocidas en el sector para la determinación de la ubicación de un rover utilizando señales de radio transmitidas por satélite. Todas estas técnicas requieren el conocimiento de la ubicación instantánea de un número de satélites que orbitan alrededor de la Tierra (en las que los satélites pueden asimismo ser satélites geostacionarios), y el conocimiento de los relojes de alta precisión instalados a bordo de estos satélites. Las señales de radio transmitidas por satélite comprenden información con marca de tiempo que es transmitida mediante superposición de una señal pseudo-aleatoria sobre las frecuencias de la portadora de las señales. Tras la recepción, los llamados observables o pseudo-observables de código se determinan a partir de la información con marca de tiempo. Teniendo conocimiento de la ubicación de los satélites, la hora de la transmisión de las señales y la hora de la recepción de las señales en el rover, las coordenadas del rover con respecto a los satélites puede ser determinada mediante triangulación.

Aparte de la información con marca de tiempo descrita anteriormente que está superpuesta sobre la frecuencia de la portadora, también es posible utilizar la fase de la portadora para determinar la ubicación de un rover. Sobre la base de las fases de las señales de la portadora, es posible obtener y utilizar los llamados observables de fase en la determinación de la ubicación del rover, como se describirá a continuación.

Un sistema de navegación por satélite ampliamente empleado es el "Sistema de localización global", o "GPS" (Global Positioning System, en inglés). Las señales transmitidas por satélites de GPS en dos bandas de frecuencia, denominadas generalmente  $L_1$  con una frecuencia de portadora de 1,575 GHz y  $L_2$  con una frecuencia de portadora de 1,227 GHz. De este modo, el GPS se denomina sistema "de frecuencia dual". Los sistemas de navegación por satélite del futuro son el sistema "Galileo" y el sistema "de GPS modernizado", que proporcionarán satélites que transmiten en tres bandas de frecuencia. En lo que sigue, estos sistemas (y los comparables) se denominarán conjuntamente "Sistemas globales de navegación por satélite", o "GNSS" (Global Navigation Satellite Systems, en inglés).

Una técnica conocida para la determinación de la ubicación de un rover mediante la utilización de señales de tres frecuencias de portadora diferentes es la técnica "Cinemática de área extendida en tiempo real" (Wide Area Real Time Kinematic), o "WARTK", como se describe en el documento US 2006/0164297 A1. De acuerdo con la técnica WARTK, el rover necesita estar en contacto con una red de estaciones de referencia fijas que también reciben las señales recibidas por satélite. En esta memoria, estar en contacto con la red de las estaciones de referencia quiere decir que el rover recibe datos relativos a las señales de radio recibidas en una o más de las estaciones de referencia de la red desde la red a través de un medio de comunicación con base en la Tierra o con base en el Espacio. Tanto el rover como las estaciones de referencia obtienen observables de pseudo-rango y observables de la fase de la portadora procedentes de las señales transmitidas por satélite, y la red proporciona, a través de un medio de comunicación con base en la Tierra o con base en el Espacio, los observables de pseudo-rango y los observables de la fase de la portadora obtenidos en una o más estaciones de referencia al rover. En el rover, se obtienen dobles diferencias entre pares de satélite - receptor de los observables. Si, por ejemplo,  $O_1^1$  es un observable relativo a una señal procedente de un primer satélite obtenida en el rover,  $O_2^1$  es un observable relativo a una señal procedente de un segundo satélite recibida en el rover,  $O_1^2$  es un observable relativo a una señal procedente del primer satélite obtenida en la estación de referencia y  $O_2^2$  es un observable relativo a una señal procedente del segundo satélite obtenida en la estación de referencia; de ese modo, una doble diferencia vendría dada por  $(O_1^1 - O_1^2) - (O_2^1 - O_2^2)$ . Una descripción más detallada de las dobles diferencias se proporciona en el

artículo “Analysis of Three Carrier Ambiguity Resolution (TCAR) Technique for Precise Relative Positioning in GNSS–2” por U. Vollath y colaboradores, publicado en “Proceedings of the ION GPS”, 1988, ix-o-13, páginas 1–6. Mediante la obtención de estas dobles diferencias, se evitan errores de observación y errores de instrumentación. No obstante, la distancia máxima entre el rover y las estaciones de referencia está limitada, dado que las señales recibidas por el rover y las señales recibidas por las estaciones de referencia están afectadas de manera diferente por los retardos que se producen debido al paso de estas señales a través de la ionosfera. Por lo tanto, con la cada vez mayor distancia entre el rover y las estaciones de referencia, los observables obtenidos en el rover y en las estaciones de referencia pierden la correlación debido a los retardos ionosféricos. Este problema se corrige mediante un modelo ionosférico en tiempo real que se calcula desde la red de las estaciones de referencia y es proporcionado al rover a través de un medio de comunicación con base en la tierra o con base en el espacio. Este modelo se determina a partir de un análisis de la fase de la portadora de frecuencia dual y de los observables de código obtenidos en las estaciones de referencia de la red. Por medio de este modelo ionosférico, el efecto de la pérdida de correlación de los observables obtenidos en el rover y en las estaciones de referencia puede ser determinado y tenido en cuenta en la determinación de la ubicación del rover. Por ello, es posible mitigar el impacto de la pérdida de correlación descrita anteriormente.

Aunque con este planteamiento, es posible obtener eventuales separaciones de varios cientos de kilómetros entre el rover y las estaciones de referencia; la red de las estaciones de referencia requerida para llevar a cabo la técnica WARTK necesita ser relativamente densa. Por otro lado, la transmisión de los observables desde las estaciones de referencia al receptor del rover requiere un gran ancho de banda del canal de transmisión, y esta necesidad limita considerablemente el número de posibles receptores de referencia. Por lo tanto, la cobertura para un servicio de navegación que emplea la técnica WARTK es factible como mucho a escala continental, pero, proporcionar un servicio de navegación a orden mundial basado en la técnica WARTK, a la vista de esta limitación no es posible.

A la vista de las explicaciones anteriores, resulta también evidente que la técnica WARTK solo es aplicable en regiones en las cuales se proporcionan estaciones de referencia. En una región sin estaciones de referencia, o en una ubicación remota con respecto a las estaciones de referencia, la determinación de la ubicación del rover está considerablemente impedida, si no imposible. Por lo tanto, la técnica WARTK típicamente no es desplegable para navegación en grandes áreas desiertas, en áreas de montaña o en general en áreas intransitables, o para la navegación en grandes masas de agua o desiertos. De acuerdo con esto, una aplicación de la técnica WARTK es solo de un uso muy limitado para la aviación, la navegación marítima o la exploración. Además, el fallo de estaciones de referencia individuales, que podría producirse debido a eventos locales tales como condiciones meteorológicas adversas o cortes de alimentación, impide considerablemente la navegación de los primeros en un área en la cual la estación de referencia que ha fallado es la estación de referencia más cercana.

Una técnica alternativa para la determinación de la ubicación de un rover es la técnica de “Localización de punto preciso” (Precise Point Positioning, en inglés), o “PPP”, tal como se explica por ejemplo en J. F. Zumberge y colaboradores, “Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks”, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 102, NO. B3, PP. 5005–5017, 1997 doi: 10.1029/96JBO3860. PPP se considera una técnica que permite la determinación por un usuario de GNSS de múltiples frecuencias de su ubicación, en el orden de error del decímetro, en un modo cinemático, y en el orden de centímetros en un modo estático con un único receptor. Esto se basa en la disponibilidad de productos de satélite o de datos de servicio, tales como datos relativos a las órbitas de los satélites de GNSS y datos relativos a los relojes internos de los satélites de GNSS (es decir, la diferencia entre los relojes de satélite con respecto a la escala de tiempo del GNSS, denominados a continuación en esta memoria relojes de satélite). Por lo que se refiere a la técnica PPP, estos productos de satélite necesitan ser significativamente más precisos que los calculados por ejemplo mediante el segmento de control del GPS. Por lo tanto, en el contexto de la técnica PPP, los datos relativos a las órbitas de los satélites de GNSS se denominan habitualmente “órbitas precisas”, y los datos relativos a los relojes internos de los satélites de GNSS se denominan habitualmente “relojes de precisión”.

Las características básicas de la técnica PPP se describirán a continuación con referencia a la figura 10.

En la etapa S1201, los relojes de precisión y las órbitas precisas de los satélites de GNSS son recibidos por el usuario. Estos relojes y órbitas precisos son proporcionados por un proveedor de servicios de GNSS. Asumiendo que en un momento dado un número  $n$  de satélites de GNSS están en el campo visual del usuario, las ubicaciones de estos satélites predichas a partir de las órbitas precisas se denotan  $\vec{r}^i$  y los relojes internos de estos satélites de GNSS se denotan  $dt^i$  para  $i = 1, \dots, n$ , denotando un satélite de GNSS particular. Aquí y en lo que sigue, “en el campo visual del usuario” quiere decir que se debe entender en el sentido de que una señal transmitida por un transmisor GNSS en el campo visual del usuario puede desplazarse hasta un receptor GNSS asociado al usuario substancialmente en línea recta (línea de visión entre el transmisor GNSS y el receptor GNSS) sin ser obstruida por objetos sólidos tal como por ejemplo edificios, montañas o la propia Tierra. A continuación, los datos proporcionados por tal proveedor de servicios, que comprenden, pero no están limitados a relojes de precisión y órbitas precisas, se denominarán “datos de servicio” 1206.

En la etapa S1202, las señales 1207 de dos frecuencias de portadora diferentes transmitidas por transmisores GNSS a bordo de los satélites en el campo visual del usuario son recibidas por un receptor GNSS asociado al usuario. Si las dos frecuencias de portadora diferentes se denotan  $f_1$  y  $f_2$ ,  $n$  señales de frecuencia de portadora  $f_1$  y  $n$  señales de frecuencia de portadora  $f_2$  son recibidas por el usuario (por el receptor GNSS asociado al usuario).

5 En la etapa S1203,  $n$  observable de fase de portadora  $L_1^i$  relativos a las fases de portadora de las señales de la frecuencia de portadora  $f_1$ ,  $n$  observables de la fase de la portadora  $L_2^i$  relativos a las fases de portadora de las señales de la frecuencia de portadora  $f_2$ ,  $n$  observables de código  $P_1^i$  relativos a la información con marca de tiempo transmitida con las señales de frecuencia de portadora  $f_1$  y  $n$  observables de código  $P_2^i$  relativos a la información con marca de tiempo transmitida con las señales de frecuencia de portadora  $f_2$  se obtienen a partir de estas señales.

Un observable de código  $P_j^i$  relativo a una señal de frecuencia de portadora  $f_j$  se obtiene a partir de una diferencia de tiempo entre la recepción de la señal en el receptor GNSS y un tiempo de transmisión de señal en el correspondiente transmisor GNSS mediante  $P_j^i = c(t_k - t^i)$ , donde  $t_k$  es la hora de recepción, medida por el reloj del receptor,  $t^i$  es la hora de la transmisión, medida por el reloj del transmisor GNSS, y  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío. La citada diferencia de tiempo se puede obtener a partir de la información de marca de tiempo constituida por un código pseudo-aleatorio, que está superpuesta sobre la onda de la portadora de la señal. Un observable de fase de portadora  $L_j^i$  relativo a una señal de frecuencia de portadora  $f_j$  se obtiene a partir de la diferencia entre una fase de la onda portadora de la señal en el momento de la recepción y una fase de la señal portadora en el momento de la transmisión, mediante  $L_j^i = \lambda_j(\varphi_k - \varphi^i) + \lambda_j N_j^i$ , donde  $\varphi_k$  es la fase de la señal portadora en el momento de la recepción, incluyendo cualquier desviación de fase de la portadora del receptor,  $\varphi^i$  es la fase de la fase de la portadora en el momento de la transmisión, incluyendo cualquier desviación de fase de la portadora del transmisor,  $\lambda_j$  es la longitud de onda de la señal portadora, y  $N_j^i$  es un número entero de ciclos completos. El número entero de ciclos completos  $N_j^i$  es conocido, dado que solo se mide una fase fraccional. Todos los observables están afectados por un número de errores de instrumentación y/o de observación, que se explican a continuación.

En la etapa S1204, los observables de la fase de la portadora sin ionosfera  $L_c^i$  y los observables de código sin ionosfera  $P_c^i$  se determinan a partir de los observables de la fase de la portadora  $L_1^i, L_2^i$  y los observables de código  $P_1^i, P_2^i$ , formando combinaciones lineales de estos observables. Específicamente, las combinaciones sin ionosfera  $L_c^i$  y  $P_c^i$  vienen dadas por:

$$L_c^i = \frac{(f_1)^2 L_1^i - (f_2)^2 L_2^i}{(f_1)^2 - (f_2)^2} \quad (1)$$

$$P_c^i = \frac{(f_1)^2 P_1^i - (f_2)^2 P_2^i}{(f_1)^2 - (f_2)^2} \quad (2)$$

Dado que el retardo ionosférico de una señal de frecuencia de portadora  $f$  experimentado cuando se desplaza a través de la ionosfera es proporcional a  $1/f^2$ , los efectos de los retardos ionosféricos de las señales de frecuencias de portadora  $f_1$  y  $f_2$  se eliminan en las combinaciones anteriores  $L_c^i$  y  $P_c^i$  para una buena precisión. En la práctica, es posible conseguir una eliminación del 99,9% de los efectos de los retardos ionosféricos de las señales.

35 Si la ubicación actual del rover  $k$  se denota por  $\vec{r}_k$  y el error de reloj del reloj interno del rover se denota por  $dt_k$ , siendo los dos estimados de manera precisa mediante la técnica PPP, se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones de observación para el conjunto de  $n$  satélites de GNSS en el campo visual del rover:

$$L_c^i + cdt^i - (\rho_0)_k^i = -(\hat{\rho}_0)_k^i \cdot [\vec{r}_k - \vec{r}_{0,k}] + cdt_k + M_k^i \cdot \delta T_k + (B_c)_k^i + \lambda_n w_k + \varepsilon \quad (3)$$

$$P_c^i + cdt^i - (\rho_0)_k^i = -(\hat{\rho}_0)_k^i \cdot [\vec{r}_k - \vec{r}_{0,k}] + cdt_k + M_k^i \cdot \delta T_k + \varepsilon^i \quad (4)$$

Estas ecuaciones de observación sin ionosfera se refieren a los observables obtenidos en la etapa S1204 a las distancias reales del rover hasta los transmisores GNSS a bordo de los satélites de GNSS, teniendo en cuenta los errores del instrumental y de observación. En ellas,  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío,  $\rho_0$  es el rango modelizado aproximado entre el rover y el satélite de orden  $i$  respectivo, y  $\hat{\rho}_0$  es el correspondiente vector de longitud unidad a

5 lo largo de la dirección que apunta de la ubicación aproximada  $\vec{r}_{0,k}$  del rover hacia el satélite de orden  $i$  respectivo. Además,  $M$  y  $\delta T$  son, respectivamente, el mapeo troposférico y el retardo vertical residual,  $w$  es la saturación (wind-up, en inglés) del usuario no modelizada, y la longitud de onda  $\lambda_n$  se puede obtener a partir de las frecuencias de

portadora  $f_1$  y  $f_2$  mediante  $\lambda_n = \frac{c}{f_1 + f_2}$ . Finalmente,  $\varepsilon$  y  $\varepsilon'$  respectivamente representan los errores de medición de fase y de código asociados al ruido térmico y a las múltiples rutas, y  $B_c$  representa la ambigüedad de la fase de la portadora sin ionosfera. La expresión "ambigüedad" se refiere a una parte indeterminable de la diferencia entre la fase de la portadora de una señal de GNSS medida en el receptor GNSS del rover en el momento de la recepción de la señal, y la fase de la portadora medida en el transmisor GNSS respectivo en el momento de la transmisión de la señal. Por ejemplo, para una portadora dada con frecuencia  $f_x$ , la ambigüedad  $B_x^i$  está compuesta por una parte

10 entera  $\lambda_x N_x$  correspondiente a un número desconocido de ciclos completos, una primera parte fraccional  $\delta B_x^i$  correspondiente a una desviación debida al instrumental del transmisor GNSS del respectivo satélite (desviación de fase de satélite), y una segunda parte fraccional  $\delta B_{x,k}$  correspondiente a una desviación de fase debida al instrumental del receptor GNSS del rover (desviación de fase del receptor). En el mismo, la desviación de fase del satélite indica una desviación de fase entre la señal generada en el transmisor GNSS y una señal de referencia basada en un marco de tiempo de referencia, y la desviación de fase de receptor indica un desfase entre una señal de referencia generada internamente en el receptor GNSS y la señal de referencia sobre la base del marco de tiempo de referencia.

En la etapa S1205, el sistema anterior de  $2n$  ecuaciones de observación se resuelve aplicando un filtro llamado de Kalman al sistema de ecuaciones de observación. Los tiempos en los cuales las señales de todos los transmisores GNSS de los  $n$  transmisores GNSS a bordo de los satélites en el campo visual del rover son recibidas simultáneamente por el receptor GNSS del rover y son procesadas, se denominan "época". Para cada época, el sistema anterior de  $2n$  ecuaciones de observación se puede resolver típicamente si el número de satélites de GNSS en el campo visual del rover es mayor o igual que  $n = 4$ . Teniendo en cuenta las soluciones de las épocas previas, la precisión de las soluciones puede ser incrementada con éxito. Aplicando el filtro de Kalman, la ubicación del rover  $\vec{r}_k$  y el reloj del usuario  $dt_k$  pueden ser tratados como ruido blanco, el retardo residual ("húmedo")  $\delta T$  y el wind-up del usuario  $w$  pueden ser tratados como procesos de ruta aleatoria, y la ambigüedad de fase de portadora sin ionosfera  $B_c$  es estimada como una variable aleatoria ("parámetro constante"), con la excepción de si se producen eventos de deslizamiento cíclico. En tal caso,  $B_c$  se trata como un proceso aleatorio de ruido blanco.

El principal inconveniente de la técnica de PPP descrita anteriormente es el largo tiempo de convergencia necesario para obtener una buena estimación de la ambigüedad sin ionosfera  $B_c$ , donde  $B_c$  se debe entender como una simplificación para el conjunto de ambigüedades  $B_c^i$  y, de manera correspondiente, para la ubicación del rover  $\vec{r}_k$ . El tiempo de convergencia puede ser de casi una hora, -o más- antes de que se pueda obtener una alta precisión para la ubicación del rover en el orden de 1 o 2 decímetros.

Estos problemas de la técnica PPP limitan la aplicación de esta técnica a la determinación de una ubicación, para lo cual el tiempo de convergencia no es un problema, tal como la determinación de la ubicación para objetos de movimiento lento, objetos de desplazamiento sobre el agua o estacionarios. La técnica PPP de acuerdo con esto no es aplicable para la determinación de la ubicación de la mayoría de los vehículos de superficie, tal como los coches de pasajeros, o la mayoría de los vehículos aéreos, tal como los aviones. Además, debido al largo tiempo de convergencia de la técnica PPP, una visión sin obstáculos, continua, entre el rover y los satélites de GNSS respectivos resulta esencial para una operación fiable de la técnica PPP. Si el seguimiento de uno o de todos los satélites se ha perdido en escalas de tiempos menores de o en el orden del tiempo de convergencia, no es posible en absoluto determinar una ubicación fiable. Por lo tanto, la técnica PPP tampoco es desplegable para la navegación en áreas densamente construidas, tal como ciudades, o en otras zonas en las que no existe una visión sin obstáculos, continua, entre el rover y los satélites de GNSS respectivos.

La publicación de Constantin-Octavian Andrei y colaboradores, "Ionosphere Effect Mitigation for Single-Frequency Precise Point Positioning", 22ª Reunión internacional de la división de satélites del Instituto de la navegación, 25 de septiembre de 2009, páginas 2508–2517 trata de una investigación inicial sobre el rendimiento del PPP mediante la utilización de código de una sola frecuencia y datos de fase de portadora con diferentes planteamientos para mitigar el efecto ionosférico, tal como el modelo ionosférico de emisión, correcciones ionosféricas obtenidas a partir de los Mapas ionosféricos globales y del área extendida en tiempo real. Los planteamientos descritos en este documento no implican resolución de la ambigüedad y por lo tanto no consideran una parte fraccional de las ambigüedades.

### Compendio de la invención

Un objeto de la presente invención es mejorar las técnicas de navegación conocidas en el sector. Otro objeto de la invención es superar las limitaciones de las técnicas de navegación de GNSS actuales principalmente por lo que respecta al tiempo de convergencia.

- 5 Con el fin de resolver los problemas anteriores, se propone proporcionar un método de acuerdo con la reivindicación 1, y un aparato de acuerdo con la reivindicación 11. Las realizaciones preferidas de la invención son el asunto central de las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con un aspecto de la invención, existe un método para determinar la ubicación de un objeto que tiene un receptor de Sistema global de navegación por satélite (GNSS - Global Navigation Satellite System, en inglés), comprendiendo el método las etapas de: recepción de señales por parte del receptor GNSS que son transmitidas por transmisores situados a bordo de satélites que están situados en el campo visual del objeto; actualización de los datos de servicio en el objeto, siendo los datos de servicio proporcionados por el proveedor de servicios de GNSS, e incluyendo el reloj del satélite datos indicativos de los relojes internos de los satélites, datos de la órbita del satélite indicativos de las ubicaciones de los satélites, datos de la desviación de fase del código de retardo de los satélites con respecto a las desviaciones del código de retardo de los transmisores GNSS y datos del modelo ionosférico indicativos de un estado de la ionosfera; determinación, sobre la base de los datos del modelo ionosférico, de los datos del retardo ionosférico indicativos de correcciones relativas a los retardos de las señales, resultando los retardos de la señales de un paso de las señales a través de la ionosfera entre la transmisión de las señales desde los transmisores GNSS y la recepción de las señales por parte del receptor GNSS; determinación de una ubicación del objeto sobre la base de las señales, de los datos de reloj del satélite, de los datos de la órbita del satélite, de los datos de desviación de la fase del código del retardo del satélite y de los datos del retardo ionosférico determinados.

Proporcionando los datos de servicio de la invención, en particular los relojes de satélite, las órbitas de satélite y las desviaciones de las fases del código de retardo del satélite, el método de la invención anterior puede ser llevado a cabo de manera independiente de los datos de referencia facilitados por un receptor GNSS de referencia que está recibiendo señales procedentes de los transmisores GNSS a bordo de los satélites de GNSS en el campo visual del usuario. En la técnica más avanzada, tales datos de referencia pueden ser utilizados para comparar las señales recibidas por el usuario con los datos de referencia, siendo con ello habilitado para determinar y cancelar errores de observación que se deben a desviaciones instrumentales, errores de reloj y errores de ubicación de los transmisores GNSS. En otras palabras, de acuerdo con la presente invención, no tiene lugar ninguna doble diferenciación de señales (u observables obtenidos a partir de las señales). De acuerdo con ello, una ventaja crucial de la presente invención se basa en el hecho de que un usuario que emplea el método de la invención no es en absoluto dependiente de la proximidad a un receptor GNSS de referencia. Por ello, el usuario puede determinar su ubicación en cualquier punto de la tierra, sin limitación. Además, proporcionando un modelo ionosférico al usuario con los datos de servicio de la invención, el usuario es habilitado para determinar de manera independiente las correcciones relativas a los retardos ionosféricos de las señales recibidas por el usuario. De acuerdo con ello, el usuario es habilitado para corregir los retardos ionosféricos de las señales, por lo que la principal fuente de incertidumbre en la determinación de la ubicación del usuario se elimina, y el tiempo de convergencia que transcurre hasta que la ubicación del usuario es determinada de manera precisa puede ser reducido considerablemente. En resumen, el método de la invención permite a un usuario determinar su ubicación en cualquier punto de la tierra, independientemente de cualquier infraestructura externa, de una manera rápida y precisa. De este modo, proporcionando el método de la invención, los problemas e inconvenientes descritos anteriormente que existen en las técnicas anteriores explicadas se encuentran ausentes en la presente invención.

El término “desviación de código de retardo” utilizado en el contexto de la presente invención se conoce también como “desviación diferencial de código”. Por lo tanto, en el contexto de la presente invención, el término “datos de desviación del código de retardo” quiere decir “datos de desviación diferencial de código”. Para cada frecuencia de portadora, la desviación del código de retardo del satélite correspondiente se entiende como relativa a un retardo entre la información con marca de tiempo transmitida con la señal y una trama de tiempo de referencia.

En el método de la invención, todas las señales implicadas en la etapa de determinación de la ubicación del objeto son procesadas en un modo no diferenciado.

50 También de acuerdo con este aspecto de la invención, el método comprende además las etapas de: obtención de datos de observación de código a partir de las señales, correspondiendo los datos de observación de código a los datos transmitidos con las señales y comprendiendo observables de código relativos a los datos transmitidos con las señales; y obtención de datos de observación de la fase de la portadora a partir de las señales, correspondiendo los datos de observación de la fase de la portadora a la fase de la portadora de las señales y comprendiendo observables de la fase de la portadora relativos a la fase de la portadora de las señales; y la etapa de determinación de la ubicación del objeto se basa en los datos del reloj del satélite, los datos de la órbita del satélite, los datos de desviación del código de retardo del satélite, los datos de retardo ionosférico determinado, los datos de observación de código obtenidos a partir de las señales y los datos de observación de la fase de la portadora obtenidos a partir de las señales. Dado que todos los observables del código y todos los observables de la fase de la portadora implicados en la etapa de determinación de la ubicación del objeto son procesados en un modo no diferenciado, en

la etapa de obtención de los datos de observación de código a partir de las señales, los datos de observación de código se pueden obtener directamente a partir de las señales y, en la etapa de obtención de datos de observación de la fase de la portadora a partir de las señales, los datos de observación de la fase de la portadora se pueden obtener directamente únicamente a partir de las señales.

- 5 Además, en este aspecto de la invención, en la etapa de determinación de la ubicación del objeto, se procesan al menos una combinación lineal de observables que es diferente de las combinaciones sin ionosfera de observables, y una combinación sin ionosfera de observables. En otras palabras, al menos se procesa una combinación lineal con ionosfera de observables y una combinación lineal sin ionosfera de observables. Preferiblemente, si se reciben las señales de dos frecuencias de portadora diferentes en la etapa de determinación de la ubicación del objeto, se procesan dos combinaciones lineales de observables que son las dos diferentes de una combinación sin ionosfera de observables y las combinaciones sin ionosfera de observables. Preferiblemente, si se reciben las señales de tres frecuencias de portadora diferentes, en la etapa de determinación de la ubicación del objeto, se procesan tres combinaciones lineales de observables del objeto que son las tres diferentes de las combinaciones sin ionosfera de observables, y las combinaciones sin ionosfera son procesadas.
- 10
- 15 Preferiblemente, el método de la invención puede comprender además al menos una de las etapas de: determinación de un retardo ionosférico para un observable de código; determinación de un retardo ionosférico para un observable de la fase de la portadora; determinación de un retardo ionosférico para una combinación de observables de código sin geometría; y determinación de un retardo ionosférico para una combinación de observables de la fase de la portadora sin geometría.
- 20 Preferiblemente, los datos de servicio comprenden además datos de desviación de la fase de satélite relativos a desviaciones de la fase de la portadoras de los transmisores GNSS, y la etapa de determinación de la ubicación del objeto comprende además una etapa de determinación de datos de ambigüedad de la fase de la portadora que indican, para al menos una señal, un recuento de ciclos completos comprendidos en una diferencia de fase entre una fase de portadora de la señal en un tiempo de transmisión y una fase de portadora de la señal en un tiempo de recepción, sobre la base de los datos de observación de la fase de la portadora y de los datos de desviación de la fase del satélite.
- 25

Facilitar los datos de desviación de fase al usuario permite fijar las respectivas partes enteras de las ambigüedades, y determinar con ello de manera precisa las ambigüedades en las fases de la portadora con una mayor precisión. Dado que las ambigüedades presentan una fuente de error principal que afecta al tiempo de convergencia de localización precisos en la determinación de la ubicación del usuario, la determinación precisa de las ambigüedades permite reducir considerablemente el tiempo de convergencia de la localización precisa de la ubicación del usuario determinada.

30

En la etapa de determinación de la ubicación del objeto, preferiblemente se ejecuta al menos un proceso de estimación recursivo. En él, el proceso de estimación recursivo puede ser un filtro. Preferiblemente, el proceso de estimación recursivo es un filtro de Kalman. Preferiblemente, en cada etapa del al menos un proceso de estimación recursivo, los datos del estado, que comprenden al menos uno de la ubicación del objeto y de los datos de ambigüedad de la fase de la portadora, pueden ser estimados sobre la base de las señales, de los datos del reloj del satélite, de los datos de la órbita del satélite, de los datos del retardo ionosférico y de una estimación de los datos del estado estimados en la etapa previa. Los datos del estado pueden comprender asimismo al menos uno de un retardo troposférico y de un wind-up de usuario. Preferiblemente, el al menos un proceso de estimación recursivo procesa al menos una de las combinaciones de observables de la fase de la portadora que está substancialmente afectada por los retardos de las señales, las combinaciones de observables del código que están substancialmente afectadas por los retardos de las señales, los observables de la fase de la portadora que están substancialmente afectados por los retardos de las señales y los observables de código que están substancialmente afectados por los retardos de las señales.

35

40

45

El empleo de un filtro recursivo permite determinar sucesivamente la ubicación del usuario con una precisión que crece de manera continuada.

Más preferiblemente, los datos del modelo ionosférico pueden ser indicativos de un estado de ubicación resuelta y de extensión mundial de la ionosfera. De manera alternativa, el modelo ionosférico puede ser asimismo indicativo del estado de ubicación resuelta de la ionosfera en una o más regiones dadas de la tierra. Además, los datos del modelo ionosférico pueden presentar diferentes niveles de precisión, que pueden depender de una o más regiones o de la ubicación (aproximada) del usuario. Preferiblemente, los datos del modelo ionosférico comprenden datos de fiabilidad del modelo ionosférico relativos a una fiabilidad dependiente de la ubicación de los datos del modelo ionosférico, y la etapa de determinación de la ubicación de los objetos se basa además en los datos de fiabilidad del modelo ionosférico.

50

55

La precisión (fiabilidad) del modelo ionosférico puede depender de la ubicación del usuario. En tales casos, si al usuario se le facilita una indicación de la precisión del modelo ionosférico en la ubicación de usuario aproximada actual, esta información puede ser tenida en cuenta en la etapa de determinación de la ubicación del usuario. Específicamente, en el proceso de filtrado, a las correcciones relativas a los retardos ionosféricos de las señales

determinadas a partir del modelo ionosférico se les puede atribuir un factor de ponderación, de tal manera que a las correcciones se les puede asignar un mayor peso si la precisión del modelo ionosférico es grande en la ubicación del usuario aproximada actual, y se les puede asignar un peso menor si la precisión del modelo ionosférico en la ubicación aproximada del usuario es baja.

- 5 Si se reciben señales de al menos dos frecuencias diferentes en el objeto, la etapa de determinación de la ubicación del objeto puede comprender además, preferiblemente, las etapas de: obtención, para cada uno de los satélites, de una combinación de banda ancha de fases, a partir de los datos de observación de la fase de la portadora, y de una combinación correspondiente de banda estrecha de códigos a partir de los datos de observación de código; obtención, para cada uno de los satélites, de una combinación de Melbourne – Wübbena de la combinación de banda ancha de fases, y de la correspondiente combinación de códigos de banda estrecha; estimación, para cada uno de los satélites, de una ambigüedad de banda ancha sobre la base de las combinaciones de Melbourne – Wübbena y de los datos de desviación del código de retardo del satélite por medio de un primer proceso de estimación recursivo; obtención, para cada uno de los satélites, de una combinación de fases sin geometría a partir de los datos de observación de la fase de la portadora; estimación, para cada uno de los satélites, de una ambigüedad sin geometría sobre la base de las combinaciones sin geometría y de los datos del retardo ionosférico por medio de un segundo proceso de estimación recursivo; estimación para cada uno de los satélites, de una ambigüedad sin ionosfera sobre la base de la estimación de la correspondiente ambigüedad de banda ancha y de la estimación de la correspondiente ambigüedad sin geometría; obtención para cada uno de los satélites de una combinación de fases sin ionosfera a partir de los datos de observación de la fase de la portadora y de una combinación de códigos sin ionosfera a partir de los datos de observación de código; y determinación de la ubicación del objeto sobre la base de las combinaciones de fases sin ionosfera, de las combinaciones de códigos sin ionosfera y de las estimaciones de las ambigüedades ionosféricas por medio de un tercer proceso de estimación recursivo.

- 25 Además, si se reciben señales de al menos tres frecuencias diferentes en el objeto, la etapa de determinación de la ubicación del objeto puede comprender además, preferiblemente, las etapas de: obtención para cada uno de los satélites de una combinación de fases de extra-banda ancha a partir de los datos de observación de la fase de la portadora y de una correspondiente combinación de códigos de banda estrecha a partir de los datos de observación del código; obtención, para cada uno de los satélites, de una combinación de Melbourne – Wübbena a partir de la combinación de fases de extra-banda ancha y de la correspondiente combinación de códigos de banda estrecha; estimación, para cada uno de los satélites, de una ambigüedad de extra-banda ancha sobre la base de las combinaciones de Melbourne – Wübbena y de los datos de desviación del código del retardo del satélite por medio de un primer proceso de estimación recursivo; obtención, para cada uno de los satélites, de una combinación de fases de banda ancha a partir de los datos de observación de la fase de la portadora; estimación, para cada uno de los satélites, de una ambigüedad de banda ancha sobre la base de las combinaciones de fases de banda ancha, de las combinaciones de extra-banda ancha, de las estimaciones de las ambigüedades de extra-banda ancha y de los datos del retardo ionosférico por medio de un segundo proceso de estimación recursivo; obtención, para cada uno de los satélites, de una combinación de fases sin geometría (tal como  $L1 = L1 - L2$ , también conocida como combinación ionosférica) correspondiente a las dos frecuencias de las tres frecuencias diferentes que tienen la mayor diferencia de frecuencia entre ellas, a partir de los datos de observación de la fase de la portadora; estimación, para cada uno de los satélites, de una ambigüedad sin geometría sobre la base de las combinaciones de fases sin geometría y de los datos del retardo ionosférico por medio de un tercer proceso de estimación recursivo; estimación, para cada uno de los satélites, de una ambigüedad sin ionosfera sobre la base de la correspondiente estimación de la ambigüedad de banda ancha y de la correspondiente estimación de la ambigüedad sin geometría; obtención, para cada uno de los satélites, de una combinación de fases sin ionosfera correspondiente a las dos frecuencias de las tres frecuencias diferentes que tienen la mayor diferencia de frecuencias entre ellas, a partir de los datos de observación de la fase de la portadora y de una combinación de códigos sin ionosfera correspondiente a las dos frecuencias de las tres frecuencias diferentes que tienen la mayor diferencia de frecuencia entre ellas a partir de los datos de observación del código; y determinación de la ubicación del objeto sobre la base de las combinaciones de fases sin ionosfera, de las combinaciones de códigos sin ionosfera y de la estimación de las ambigüedades ionosféricas por medio de un cuarto proceso de estimación recursivo.

- Preferiblemente, al menos una de las estaciones de tierra fijas sirve como instalación de procesamiento central y una pluralidad de estaciones de tierra fijas que tienen cada una un receptor GNSS sirven como estaciones de red, la al menos una instalación de procesamiento central y la pluralidad de estaciones de red forman una red, los datos de servicio son obtenidos por la red y transmitidos al objeto, y la obtención de los datos del modelo ionosférico comprende las etapas de: recepción en las estaciones de red de señales transmitidas por transmisores GNSS situados a bordo de una pluralidad de satélites dispuestos en el campo visual de al menos una de las estaciones de red; determinación de los datos del retardo ionosférico de la red, que indican correcciones correspondientes a los retardos de las señales recibidas en las estaciones de red, resultando los retardos de las señales recibidas en las estaciones de red del paso de las señales recibidas en las estaciones de red a través de la ionosfera; y determinación de los datos del modelo ionosférico a partir de los datos del retardo ionosférico de la red. Preferiblemente, las señales recibidas en las estaciones de red son señales de al menos dos frecuencias diferentes.

Además, los datos de desviación de la fase de la portadora del satélite pueden ser obtenidos sobre la base de las señales recibidas en las estaciones de red y transmitidas de manera continua al objeto.



De acuerdo con la invención, la determinación de los datos del modelo ionosférico puede comprender además las etapas de: expansión de la densidad numérica de electrones libres en la ionosfera en una pluralidad de funciones; y estimación de los datos del contenido de electrones que indican coeficientes de la pluralidad de funciones sobre la base de los datos del retardo ionosférico de la red. Preferiblemente, estas funciones están basadas en vóxeles, de tal manera que la ionosfera es subdividida en una pluralidad de células de volumen (“vóxeles”) aplicando un mallado a la ionosfera, y los coeficientes de las funciones basadas en vóxeles corresponden a la cantidad de electrones libres dentro de cada célula de volumen. De manera alternativa, las funciones pueden ser también funciones tales como funciones ortogonales empíricas, armónicos esféricos o perfiles de Chapman.

Proporcionar tal modelo ionosférico permite al usuario determinar los retardos ionosféricos de las señales de GNSS recibidas en un receptor GNSS asociado al usuario, y transmitidas por un transmisor GNSS a bordo de un satélite de GNSS en el campo visual del usuario. Sobre la base de una ubicación aproximada del usuario, de una ubicación del satélite de GNSS, que se puede obtener a partir de los datos de la órbita del satélite, y de una densidad o contenido total de electrones libres a lo largo de la línea de visión entre el receptor GNSS y el transmisor GNSS, que puede ser obtenida a partir del modelo ionosférico, el usuario puede determinar los retardos ionosféricos de las señales de GNSS sin información externa adicional.

Preferiblemente, los datos geodésicos relativos al menos a uno de los relojes internos de la pluralidad de satélites, las ubicaciones de la pluralidad de satélites, las desviaciones del código del retardo de los transmisores GNSS a bordo de la pluralidad de satélites y las desviaciones de fase de la portadora de los transmisores GNSS a bordo de la pluralidad de satélites y los datos ionosféricos relativos a un estado de la ionosfera, son procesados simultáneamente mediante un primer proceso de estimación y un segundo proceso de estimación, teniendo los procesos de estimación primero y segundo diferentes velocidades de procesamiento, e interactuando entre sí.

En virtud de esta disposición, la determinación de los datos de la CPF que necesitan ser actualizados frecuentemente en el lado del usuario (por ejemplo, una vez por época), tales como los datos de reloj del satélite, y de los datos que no necesitan ser actualizados con tanta frecuencia de renovación, tales como el modelo ionosférico, pueden ser desacoplados. De acuerdo con ello, por ejemplo, es posible obtener datos precisos del reloj del satélite mediante un primer proceso de filtrado rápido, mientras que, por ejemplo, se puede obtener el modelo ionosférico mediante un segundo proceso de filtrado más lento. Proporcionando la salida del segundo proceso de filtrado al primer proceso de filtrado, es posible conseguir una precisión óptima de los datos determinados. Asimismo, los elementos que cambian rápidamente de los datos de servicio de la invención y los elementos que cambian más lentamente de los datos de servicio de la invención, pueden ser determinados en una estructura compatible mediante un único proceso unificado. De este modo, es posible obtener tanto una elevada precisión para todos los elementos de los datos de servicio, como altas tasas de renovación para elementos individuales de los datos de servicio, tal como los relojes de precisión del satélite, y todos los elementos de los datos de servicio pueden ser determinados en una estructura compatible. Por lo tanto, la disposición anterior de la invención permite proporcionar datos de servicio de calidad óptima al usuario, por lo que el rendimiento, en lo que respecta al tiempo de convergencia y/o a la precisión de la ubicación en la determinación de la ubicación del usuario, puede ser mejorado. Al mismo tiempo, la potencia de cálculo requerida para la determinación de los datos de servicio de la invención se puede frenar considerablemente.

Además, es posible elegir una tasa de renovación del reloj del satélite, una tasa de renovación de la órbita del satélite y una tasa de renovación del modelo ionosférico, que indican respectivamente con qué datos se están actualizando de manera continua los datos del reloj del satélite en el objeto, una tasa con la cual se están actualizando de manera continua en el objeto los datos de la órbita del satélite, y una tasa con la cual se están actualizando de manera continua en el objeto los datos del modelo ionosférico, de tal manera que la tasa de renovación de los datos del reloj del satélite es mayor que la tasa de renovación de los datos de la órbita del satélite, y la tasa de renovación de datos del reloj del satélite es mayor que la tasa de renovación de los datos del modelo ionosférico.

Dado que, por ejemplo, la precisión de los relojes del satélite que se da en el lado del usuario se degrada con rapidez, es necesario transmitir con frecuencia los datos del reloj del satélite al usuario, es decir, con una tasa de renovación elevada, típicamente de una vez por época. Al contrario que los relojes del satélite, las órbitas del satélite y otros elementos de los datos de servicio no se degradan con tanta rapidez, y pueden ser transmitidos al usuario con una menor tasa de renovación. El modelo ionosférico, por ejemplo, necesita ser actualizado con una tasa de renovación de una vez cada diez minutos, o con una tasa de renovación incluso menor. Transmitiendo los elementos individuales de los datos de servicio con tasas de renovación adaptadas individualmente, el ancho de banda requerido para la transmisión de los datos de servicio puede ser reducido considerablemente. Típicamente, en la presente invención, el ancho de banda requerido para la transmisión de los datos de servicio es 250 bytes por segundo por constelación.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un aparato, comprendiendo el aparato: un medio para recibir señales que son transmitidas por transmisores GNSS a bordo de un número dado de satélites situados en el campo visual del aparato; un medio para actualizar datos de servicio, siendo los datos de servicio facilitados por un proveedor de servicios de GNSS y comprendiendo datos del reloj del satélite que indican relojes internos de los satélites, datos de la órbita del satélite que indican las ubicaciones de los satélites, datos de desviación del código

5 del retardo del satélite relativos a las desviaciones del código del retardo de los transmisores GNSS, y datos del modelo ionosférico que indican un estado de la ionosfera; un medio para determinar, sobre la base de los datos del modelo ionosférico, los datos del retardo ionosférico que indican correcciones relativas a los retardos de las señales, resultando los retardos de las señales de un paso de las señales a través de la ionosfera, entre la transmisión de las señales desde los transmisores GNSS y la recepción de las señales por el medio para la recepción de señales; y un medio para determinar una ubicación del aparato sobre la base de las señales, de los datos del reloj del satélite, de los datos de la órbita del satélite, de los datos de desviación del código del retardo del satélite y de los datos del retardo ionosférico.

10 El aparato comprende además: un medio para obtener datos de observación del código a partir de las señales, siendo los datos de observación del código relativos a los datos transmitidos con las señales y que comprenden observables de código relativos a los datos transmitidos con las señales; y un medio para obtener datos de observación de la fase de la portadora a partir de las señales, siendo los datos de observación de la fase de la portadora relativos a las fases de la portadora de las señales y comprendiendo observables de la fase de la portadora relativos a la fase de la portadora de las señales; y el medio para determinar la ubicación del objeto está además adaptado para determinar la ubicación del objeto sobre la base de los datos del reloj del satélite, los datos de la órbita del satélite, los datos de desviación del código del retardo del satélite, los datos del retardo ionosférico y al menos uno de los datos de observación del código obtenidos a partir de las señales y de los datos de observación de la fase de la portadora obtenidos a partir de las señales.

20 Todos los observables del código y todos los observables de la fase de la portadora implicados en la etapa de determinar la ubicación del objeto son observables no diferenciados. De manera correspondiente, el medio para obtener los datos de observación del código a partir de las señales está además adaptado para obtener de manera no ambigua los datos de observación a partir de las señales solas, y el medio para obtener los datos de observación de la fase de la portadora a partir de las señales está preferiblemente adaptado, además, para obtener de manera no ambigua los datos de observación de la fase de la portadora a partir de las señales solas.

25 El aparato de la invención puede comprender, además, al menos uno de: un medio para determinar un retardo ionosférico para un observable del código; un medio para determinar un retardo ionosférico para un observable de la fase de la portadora; un medio para determinar un retardo ionosférico para una combinación sin geometría de observables de la fase de la portadora.

30 Preferiblemente, el medio para actualizar los datos de servicio está adaptado para actualizar los datos de servicio, que comprenden además datos de desviación de la fase del satélite relativos a las desviaciones de la fase de la portadora de los transmisores GNSS, y el medio para determinar la ubicación del objeto está, además, adaptado para determinar los datos de ambigüedad de la fase de la portadora, indicando, para al menos una señal, un recuento de ciclos completos comprendidos en una diferencia de fase entre la fase de una portadora de la señal en un tiempo de transmisión y la fase de una portadora de la señal en un tiempo de recepción, sobre la base de los datos de observación de la fase de la portadora y de los datos de desviación de la fase del satélite.

35 Preferiblemente, el medio para determinar la ubicación del objeto está, además, adaptado para ejecutar al menos un proceso de estimación recursivo. En él, el proceso de estimación recursivo puede ser un filtro. Preferiblemente, el proceso de estimación recursivo es un filtro de Kalman.

40 El medio para determinar la ubicación del objeto puede estar, además, adaptado a cada etapa del proceso de estimación recursivo, comprendiendo los datos del estado de estimación al menos uno de la ubicación del objeto y de los datos de ambigüedad de la fase de la portadora, sobre la base de las señales, de los datos del reloj del satélite, de los datos de la órbita del satélite, de los datos del retardo ionosférico, y de una estimación de los datos del estado estimados en la etapa previa. Los datos del estado pueden comprender asimismo al menos uno de un retardo troposférico y un wind-up de usuario. Preferiblemente, el al menos un proceso de estimación recursivo procesa al menos uno de las combinaciones de observables de la fase de la portadora que están substancialmente afectadas por los retardos de las señales, las combinaciones de observables del código que están substancialmente afectadas por los retardos de las señales, los observables de la fase de la portadora que están substancialmente afectados por los retardos de las señales, y los observables del código que están substancialmente afectados por los retardos de las señales.

50 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un sistema que comprende el aparato anterior y una red formada por al menos una instalación de procesamiento central que es una estación de tierra fija y una pluralidad de estaciones de red que son estaciones de tierra fijas que tienen cada una un receptor GNSS, en el que la red está adaptada para obtener los datos de servicio y transmitir los datos de servicio al aparato. Preferiblemente, la instalación de procesamiento central comprende un medio para la obtención de datos de servicio. Más preferiblemente, la instalación de procesamiento central comprende un medio para transmitir los datos de servicio al aparato.

55 Preferiblemente, las estaciones de red comprenden un medio para la recepción de señales transmitidas por los transmisores GNSS situados a bordo de una pluralidad de satélites dispuestos en el campo visual de al menos una de las estaciones de red, y la instalación de procesamiento central comprende: un medio para la determinación de

los datos del retardo ionosférico de la red que indican correcciones relativas a los retardos de las señales recibidas en las estaciones de red, los retardos de las señales recibidas en las estaciones de red que resultan de un paso de las señales recibidas en las estaciones de red a través de la ionosfera; y un medio para la determinación de los datos del modelo ionosférico a partir de los datos del retardo ionosférico de la red. En él, las señales recibidas por el medio para la recepción de señales, preferiblemente son señales de al menos dos frecuencias diferentes.

De acuerdo con la invención, la instalación de procesamiento central puede comprender, además: un medio para expandir la densidad numérica de electrones libres en la ionosfera en una pluralidad de funciones; y un medio para estimar los datos del contenido de electrones que indican coeficientes de la pluralidad de funciones sobre la base de los datos del retardo ionosférico de la red. Preferiblemente, estas funciones son funciones basadas en vóxeles de tal manera que la ionosfera está subdividida en una pluralidad de células de volumen ("vóxeles") aplicando un mallado a la ionosfera y los coeficientes de las funciones basadas en vóxeles corresponden a la cantidad de electrones libres dentro de cada célula de volumen. De manera alternativa, las funciones pueden ser también funciones tales como funciones ortogonales empíricas, armónicos esféricos o perfiles Chapman.

Preferiblemente, la instalación de procesamiento central comprende: un primer medio de procesamiento para el procesamiento de datos geodésicos relativos al menos a uno de los relojes internos de la pluralidad de satélites, ubicaciones de la pluralidad de satélites, desviaciones del código de retardo de los transmisores GNSS a bordo de la pluralidad de satélites y desviaciones de fase de la portadora de los transmisores a bordo de la pluralidad de satélites; y un segundo medio de procesamiento para el procesamiento de datos ionosféricos relativos a un estado de la ionosfera, en el que el primer medio de procesamiento está configurado para ejecutar un primer proceso de estimación, y el segundo medio de procesamiento está configurado para ejecutar un segundo proceso de estimación, teniendo los procesos de estimación primero y segundo diferentes velocidades de procesamiento e interactuando entre sí.

El medio para la transmisión de datos de servicio al aparato puede estar configurado de tal manera que se elige una tasa de renovación del reloj del satélite, una tasa de renovación de los datos de la órbita del satélite y una tasa de renovación del modelo ionosférico, que indican respectivamente una tasa con la cual los datos del reloj del satélite son actualizados de manera continua en el objeto, una tasa con la cual los datos de la órbita del satélite son actualizados de manera continua en el objeto, y una tasa con la cual los datos del modelo ionosférico son actualizados de manera continua en el objeto, de tal manera que la tasa de renovación de los datos del reloj del satélite es mayor que la tasa de renovación de los datos de la órbita del satélite y la renovación de los datos del reloj del satélite es menos frecuente que la tasa de renovación de los datos del modelo ionosférico.

### Breve descripción de las figuras

La invención se describirá ahora en detalle con referencia a los dibujos adjuntos, entre los cuales:

- la figura 1 ilustra esquemáticamente un sistema de navegación para la implementación del método de la invención, que muestra un rover y un número de satélites en el campo visual del rover;
- la figura 2 ilustra esquemáticamente un esquema del método de la invención para la determinación de la ubicación de un rover.
- la figura 3 muestra un diagrama de flujo esquemático que ilustra una realización de la invención;
- la figura 4 muestra un diagrama de flujo esquemático que ilustra otra realización de la invención;
- la figura 5 muestra un diagrama de flujo esquemático que ilustra otra realización de la invención;
- la figura 6 muestra un diagrama de flujo esquemático que ilustra otra realización de la invención,
- la figura 7 muestra un mapa del mundo que indica ubicaciones de ejemplo de estaciones de tierra de una red de estaciones de tierra de acuerdo con la invención;
- la figura 8 ilustra un esquema de una instalación de procesamiento central de acuerdo con la invención;
- la figura 9 ilustra esquemáticamente un aparato para la determinación de la ubicación de un servicio utilizando el método de la invención,
- la figura 10 muestra un diagrama de flujo esquemático que ilustra un método de determinación de ubicación de la técnica anterior.

### Descripción detallada de las figuras y de las realizaciones preferidas de la presente invención

A modo de ilustración, sin limitar en modo alguno su alcance, a continuación, se centrará la atención en las realizaciones preferidas de la invención. Las definiciones de términos técnicos que se dan a continuación pretenden ser puramente ilustrativas, sin buscar ninguna limitación del alcance de la invención.

La figura 1 muestra un rover SUR que tiene un receptor GNSS SUR<sub>GNSS</sub>, y un número de satélites SAT<sub>1</sub> a SAT<sub>n</sub>, provisto cada uno de un transmisor GNSS GNSS<sub>E1</sub> a GNSS<sub>En</sub>. Los transmisores GNSS GNSS<sub>E1</sub> a GNSS<sub>En</sub> transmiten señales que comprenden una onda portadora de una frecuencia de portadora predeterminada, así como información de marca de tiempo constituida por un código pseudo-aleatorio que está superpuesto sobre la onda portadora. Cada uno de los transmisores GNSS GNSS<sub>E1</sub> a GNSS<sub>En</sub> puede transmitir señales de diferentes frecuencias de portadora. Por ejemplo, entre otros sistemas, la presente invención es aplicable al Sistema de localización global (GPS – Global Positioning System, en inglés), al sistema Galileo, o al GPS modernizado. En él, los transmisores GPS transmiten señales de dos frecuencias de portadora diferentes, mientras que los transmisores GPS y Galileo modernizados transmiten señales de tres o más frecuencias de portadora diferentes. Las señales transmitidas por los transmisores GNSS GNSS<sub>E1</sub> a GNSS<sub>En</sub> subsiguientemente son recibidas por un receptor GNSS SUR<sub>GNSS</sub> a bordo del rover SUR. En lo anterior, se debe entender que las señales transmitidas por los transmisores GNSS GNSS<sub>E1</sub> a GNSS<sub>En</sub> son transmitidas de manera continua. Un tiempo en el cual las señales procedentes de todos los transmisores GNSS GNSS<sub>E1</sub> a GNSS<sub>En</sub> a bordo de los satélites SAT<sub>1</sub> a SAT<sub>n</sub> en el campo visual del rover SUR son recibidas simultáneamente por el receptor GNSS SUR<sub>GNSS</sub> del rover SUR y son procesadas, se denomina “época”. El intervalo de tiempo entre épocas se puede elegir arbitrariamente, por ejemplo, un segundo del tiempo estándar de referencia. No obstante, duraciones alternativas para los intervalos de tiempo entre épocas están explícitamente comprendidas por el alcance de la invención. Además de las señales transmitidas por los transmisores GNSS GNSS<sub>E1</sub> a GNSS<sub>En</sub>, el rover recibe también datos de servicio que pueden, por ejemplo, ser transmitidos por una Instalación de procesamiento central, o “CPF”, comprendida por una red de estaciones de tierra fijas (no mostrada en la figura).

La figura 2 ilustra esquemáticamente un esquema de la determinación de la ubicación de un usuario de acuerdo con la presente invención. Un usuario 201 está provisto de observables 206 obtenidos a partir de las señales de GNSS recibidas por un receptor GNSS. De manera equivalente, al usuario 201 se le pueden facilitar las propias señales de GNSS recibidas por el receptor GNSS. Los observables 206 proporcionados son a continuación sometidos a detección de deslizamiento de ciclo, que detecta la pérdida de bloqueos de seguimiento para uno o más satélites y, a menos que se haya detectado un deslizamiento de ciclo, se determinan residuos 203 de preajuste, sobre la base de los observables proporcionados y de los datos de servicio 207 proporcionados al usuario por un proveedor de servicios. El experto en la materia puede pensar que el usuario está asociado a un aparato para llevar a cabo los procesamientos anteriores. En particular, se debe entender que tal aparato comprende un medio para la recepción de señales de GNSS tal como un receptor GNSS, un medio para la obtención de observables procedentes de las señales de GNSS recibidas, un medio para la recepción de datos de servicio, un medio para llevar a cabo la detección de un deslizamiento de ciclo y un medio para la obtención de los residuos de preajuste.

Los datos de servicio 207 comprenden datos de los relojes de precisión del satélite (datos del reloj del satélite que indican los relojes internos de los satélites), de las órbitas precisas del satélite (datos de la órbita del satélite que indican las ubicaciones de los satélites), de las desviaciones del código de retardo de los transmisores GNSS a bordo de los satélites (datos de desviación del código de retardo del satélite que indican las desviaciones del código de retardo de los transmisores GNSS), y de un modelo ionosférico (datos del modelo ionosférico que indican un estado de la ionosfera). Los relojes de precisión de acuerdo con la invención tienen una precisión ligeramente menor (aproximadamente 6 cm cuando se traducen en una precisión de ubicación) gracias a la fijación de la ambigüedad que se lleva a cabo en el proceso de determinación de los relojes de precisión (véase a continuación), en comparación con los relojes utilizados en el método de PPP convencional (aproximadamente 8 cm cuando se traduce a una precisión de ubicación). Las órbitas precisas de acuerdo con la invención tienen una precisión similar (aproximadamente 5 cm cuando se traduce a una precisión de ubicación), en comparación con las órbitas utilizadas en el método de PPP convencional. Las desviaciones del código del retardo del satélite se refieren a retardos de instrumentación de los transmisores GNSS a bordo de los satélites de GNSS. Para cada frecuencia de portadora, la desviación del código de retardo del satélite correspondiente se refiere a un retardo entre la información con marca de tiempo transmitida con las señales y un marco de tiempo de referencia.

En esta memoria, y en lo que sigue, se debe entender que el término “datos de servicio” se refiere a cualquier tipo de datos que son recibidos por el usuario, y que son diferentes de las señales de GNSS transmitidas por los transmisores GNSS a bordo de los satélites de GNSS. Es preciso señalar, además, que en esta memoria y en lo que sigue los datos de servicio no comprenden observables y/o señales obtenidos en otros receptores GNSS. En consecuencia, la aplicación del método de la invención no depende de la proximidad a un receptor GNSS de referencia. Además, el ancho de banda requerido para la transmisión de los datos de servicio se reduce considerablemente con respecto al caso en el que los observables de referencia y/o las señales se transmiten con los datos de servicio.

Además de los elementos anteriores, los datos de servicio 207 pueden comprender asimismo ambigüedades de partes fraccionales del satélite (datos de desviación de fase del satélite relativos a desviaciones de fase de la portadora de los transmisores GNSS), para cada señal de una frecuencia de portadora dada relativa a un desfase de la fase de la portadora con respecto a un marco de tiempo de referencia.

El modelo ionosférico comprendido por los datos de servicio 207 indica un contenido de electrones libres en la ionosfera. Los electrones libres en la ionosfera están generados principalmente a través de la radiación solar. Dado que la radiación solar varía con el tiempo y es diferente en diferentes puntos de la ionosfera, la densidad de

electrones libres en la ionosfera depende tanto del tiempo como de la ubicación. Además, la ionosfera no sigue la rotación de la tierra, lo que resulta en una mayor dependencia del tiempo del estado de la ionosfera, si se considera un sistema de coordenadas fijo con respecto a la tierra. El modelo ionosférico proporciona información que es suficiente para determinar una densidad de electrones libres para una ubicación dada dentro de la ionosfera o para una célula de volumen de un tamaño predeterminado dentro de la ionosfera. Por ejemplo, la ionosfera puede estar subdividida en una pluralidad de células de volumen o "vóxeles" dispuestos en varias capas que rodean a la tierra, y el modelo ionosférico puede comprender la cantidad total de electrones libres para cada célula de volumen. Además, la función de densidad de electrones libres en la ionosfera puede ser expandida en una pluralidad de funciones, tales como funciones ortogonales empíricas, armónicos esféricos o perfiles de Chapman, y el modelo ionosférico puede comprender los coeficientes de estas funciones. Debe entenderse que el listado de estas funciones solo tiene naturaleza de ejemplo, y que el experto en la materia puede pensar que también es posible utilizar otras funciones diferentes de las funciones mencionadas anteriormente para subdividir la ionosfera. Sobre la base de la información proporcionada al usuario por medio del modelo ionosférico, se puede determinar un contenido integrado de electrones libres a lo largo de la línea de visión entre el receptor GNSS y un transmisor GNSS a bordo del satélite de GNSS en el campo visual del receptor GNSS, o un contenido de electrones libres dentro de un cilindro alineado con la línea de visión y que tiene un área de sección transversal de, por ejemplo, un metro cuadrado ( $m^2$ ). Comúnmente, un contenido de  $10^{16}$  electrones libres en tal cilindro se denomina Unidad de contenido de electrones totales (TECU – Total Electron Content Unit, en inglés).

Los residuos de preajuste 203 obtenidos a partir de los observables 206, y los datos de servicio 207 se utilizan para efectuar una estimación de filtro 204, que permite determinar la ubicación del usuario 208. A continuación, se muestran más detalles relativos a los residuos de preajuste 203 y a la estimación de filtro 204. Con el fin de aumentar la precisión de la señal del usuario 208 determinada y de reducir el tiempo de convergencia requerido para llevar a cabo la estimación de filtro 204, las ambigüedades de partes fraccionales del satélite comprendidas por los datos de servicio 207 pueden ser utilizadas para limitar las ambigüedades de diferencia cero 205 relativas a los observables de la fase de la portadora o a las combinaciones lineales de observables que implican a observables de la fase de la portadora. De acuerdo con ello, el aparato asociado al usuario comprende además un medio para la obtención del residuo de preajuste y un medio para llevar a cabo una estimación de filtro. En él, el medio para la obtención del residuo de preajuste y el medio para llevar a cabo la estimación de filtro pueden ser independientes, o pueden ser parte de un medio para la determinación de la ubicación del usuario.

A continuación, se describirá con referencia a la figura 3, una realización de la presente invención, en la cual las señales de GNSS de dos frecuencias de portadora diferentes son recibidas por un usuario y procesadas para determinar la ubicación del usuario.

En ella, debe entenderse que las señales de un número arbitrario de frecuencias de portadora diferentes pueden ser transmitidas por los transmisores GNSS a bordo de los satélites de GNSS en el campo visual del usuario, pero el receptor GNSS en el lado del usuario puede estar limitado a la recepción de señales únicamente de dos frecuencias de portadora diferentes. Asimismo, puede darse el caso de que el receptor GNSS en el lado del usuario pueda recibir señales de un número arbitrario de frecuencias de portadora diferentes, pero que solo es posible procesar señales de dos frecuencias de portadora diferentes en el lado del usuario.

En la etapa S301, se reciben datos de servicio 310 que son transmitidos preferiblemente por una CPF. Preferiblemente, la CPF está asociada a un proveedor de servicios. Los datos de servicio 310 comprenden datos de relojes de precisión del satélite (datos del reloj del satélite que indican relojes internos de los satélites de GNSS), de órbitas precisas del satélite (datos de la órbita del satélite que indican las ubicaciones de los satélites de GNSS), de desviaciones del código de retardo del satélite (datos de la desviación del código de retardo del satélite relativos a las desviaciones del código de retardo de los transmisores del GNSS), y del modelo ionosférico (datos del modelo ionosférico que indican un estado de la ionosfera). Los datos de servicio 310 pueden comprender además ambigüedades de partes fraccionales del satélite (datos de desviación de la fase del satélite relativas a las desviaciones de la fase de la portadora de los transmisores GNSS). Dado que los diferentes elementos de los datos de servicio 310 cambian en diferentes escalas de tiempo, pueden ser transmitidos y recibidos con diferentes tasas de renovación. Por ejemplo, la precisión de los relojes del satélite mantenida en el lado del usuario se degrada rápidamente en ausencia de datos actualizados, mientras que el estado de la ionosfera típicamente cambia con una escala de tiempo de horas, o al menos de decenas de minutos. De acuerdo con ello, los relojes del satélite pueden ser transmitidos con la mayor tasa de renovación, preferiblemente en cada época, las órbitas del satélite pueden ser transmitidas con una menor tasa de renovación, preferiblemente cada pocos minutos, las desviaciones del código de retardo del satélite y las ambigüedades de partes fraccionales del satélite pueden ser transmitidas con una tasa de renovación más reducida, preferiblemente cada varios minutos, y el modelo ionosférico puede ser transmitido con una tasa de renovación similar de pocos minutos.

En la etapa S302, las señales de dos frecuencias de portadora diferentes transmitidas por los transmisores GNSS a bordo de un número de satélites de GNSS en el campo visual del usuario son recibidas por un receptor GNSS asociado al usuario. A continuación, las dos frecuencias de portadora diferentes se denominarán  $f_1$  y  $f_2$ . Si  $n$  denota el número de satélites de GNSS en el campo visual del usuario, se reciben  $2n$  señales en esta etapa.

En la etapa S303, se obtienen observables a partir de las señales del satélite recibidas en la etapa S302. Para cada señal de frecuencia de portadora  $f_i$ , es posible obtener un observable de fase de portadora  $L_i$  y un observable de código  $P_i$ . De acuerdo con ello, para dos frecuencias de portadora diferentes denotadas  $f_1$  y  $f_2$ , en esta etapa es

posible obtener  $n$  observables de la fase de la portadora  $L_1^i$ ,  $n$  observables de la fase de la portadora  $L_2^i$ ,  $n$

5 observables de código  $P_1^i$  y  $n$  observables de código  $P_2^i$ , donde el índice inferior denota la frecuencia de la portadora  $f_1$  o  $f_2$  de la correspondiente señal y el índice superior  $i = 1, \dots, n$  denota el correspondiente transmisor GNSS (o de manera equivalente, el correspondiente satélite de GNSS).

10 Cuando una señal de radio tal como una señal de GNSS se desplaza a través de la ionosfera, experimenta un retardo, el llamado retardo ionosférico. En el caso de que la señal de GNSS esté retardada, la fase de la portadora medida en un receptor GNSS que recibe la señal de GNSS cambia con respecto al caso en el cual la señal de GNSS no se ha retardado. Por lo tanto, un observable de la fase de la portadora obtenido a partir de la señal de GNSS retardada está también afectado por el retardo ionosférico de la señal de GNSS, y el propio observable experimenta un retardo ionosférico. Asimismo, un observable de código obtenido a partir de la señal de GNSS relativa a la información con marca de tiempo transmitida con la señal de GNSS está afectado por el retardo ionosférico de la señal de GNSS y, por lo tanto, el propio observable de código experimenta un retardo ionosférico.

15 En la etapa S304, se determinan los retardos ionosféricos de las señales y/o los observables. Sobre la base del modelo ionosférico, es posible determinar el contenido integrado de electrones libres a lo largo de la línea de visión entre el receptor GNSS y un transmisor GNSS a bordo del satélite de GNSS en el campo visual del receptor GNSS o un contenido de electrones libres en el interior del cilindro alineado con la línea de visión y que tiene un área de sección transversal de, por ejemplo, un metro cuadrado ( $m^2$ ). El retardo ionosférico de una señal de GNSS de frecuencia de portadora  $f$  depende del contenido total de electrones libres a lo largo de la línea de visión entre el receptor GNSS y el transmisor GNSS, y es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia  $f$ . Por ejemplo, para una señal de GNSS de frecuencia de portadora  $f = 1,575$  GHz (la banda  $L_1$  del GPS), un contenido de electrones total de 0,26 TECU resulta en un retardo de la señal de 4 cm o, de manera correspondiente, en un retardo de 133 picosegundos. De acuerdo con ello, el retardo ionosférico de una señal de GNSS puede ser determinado a partir, por ejemplo, del contenido total de electrones libres a lo largo de la línea de visión entre el receptor GNSS y el transmisor GNSS, o a partir de un contenido de electrones libres en el interior de un cilindro alineado con la línea de visión y que tiene un área de sección transversal de, por ejemplo, un metro cuadrado ( $m^2$ ). A partir del retardo de la señal de GNSS, es posible obtener los retardos ionosféricos de los observables de la fase de la portadora y los observables de código obtenidos a partir de la señal de GNSS de una manera sencilla y, a partir de ellos, se pueden obtener a su vez los retardos ionosféricos de las combinaciones lineales de observables de la fase de la portadora y de observables de código.

20 El modelo ionosférico puede estar provisto de datos de fiabilidad que indican, para cada ubicación de la tierra, la fiabilidad del modelo ionosférico en esta ubicación. Como se explicará a continuación, el modelo ionosférico es obtenido por una red de estaciones de tierra fijas que disponen cada una de un receptor GNSS y que están asociadas a una instalación de procesamiento central. En regiones en las cuales la red de estaciones de tierra fijas es densa, el modelo ionosférico puede ser determinado con una elevada precisión (alta fiabilidad), mientras que en las regiones en las cuales la red de estaciones de tierra fijas es menos densa, el modelo ionosférico es determinado con menos precisión (menor fiabilidad). En el caso en el que el modelo ionosférico está provisto de datos de fiabilidad, es posible determinar la precisión (fiabilidad) de los retardos ionosféricos determinados a partir del modelo ionosférico. En las etapas subsiguientes, cuando se efectúa una estimación de filtro, se puede tener en cuenta la precisión de los retardos ionosféricos determinada a partir del modelo ionosférico.

25 A continuación, con referencia a las etapas S305 a S309, se describirá una determinación de la ubicación del usuario sobre la base de las señales recibidas en la etapa S302, de los relojes del satélite, de las órbitas del satélite, de las desviaciones del código del retardo del satélite recibidas en la etapa S301 y de los retardos ionosféricos determinados en la etapa S304.

30 En la etapa S305, las primeras combinaciones lineales de los observables se obtienen a partir de los observables. Para cada transmisor GNSS, se obtiene una de tales primeras combinaciones lineales de observables obtenidas en la etapa S303. De acuerdo con ello, se obtienen un total de  $n$  primeras combinaciones lineales. A continuación, siempre que se obtenga una combinación lineal de observables para cada transmisor GNSS, se denominará simplemente combinación lineal de observables. Para ser concisos, por "combinación lineal" o "combinación", se entiende un conjunto de  $n$  combinaciones lineales distintas. A continuación, se aplicará la misma terminología a los observables, las combinaciones lineales de observables, las ambigüedades u otros, tales como, si no se indica otra cosa, cada una de estas expresiones se refiere respectivamente a un conjunto de  $n$  (es decir, uno para cada satélite de GNSS) observables, combinaciones lineales de observables, ambigüedades u otros.

35 De acuerdo con la presente invención, la primera combinación lineal de observables obtenida en la etapa S305 es diferente de las combinaciones sin ionosfera. Por lo tanto, la primera combinación lineal de observables está substancialmente afectada por los retardos ionosféricos.

Preferiblemente, la primera combinación lineal tiene una longitud de onda que es mayor que las longitudes de onda  $\lambda_1 = c/f_1$  y  $\lambda_2 = c/f_2$  de las señales de GNSS de frecuencias de portadora  $f_1$  y  $f_2$ , respectivamente. Además, preferiblemente, la longitud de onda de la primera combinación lineal es la máxima longitud de onda que es posible obtener para una combinación lineal de observables relativa a las frecuencias de portadora  $f_1$  y  $f_2$ . Si se forma una primera combinación lineal con una longitud de onda grande, no es necesariamente preciso tener en cuenta en esta etapa y en las siguientes etapas los retardos ionosféricos de las primeras combinaciones lineales. No obstante, teniendo en cuenta las correcciones que son debidas a los retardos ionosféricos de las primeras combinaciones lineales en esta etapa y en las etapas siguiente, debe entenderse que se encuentran dentro del alcance de la invención.

Aunque se pueden formar un número de combinaciones lineales de observables diferentes en la etapa S305, de acuerdo con la presente invención la primera combinación lineal de observables preferiblemente es una combinación de Melbourne – Wübbena  $L_w^i - P_n^i$  de observables de la fase de la portadora de banda ancha  $L_w^i$  y de observables de código de banda ancha  $P_n^i$  (en ocasiones denominados también observables de código de banda estrecha). Una descripción más detallada de la combinación de Melbourne – Wübbena se puede encontrar en los artículos “The case for ranging GPS-based geodetic systems” por W. G. Melbourne, publicado en “Proceedings of first international symposium on precise positioning with the global positioning system”, US, páginas 373–386, 1985, y “Software developments for geodetic positioning with GPS using TI-4100 code and carrier measurements”, por G. Wübbena, ibid., páginas 403–412, 1985. Los observables de la fase de la portadora de banda ancha  $L_w^i$  y los observables de código de banda estrecha  $P_n^i$  se obtienen a partir de los observables obtenidos en las etapas S303 mediante:

$$L_w^i = \frac{f_1 L_1^i - f_2 L_2^i}{f_1 - f_2} \quad (5)$$

$$P_n^i = \frac{f_1 P_1^i + f_2 P_2^i}{f_1 + f_2} \quad (6)$$

En la etapa S306, se estima una primera ambigüedad relativa a la primera combinación lineal de observables. A partir de la primera combinación lineal, es posible obtener un sistema de n ecuaciones de observación. Mediante la introducción de las desviaciones del código de retardo obtenidas a partir de los datos de desviación del código de retardo y de la aplicación de un proceso de estimación recursivo al sistema de n ecuaciones de observación, el sistema puede ser resuelto, y es posible estimar una ambigüedad de la primera combinación lineal de observables. De acuerdo con la presente invención, la primera ambigüedad, que es la ambigüedad de la primera combinación lineal de observables, es diferente de la ambigüedad sin ionosfera. Preferiblemente, el proceso de estimación recursivo es un filtro, y más preferiblemente, el filtro es un filtro de Kalman. En esta memoria, un proceso de estimación recursivo es un proceso en el cual, en cada etapa de los datos del proceso, por ejemplo, que comprende la ubicación del usuario y/o una ambigüedad de la fase de la portadora, se estima sobre la base de las señales de los datos del reloj del satélite, de los datos de la órbita del satélite, de los datos del retardo ionosférico y de una estimación de los datos estimados en la etapa previa.

En la etapa S306, en el caso de que la primera combinación de observables sea la combinación de Melbourne – Wübbena  $L_w^i - P_n^i$ , una relación específica entre la combinación de Melbourne – Wübbena, las desviaciones del código del retardo del satélite  $D^i$ , la desviación del código del retardo del receptor  $D_k$  y la ambigüedad de banda ancha  $B_w^i$  se mantiene, y se obtienen el siguiente sistema de n ecuaciones de observación:

$$L_w^i - P_n^i + \frac{\lambda_w \lambda_n}{\lambda_1 \lambda_2} D^i = B_w^i - \frac{\lambda_w \lambda_n}{\lambda_1 \lambda_2} D_k \quad (7)$$

En el mismo, las longitudes de onda  $\lambda_w$  y  $\lambda_n$  son  $\lambda_w = c/(f_1 - f_2)$  y  $\lambda_n = c/(f_1 + f_2)$ , y las desviaciones del código del retardo del satélite  $D^i$  (incluidas en los datos de servicio en la etapa S301) están asociadas a la combinación sin geometría. Mediante la aplicación de un proceso de estimación recursivo, preferiblemente un filtro, más preferiblemente un filtro de Kalman, al sistema de n ecuaciones (7), cada ambigüedad de banda ancha  $B_w^i$  se puede expresar en función de la desviación del código del retardo del receptor  $D_k$ , que se puede tratar como parte del reloj del receptor. En él, como se ha indicado anteriormente, debe entenderse que la expresión “ambigüedad de

banda ancha" se refiere al conjunto de  $n$  ambigüedades de banda ancha  $B_w$  correspondiente a los transmisores GNSS a bordo de los satélites de GNSS en el campo visual del usuario. Obtener la ambigüedad de banda ancha  $B_w$  de esta manera es factible gracias a las excelentes propiedades de la combinación de Melbourne – Wübbena  $L_w - P_n$ , en particular su longitud de onda y el bajo ruido para el observable del código de banda ancha  $P_n$ .

5 En la etapa S307, una segunda combinación lineal de observables se obtiene a partir de los observables obtenidos en la etapa S303. Como en la etapa S305, para cada transmisor GNSS, se obtiene una de tales segundas combinaciones lineales de observables que ha sido obtenida en la etapa S303. Debe entenderse que la primera combinación lineal y la segunda combinación lineal son combinaciones independientes lineales, es decir, que ninguna es múltiplo de la otra. En esta etapa se obtienen un total de  $n$  segundas combinaciones lineales. Asimismo, 10 la segunda combinación lineal de observables es diferente de la combinación sin ionosfera y, así, resulta substancialmente afectada por los retardos ionosféricos. Preferiblemente, la segunda combinación lineal tiene una longitud de onda menor que la de la primera combinación lineal. En tal caso, debido a la menor longitud de onda, los retardos ionosféricos de la segunda combinación lineal deben ser tenidos en cuenta cuando se estima una ambigüedad de la segunda combinación lineal. De manera más específica, de acuerdo con la presente invención, la segunda combinación lineal de observables viene dada por  $L_l = L_1 - L_2$ , y se denomina comúnmente fase ionosférica  $L_l$ . 15

En la etapa S308, se estima una segunda ambigüedad relativa a la segunda combinación lineal de observables. A partir de la segunda combinación lineal, se puede obtener un sistema de  $n$  ecuaciones de observación. Mediante la aplicación de un proceso de estimación recursivo al sistema de  $n$  ecuaciones de observación, se puede resolver el sistema y se puede estimar una ambigüedad de la segunda combinación lineal de observables. De acuerdo con la presente invención, la segunda ambigüedad, que es la ambigüedad de la segunda combinación lineal de observables, es diferente de la ambigüedad sin ionosfera. Preferiblemente, el proceso de estimación recursivo es un filtro, y más preferiblemente, el filtro es un filtro de Kalman. En la presente realización, en la cual la segunda combinación lineal de observables es la fase ionosférica  $L_l$ , una relación que da lugar al siguiente sistema de  $n$  20 ecuaciones de observación cumple: 25

$$L_l^i - S^i = B_l^i + (\lambda_1 - \lambda_2)w_k \quad (8)$$

En él, las cantidades  $S^i$  indican que los llamados retardos ionosféricos de las fases ionosféricas  $L_l^i$ ,  $B_l^i$  son las ambigüedades de la fase de la portadora ionosférica, y  $w_k$  es el wind-up del usuario. Los llamados retardos ionosféricos de inclinación  $S^i$  parametrizan el impacto de los retardos ionosféricos de las señales de GNSS transmitidas por los transmisores GNSS a bordo de los satélites de GNSS en el campo visual del usuario en las 30 fases ionosféricas  $L_l^i$ .

Es posible obtener expresiones numéricas para los retardos ionosféricos de las segundas combinaciones lineales de observables o, de manera equivalente, de las correspondientes correcciones de las segundas combinaciones lineales de observables a partir de los retardos ionosféricos determinados en la etapa S304.

35 En el presente ejemplo, los retardos ionosféricos (retardos ionosféricos de inclinación)  $S^i$  de la fase ionosférica  $L_l$  relativa a cada uno de los  $n$  transmisores GNSS se obtienen a partir de los retardos ionosféricos determinados en la etapa S304.

Como en la etapa S306, que se refiere a modo de ejemplo a la combinación de Melbourne – Wübbena, en la etapa S308 se aplica un método de estimación recursivo, preferiblemente un filtro, más preferiblemente se aplica un filtro de Kalman al sistema de  $n$  ecuaciones de observación relativas a la segunda combinación lineal de observables con el fin de estimar una segunda ambigüedad relativa a la segunda combinación lineal de observables. De acuerdo con la presente invención, en la etapa S308 se resuelve el sistema de  $n$  ecuaciones de observación (8) para estimar la ambigüedad ionosférica  $B_l$ . Dado que la principal incertidumbre en la ecuación (8), a saber, los retardos ionosféricos de inclinación  $S^i$ , han sido determinados de manera precisa a partir del modelo ionosférico, la estimación de la 40 ambigüedad ionosférica  $B_l$  avanza muy rápidamente. 45

Conociendo la primera ambigüedad y la segunda ambigüedad relativa a la primera combinación lineal y a la segunda combinación lineal, respectivamente, es posible calcular una tercera ambigüedad relativa a una tercera combinación lineal de observables arbitraria. En el ejemplo anterior de acuerdo con la presente invención en la etapa S309, se calcula la ambigüedad sin ionosfera  $B_{ec}$  a partir de la ambigüedad de banda ancha  $B_w$  y de la ambigüedad ionosférica  $B_l$  mediante 50

$$B_{ec} = B_w - \frac{\lambda_w \lambda_n}{\lambda_1 \lambda_2} B_l \quad (9)$$



Obtenida la ambigüedad sin ionosfera, la determinación de la ubicación del usuario puede avanzar de acuerdo con las etapas conocidas a partir de la técnica de PPP convencional. Es decir, la determinación de la ubicación del usuario puede avanzar de acuerdo con las etapas S1204 y S1205 de la figura 10. En ellas, se obtiene la combinación de observables sin ionosfera, y se aplica un proceso de estimación recursivo, preferiblemente un filtro, más preferiblemente un filtro de Kalman, para determinar la ubicación del usuario sobre la base de las combinaciones de observables sin ionosfera  $L_c$ ,  $P_c$  y de la ambigüedad sin ionosfera  $B_c$  determinadas anteriormente. Dado que la ambigüedad sin ionosfera  $B_c$  es ya conocida a partir de la etapa S309, de acuerdo con la invención, la determinación de la ubicación del usuario a partir de la combinación de observables sin ionosfera avanza muy rápidamente.

Para resumir lo anterior, el conocimiento de los retardos ionosféricos de los observables, como se obtienen a partir del modelo ionosférico, permiten el procesamiento de combinaciones lineales de observables que pueden no ser sin ionosfera y al mismo tiempo pueden tener una longitud de onda corta, y que están por lo tanto substancialmente afectadas por los retardos ionosféricos. Los retardos ionosféricos obtenidos a partir del modelo ionosférico se utilizan para corregir los retardos ionosféricos de los observables y/o de las combinaciones lineales de observables. El poder de este modo procesar las combinaciones lineales de observables que no son sin ionosfera permite obtener la ambigüedad sin ionosfera de una manera rápida, restando la combinación lineal de fases de la portadora corregida de la fase de la portadora sin ionosfera, eliminando con ello el cuello de botella de la técnica de PPP convencional.

Es de destacar que, en lo anterior, todas las señales y observables son procesados de un modo no diferenciado. Esto significa que no se miden diferencias entre las señales recibidas en el receptor GNSS y las señales recibidas en otros receptores GNSS o, de manera correspondiente, que no se miden diferencias entre los observables obtenidos de las señales recibidas en el receptor GNSS y los observables obtenidos de las señales recibidas en el otro receptor GNSS. En otras palabras, para llevar a cabo el método descrito sobre la base de la figura 3, no es necesario ningún otro receptor GNSS (de referencia) que transmita datos relativos a las señales recibidas en el otro receptor GNSS y/o datos relativos a los observables obtenidos de las señales recibidas en el otro receptor GNSS. En otras palabras, para llevar a cabo el método anterior, no es necesario introducir ningún dato aparte de las señales de GNSS 311 recibidas en el receptor GNSS y de los datos de servicio 310.

Por lo tanto, determinar la ubicación del rover con una alta precisión es posible globalmente (con un error en el rango del decímetro), en una ubicación dada en la tierra, y con una rápida convergencia (tras pocos minutos), particularmente en regiones en las que puede estar disponible un modelo ionosférico suficientemente preciso (con una incertidumbre en el retardo ionosférico de hasta aproximadamente varios cm en  $L_1$ ).

En lo anterior, un experto en la materia puede pensar que es posible invertir el orden de ciertas etapas. Por ejemplo, como se ha mencionado ya, las etapas S301 y S302 pueden ser intercambiadas, y también la etapa S305 junto con la etapa S306 pueden ser intercambiadas con la etapa S307 junto con la etapa S308. Asimismo, la etapa S303 en la cual se obtienen observables a partir de las señales del satélite puede ser unida a la etapa S305 y/o la etapa S307, de tal manera que las primeras y/o las segundas combinaciones lineales de observables se obtienen directamente a partir de las señales del satélite. Además, las combinaciones lineales primeras y segundas de observables anteriores pueden ser asimismo una combinación trivial, en el sentido de que una combinación lineal de observables puede en realidad referirse a uno solo de los propios observables.

Un aparato para llevar a cabo las etapas descritas anteriormente de acuerdo con la presente realización de la invención puede comprender todos o algunos de los siguientes elementos: un medio para recibir datos de servicio, un medio para recibir señales de GNSS, un medio para obtener observables a partir de las señales de GNSS, un medio para determinar los retardos ionosféricos de las señales de GNSS a partir de un modelo ionosférico, un medio para obtener una primera combinación lineal de observables, un medio para obtener una segunda combinación lineal de observables, un medio para aplicar uno o más procesos de estimación recursivos, un medio para obtener una combinación lineal de observables sin ionosfera y un medio para determinar una ubicación del usuario.

A continuación, con referencia a la figura 4, se describirá una realización de la presente invención en la cual se reciben y procesan señales de dos frecuencias de portadora diferentes, para determinar la ubicación del usuario, y en la cual los datos de servicio 410 comprenden además datos de desviación de la fase del satélite relativas a desviaciones de la fase de la portadora de los transmisores GNSS. A menos que se indique otra cosa, los detalles de las etapas que se explican a continuación con referencia a la figura 4 son idénticos a los detalles de las correspondientes etapas explicadas anteriormente con referencia a la figura 3.

Además, análogamente a la realización de la figura 3, se debe entender que las señales de un número arbitrario de frecuencias de portadora diferentes pueden ser transmitidas por los transmisores GNSS a bordo de los satélites de GNSS en el campo visual del usuario, pero que el transmisor GNSS en el lado del usuario está limitado a la recepción de las señales únicamente de dos frecuencias de portadora. Asimismo, puede darse el caso de que el receptor GNSS en el lado del usuario pueda recibir señales de un número arbitrario de frecuencias de portadora diferentes, pero que solo se procesen señales de dos frecuencias de portadora diferentes en el lado del usuario.

En la etapa S401, se reciben los datos de servicio 410 que son preferiblemente transmitidos por una CPF. Preferiblemente, la CPF está asociada a un proveedor de servicios. Los datos de servicio 410 comprenden datos de

relojes de precisión del satélite (datos del reloj del satélite que indican relojes internos de los satélites de GNSS), de órbitas del satélite precisas (datos de la órbita del satélite que indican ubicaciones de los satélites de GNSS), de desviaciones del código del retardo del satélite (datos de desviaciones del código de retardo del satélite relativos a las desviaciones del código de retardo de los transmisores GNSS) y del modelo ionosférico (datos del modelo ionosférico que indican un estado de la ionosfera), y ambigüedades de partes fraccionales (datos de desviación de la fase del satélite relativos a las desviaciones de la fase de la portadora de los transmisores GNSS). Las ambigüedades de partes fraccionales pueden referirse, por ejemplo, a las partes fraccionales  $\delta B_1^i$  y  $\delta B_2^i$  del respectivo transmisor GNSS.

Las etapas S402 a S405 son equivalentes a las etapas S302 a S305 de la figura 3 explicada anteriormente.

En la etapa S406 de la presente realización, las primeras ambigüedades no solo son estimadas, sino fijadas a sus valores reales. De acuerdo con la invención, las primeras ambigüedades, que son las ambigüedades de las primeras combinaciones lineales de observables son diferentes de las ambigüedades sin ionosfera. Con este fin, las primeras ambigüedades son estimadas inicialmente de la misma manera que en la etapa S306 de la figura 3. Como se ha explicado con referencia a la etapa S1204 de la figura 10, la primera ambigüedad  $B_x^i$ , en la que X indica que la primera combinación lineal de observables comprende una parte entera  $\lambda_x N_x^i$ , una primera parte fraccional  $\delta B_x^i$  relativa a las desviaciones de instrumentación del respectivo transmisor GNSS, y una segunda parte fraccional  $\delta B_{x,k}$  relativa a las desviaciones de instrumentación del receptor GNSS. En la presente realización de la invención, la primera parte fraccional  $\delta B_x^i$ , o de manera correspondiente las primeras partes fraccionales  $\delta B_1^i$  y  $\delta B_2^i$  relativas a las frecuencias de portadora  $f_1$  y  $f_2$ , son transmitidas con los datos de servicio 410. Después de que la primera ambigüedad  $B_x^i$  ha sido estimada por medio del proceso de estimación recursivo, que es preferiblemente un filtro, y más preferiblemente un filtro de Kalman, el usuario puede aplicar la siguiente relación:

$$B_x^i - \delta B_x^i = \lambda_x N_x^i + \delta B_{x,k} \quad (10)$$

En esta ecuación, las primeras partes fraccionales  $\delta B_x^i$  se conocen a partir de los datos de servicio 410. Las segundas partes fraccionales  $\delta B_{x,k}$  se pueden obtener comparando las primeras ambigüedades  $B_x^i$  relativas a los diferentes transmisores GNSS o, de manera correspondiente, a los satélites de GNSS, y pueden ser después canceladas del conjunto de ecuaciones (10). Tener en cuenta que las partes enteras  $\lambda_x N_x^i$  son enteros múltiplos de la longitud de onda  $\lambda_x$  relativa a la primera combinación lineal de observables, permite fijar realmente las partes enteras  $\lambda_x N_x^i$  de las segundas ambigüedades  $B_x^i$  (debe observarse que este procedimiento es equivalente a formar diferencias únicas entre satélites). En detalle, esta fijación se lleva a cabo estimando una ambigüedad  $B_x^i$ , restando la primera parte fraccional de la ambigüedad  $\delta B_x^i$  según se recibe con los datos de servicio 410 y la segunda parte fraccional de la ambigüedad  $\delta B_{x,k}$  según se ha obtenido anteriormente. Lo que queda se divide a continuación por la longitud de onda  $\lambda_x$ , y el resultado de la división se redondea al número entero más cercano, lo que resulta en el número de ciclos completos  $N_x^i$ . Por ello, la primera ambigüedad  $B_x^i$  se puede determinar de manera precisa. Con referencia al ejemplo de la realización descrita con referencia a la figura 3, en la presente realización en la etapa S406 la ambigüedad de banda ancha  $B_w$  se puede determinar de manera precisa fijando su parte entera. No obstante, debe entenderse que la fijación de la ambigüedad no se requiere necesariamente para la determinación de la ubicación del usuario, pero ayuda considerablemente a reducir el tiempo de convergencia en la determinación de la ubicación precisa del usuario. Esto es porque se consigue una rápida estimación de una precisión suficiente  $B_c$  (véase la expresión anterior (9) de  $B_c$  en términos de  $B_w$  y  $B_l$ ), gracias al conocimiento del valor exacto de  $B_w$ .

La etapa S407 es equivalente a la etapa S307 de la figura 3 explicada anteriormente.

En la etapa S408, las segundas ambigüedades se pueden fijar a sus valores reales. En ella, la fijación de las segundas ambigüedades avanza de manera equivalente a la fijación de las primeras ambigüedades tal como se ha descrito con referencia a la etapa S406. De acuerdo con la presente invención, las segundas ambigüedades, que son las ambigüedades de las segundas combinaciones lineales de observables, son diferentes de las ambigüedades sin ionosfera. En el ejemplo de la presente invención, en la etapa S408, la ambigüedad  $B_l$  es fija.

A partir de ahí, el método de la figura 4 avanza tal como se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 3. En la etapa S409 se obtiene la ambigüedad sin ionosfera  $B_c$ . A continuación de la etapa S409, el método avanza de acuerdo con las etapas S1204 y S1205, como se ha explicado con referencia a la figura 10. En ellas, se obtiene la combinación de observables sin ionosfera y se aplica un proceso de estimación recursivo, preferiblemente un filtro,

más preferiblemente un filtro de Kalman, para determinar la ubicación del usuario. Dado que la ambigüedad sin ionosfera  $B_c$  ya se conoce a partir de la etapa S409, la determinación de la ubicación del usuario a partir de la combinación de observables sin ionosfera avanza muy rápidamente.

5 La principal diferencia entre el método que se describe aquí y el método descrito anteriormente con referencia a la figura 3 es que en la presente realización la primera y/o segunda ambigüedad que se refiere respectivamente a la primera y/o segunda combinación lineal de observables puede ser determinada de manera más precisa con el conocimiento de las primeras partes fraccionales  $\delta B_x^i$  relativas a desviaciones de instrumentación de los transmisores GNSS que son recibidos con los datos de servicio 410. De acuerdo con ello, la precisión de la ubicación del usuario determinada en la presente realización es mayor con respecto a la realización previa; una vez que se fijan las ambigüedades de fase, el usuario obtiene precisiones similares a las obtenidas tras varias horas utilizando el planteamiento de PPP clásico (como se ilustra en la figura 10). Una vez que las ambigüedades se resuelven, esta mejora se consigue de manera instantánea.

15 Un aparato para llevar a cabo las etapas descritas anteriormente de acuerdo con la presente realización de la invención, además de algunos o de todos los elementos enumerados con respecto al aparato para llevar a cabo las etapas de acuerdo con la realización previa, puede comprender un medio para resolver al menos una ambigüedad.

20 A continuación, con referencia a la figura 5, se describirá una realización de la presente invención en la cual se reciben señales de tres frecuencias de portadora diferentes denotadas por  $f_1, f_2, f_3$ , siendo  $f_1 > f_2 > f_3$  (siendo  $f_2 \sim f_3$  para obtener una longitud de onda muy grande –por ejemplo, más de 10 m con E5a y E5b en Galileo- para la fase de portadora de banda extra ancha – véase a continuación-). En ella, los transmisores GNSS a bordo de satélites en el campo visual del usuario pueden transmitir señales de un número arbitrario de frecuencias de portadora diferentes, pero el receptor GNSS en el lado del usuario puede estar limitado a recibir señales solo de tres frecuencias de portadora diferentes. Asimismo, se puede dar el caso de que el receptor GNSS en el lado del usuario pueda recibir señales de un número arbitrario de frecuencias de portadora diferentes, pero solo se pueden procesar señales de dos frecuencias de portadora diferentes en el lado del usuario. El orden y la denotación particulares de las frecuencias de portadora elegidas anteriormente no se pretende que se entienda como limitación del método de la invención.

25 Las etapas S501 a S504 avanzan en analogía a las realizaciones previas. No obstante, los datos de servicio 512 de acuerdo con la presente realización comprenden datos de desviación del código de retardo del satélite relativos a las desviaciones del código de retardo del satélite que son diferentes de los de la realización explicada anteriormente con referencia a la figura 3. Estas diferencias resultarán evidentes a continuación. Asimismo, se observa que los datos de servicio 512 pueden o no comprender datos de desviación de la fase del satélite. Si los datos de servicio 512 comprenden los datos de desviación de la fase del satélite, debe entenderse que a continuación, en las etapas S506, S508 y S510, las respectivas ambigüedades pueden ser determinadas (resueltas) teniendo en cuenta las respectivas primeras partes fraccionales de las ambigüedades tal como se describen con referencia a las etapas S406 y S408 en la figura 4.

35 En la etapa S505, las primeras combinaciones lineales de los observables se obtienen a partir de los observables, de manera similar a la etapa S305. de acuerdo con la invención, la primera combinación lineal no es una combinación lineal sin ionosfera. Preferiblemente la primera combinación lineal de esta realización tiene la máxima longitud de onda que se puede obtener para una combinación lineal de observables relativa a las frecuencias de portadora  $f_1, f_2, f_3$ . Si se forma una primera combinación lineal con una longitud de onda grande, los retardos ionosféricos no necesariamente tienen que ser tenidos en cuenta en esta etapa, aunque debe entenderse que los retardos ionosféricos se pueden tener en cuenta en esta etapa.

45 Aunque se puede formar un número de combinaciones lineales de observables diferentes en la etapa S505, de acuerdo con un ejemplo de la presente realización de la invención, la primera combinación lineal de observables preferiblemente es una combinación de Melbourne – Wübbena  $L_{ew}^i - P_{en}^i$  de observables de la fase de la portadora de banda extra ancha  $L_{ew}^i$  y observables de código de banda extra estrecha  $P_{en}^i$ . Los observables de la fase de la portadora de banda extra ancha  $L_{ew}^i$  y los observables de código de banda extra estrecha  $P_{en}^i$  se obtienen a partir de los observables obtenidos en la etapa S503 mediante:

$$L_{ew}^i = \frac{f_2 L_2^i - f_3 L_3^i}{f_2 - f_3} \quad , \quad (11)$$

$$P_{en}^i = \frac{f_2 P_2^i + f_3 P_3^i}{f_2 + f_3} \quad . \quad (12)$$

En la etapa S506 se estima una primera ambigüedad relativa a la primera combinación lineal de observables. A partir de la primera combinación lineal, se puede obtener un sistema de n ecuaciones de observación. Introduciendo las desviaciones del código de retardo obtenidas a partir de los datos de desviación del código de retardo, y aplicando un proceso de estimación recursivo al sistema de n ecuaciones de observación, es posible resolver el sistema, y se puede estimar una ambigüedad de la primera combinación lineal de observables. De acuerdo con la invención, la primera ambigüedad, que es la ambigüedad de la primera combinación lineal de observables, es diferente de las ambigüedades sin ionosfera, es decir, la primera ambigüedad no es sin ionosfera. Preferiblemente, el proceso de estimación recursivo es un filtro y, más preferiblemente, el filtro es un filtro de Kalman. En la etapa S506, en el caso de que la primera combinación de observables sea la combinación de Melbourne – Wübbena  $L_{ew}^i - P_{en}^i$ , se cumple una relación específica entre la combinación de Melbourne – Wübbena, las desviaciones del código del retardo del método  $\tilde{D}^i$ , la desviación del código del retardo del receptor  $\tilde{D}_k$  y la ambigüedad de banda extra ancha  $B_{ew}^i$ , y se obtiene el siguiente sistema de n ecuaciones de observación:

$$L_{ew}^i - P_{en}^i + \frac{\lambda_{ew}\lambda_{en}}{\lambda_2\lambda_3} \tilde{D}^i = B_{ew}^i - \frac{\lambda_{ew}\lambda_{en}}{\lambda_2\lambda_3} \tilde{D}_k \quad (13)$$

En el mismo, las longitudes de onda  $\lambda_{ew}$  y  $\lambda_{en}$  vienen dadas por  $\lambda_{ew} = c/(f_2 - f_3)$  y  $\lambda_{en} = c/(f_2 + f_3)$ , respectivamente, y las desviaciones del código del retardo del satélite  $\tilde{D}^i$  (que son diferentes de las previas definidas en el caso de las dos frecuencias para las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ ) están incluidas en los datos de servicio 512. Aplicando un proceso de estimación recursivo, preferiblemente un filtro, más preferiblemente un filtro de Kalman, al sistema de n ecuaciones (13), la ambigüedad de banda extra ancha  $B_{ew}$  se puede expresar en función de la desviación del código del retardo del código del receptor  $\tilde{D}_k$ , de una manera similar a la descrita en la etapa S306 de la figura 3. En ella, como se ha indicado anteriormente, debe entenderse que la expresión “ambigüedad de banda extra ancha” se refiere al conjunto de n ambigüedades de banda extra ancha  $B_{ew}^i$  correspondientes a los transmisores GNSS a bordo de los satélites de GNSS en el campo visual del usuario. Obtener la ambigüedad de banda extra ancha  $B_{ew}$  de esta manera es factible gracias a las excelentes propiedades de la combinación de Melbourne – Wübbena  $L_{ew} - P_{en}$ , en particular su gran longitud de onda y su bajo ruido para el observable de código de banda extra estrecha  $P_{en}$ . Además, de manera similar a la etapa S406 en la figura 4, la ambigüedad de banda extra estrecha  $B_{ew}$  puede ser resuelta en esta etapa.

En la etapa S507, una segunda combinación lineal de observables se obtiene a partir de los observables obtenidos en la etapa S503. Debe entenderse que la primera combinación lineal y la segunda combinación lineal son combinaciones lineales independientes. De acuerdo con la invención, asimismo, la segunda combinación lineal de observables no es una combinación sin ionosfera y, así, resulta substancialmente afectada por los retardos ionosféricos. Preferiblemente, la segunda combinación lineal tiene una longitud de onda menor que la de la primera combinación lineal. De manera más específica, de acuerdo con el ejemplo de la presente realización de la invención, la segunda combinación lineal de observables es el observable de la fase de la portadora de banda ancha  $L_w$ .

En la etapa S508, la segunda ambigüedad relativa a la segunda combinación lineal de observables se estima aplicando un proceso de estimación recursivo, preferiblemente un filtro, más preferiblemente un filtro de Kalman. De acuerdo con la invención, la segunda ambigüedad, que es la ambigüedad de la segunda combinación lineal de observables, es diferente de las ambigüedades sin ionosfera, es decir, la segunda ambigüedad no es sin ionosfera. En la presente realización de la invención, la diferencia entre los observables de la fase de la portadora de banda extra ancha y de banda ancha  $L_w - L_{ew}$  puede considerarse un proxy para la diferencia tanto de las ambigüedades de banda ancha como de las ambigüedades de banda extra ancha, más un orden de dependencia ionosférica. En ella, la dependencia ionosférica puede ser eliminada empleando los retardos ionosféricos determinados en la etapa S504. Por lo tanto, aplicando un proceso de estimación recursivo, preferiblemente un filtro, más preferiblemente un filtro de Kalman, la ambigüedad de banda ancha  $B_w$  puede ser determinada a partir del observable de la fase de la portadora de banda extra ancha  $L_w$ , de los observables de la fase de la portadora de banda ancha  $L_w$ , y de la ambigüedad de banda extra ancha  $B_{ew}$ . Además, de manera similar a la etapa S406 de la figura 4, la ambigüedad de banda ancha  $B_w$  puede ser resuelta en esta etapa.

En la etapa S509, se obtiene una tercera combinación lineal de observables. Debe entenderse que las combinaciones lineales de observables primera, segunda y tercera son linealmente independientes. De acuerdo con la invención, la tercera combinación lineal de observables no es sin ionosfera. Preferiblemente, la tercera combinación lineal de observables es la fase ionosférica  $L_i$ . A partir de aquí, el proceso avanza como desde la etapa S308 en la figura 3. A saber, en la etapa S510, la tercera ambigüedad se estima en analogía a la segunda ambigüedad de la realización de la figura 3, y basada en la misma en la etapa S511 se obtiene una cuarta ambigüedad en analogía con la tercera ambigüedad de la realización de la figura 3. De acuerdo con la invención, la tercera ambigüedad, que es la ambigüedad de la tercera combinación lineal de observables, es diferente de las ambigüedades sin ionosfera. De acuerdo con la presente realización de la invención, la cuarta ambigüedad es la

ambigüedad sin ionosfera relativa a la combinación de observables sin ionosfera según la ecuación (1). Además, de manera similar a la etapa S406 de la figura 4, las ambigüedades tercera y cuarta pueden ser resueltas en esta etapa.

5 A partir de aquí, la determinación de la ubicación del usuario puede avanzar de acuerdo con las etapas S1204 y S1205 de la figura 10, como se ha explicado ya anteriormente con respecto a la figura 3. En ella, se obtienen las combinaciones de observables sin ionosfera  $L_c$  y  $P_c$  según las ecuaciones (1) y (2), y se aplica un proceso de estimación recursivo, preferiblemente un filtro, más preferiblemente un filtro de Kalman, para determinar la ubicación del usuario. Dado que la ambigüedad sin ionosfera  $B_c$  es ya conocida a partir de la etapa S511, la determinación de la ubicación del usuario a partir de la combinación lineal de observables sin ionosfera avanza muy rápidamente.

10 La recepción de señales de tres frecuencias de portadora diferentes,  $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$  ofrece la ventaja de una estimación de la ambigüedad de banda ancha y banda extra ancha más fácil. Además, a partir de hasta tres ambigüedades estimadas de manera independiente,  $B_{ew}$ ,  $B_w$  y  $B_l$  y, es posible obtener una estimación precisa independiente de la ambigüedad sin ionosfera  $B_c$ , contribuyendo de manera significativa a la rápida convergencia y a la precisión de la determinación de la ubicación del usuario. Típicamente, el tiempo de convergencia del caso de las dos frecuencias de portadora (para conseguir un error en el orden de los diez centímetros), que es típicamente de varios minutos, se puede reducir a una determinación de una única época en el caso de las tres frecuencias de la portadora.

Un aparato para llevar a cabo las etapas descritas anteriormente de acuerdo con la presente realización de la invención puede comprender algunos o todos los elementos enumerados con respecto al aparato para llevar a cabo las etapas de acuerdo con las realizaciones previas.

20 Una realización en la cual el usuario recibe señales de una única frecuencia de portadora se describe en la figura 6, En ella, se comprende que las señales de un número arbitrario de frecuencias de portadora diferentes pueden ser transmitidas por los transmisores GNSS a bordo de los satélites de GNSS en el campo visual del usuario, pero que el receptor GNSS en el lado del usuario puede estar limitado a la recepción de señales de una sola frecuencia de portadora. Asimismo, se puede dar el caso de que el receptor GNSS en el lado del usuario pueda recibir señales de un número arbitrario de frecuencias de portadora diferentes, pero que solo se pueden procesar señales de una única frecuencia de portadora en el lado del usuario.

25 En la etapa S601, como en las realizaciones previas, los datos de servicio 607 son recibidos por el usuario. Los datos de servicio 607 comprenden datos de relojes de precisión del satélite, de órbitas del satélite precisas, de desviaciones de código de retardo del método y del modelo ionosférico. Los datos de servicio 607 pueden comprender asimismo ambigüedades de partes fraccionales del satélite.

En la etapa S602, las señales del satélite 608 de una sola frecuencia de portadora son recibidas por el receptor GNSS del usuario. De nuevo, se pueden intercambiar las etapas S601 y S602.

35 En la etapa S603, se obtienen observables a partir de las señales del satélite. En el caso particular de receptor de una sola frecuencia, es posible obtener  $n$  observables de la fase de la portadora  $L^i$  y/o  $n$  observables de código  $P^i$ . Debe entenderse que en esta etapa se pueden obtener todos los observables posibles, o solo aquellos observables que es necesario utilizar en las siguientes etapas. Debe entenderse asimismo que, de manera similar a las realizaciones previas, las combinaciones lineales que se obtienen a partir de los observables se pueden obtener a partir de las señales directamente, es decir, las etapas de obtención de observables a partir de las señales del satélite y de obtención de combinaciones lineales de observables pueden ser unidas en una única etapa.

40 En la etapa S604, el retardo ionosférico relativo a la combinación lineal de observables se determina a partir del modelo ionosférico de la misma manera que en las realizaciones previas. En ellas, los retardos ionosféricos relativos a los observables se pueden determinar primero, y los retardos ionosféricos relativos a la combinación lineal de observables pueden ser determinados a continuación. No obstante, el retardo ionosférico relativo a la combinación lineal de observables puede ser determinado directamente a partir del modelo ionosférico. Como era el caso en las realizaciones previas, el modelo ionosférico puede comprender datos de fiabilidad que indican una ubicación dependiente de la fiabilidad (precisión) del modelo ionosférico. En un caso en el que el modelo ionosférico está provisto de datos de fiabilidad, se puede determinar la precisión de los retardos ionosféricos determinados a partir del modelo ionosférico. En etapas subsiguientes, cuando se efectúan estimaciones de filtro, se puede tener en cuenta la precisión de los retardos ionosféricos determinados a partir del modelo ionosférico.

50 En la etapa S605, se obtiene la combinación lineal de observables. Como en las realizaciones previas, la combinación lineal de observables puede ser una combinación trivial y, de este modo, se refiere a uno de los propios observables. Preferiblemente, la combinación lineal de observables de acuerdo con la presente invención implica el observable de la fase de la portadora  $L$ .

55 En la etapa S606, se aplica un proceso de estimación recursivo, preferiblemente un filtro, más preferiblemente un filtro de Kalman, para determinar la ubicación del usuario a partir de la combinación lineal de observables. Para ello, se obtienen un conjunto de ecuaciones de observación relativas a la combinación lineal de observables. Los retardos ionosféricos obtenidos en la etapa previa se pueden utilizar para corregir el impacto del retardo ionosférico de la combinación lineal de observables. Además, dado que los relojes del satélite típicamente se refieren al marco

de tiempo de la combinación lineal sin ionosfera, las desviaciones del código del retardo del satélite recibidas con los datos de servicio 607 pueden ser utilizadas para determinar relojes del satélite relativos a la señal de frecuencia única. El sistema obtenido de las ecuaciones de observación se resuelve a continuación aplicando el proceso de estimación recursivo.

- 5 Generalmente, cuando se utilizan receptores de una sola frecuencia no es posible obtener una combinación lineal sin ionosfera de observables de fase de la portadora, ni una combinación sin ionosfera y sin geometría tal como la combinación Melbourne – Wübbena. Por lo tanto, dado que en los receptores de una sola frecuencia convencionales una estimación de las ambigüedades de la fase de la portadora requiere una cantidad significativa de tiempo, los receptores de una sola frecuencia convencionales llevan a cabo una determinación de la ubicación exclusivamente sobre la base de los observables del código  $P^i$  (corregida con un modelo de retardo ionosférico simple tal como, por ejemplo, el modelo de corrección ionosférica de Klobuchar). De acuerdo con ello, la precisión de la ubicación determinada es baja, típicamente del orden de varios metros, dependiendo en particular de la calidad del modelo de corrección ionosférica. En la presente realización de la invención, la provisión de los datos de servicio 607 (con órbitas de satélite precisas y relojes de precisión del satélite) permite considerar además los observables de la fase de la portadora  $L^i$  y combinaciones lineales de los observables de código y de los observables de la fase de portadora. En particular, la determinación de los retardos ionosféricos de los observables permite mitigar los efectos de los retardos ionosféricos y la determinación de la ubicación del usuario de manera más precisa (por debajo de 1 metro con un modelo de retardo ionosférico suficientemente preciso, es decir, con una incertidumbre en el retardo ionosférico de hasta aproximadamente varios cm en  $L_1$ ).
- 10
- 15
- 20 Los métodos anteriores de las realizaciones de la presente invención pueden ser modificados mediante la recepción simultánea y el procesamiento de las señales de GNSS de dos o más sistemas de satélites (constelaciones), tales como GPS, GALILEO, GLONASS y otros. Por ello, tanto los tiempos de convergencia como las precisiones de ubicación pueden ser mejorados. En tales casos, debe entenderse que los datos de servicio comprenden los elementos tal como los explicados anteriormente para cada constelación. Por ejemplo, en un caso en el que se reciben señales de los satélites GPS y GALILEO, a los relojes del satélite para los satélites GPS y los relojes del satélite para los satélites GALILEO deberían serles proporcionados los datos de servicio.
- 25

Para los métodos del lado del usuario de las realizaciones anteriores de la presente invención, es necesario proporcionar relojes de precisión, órbitas precisas, desviaciones de código de retardo del satélite, un modelo ionosférico y, opcionalmente, las desviaciones de la fase del satélite al usuario.

- 30 A continuación, la determinación de los elementos de los datos de servicio tales como el modelo ionosférico se describirán con referencia a la figura 7 y la figura 8.

La figura 7 muestra un mapamundi de ejemplo que indica las ubicaciones de una pluralidad de estaciones de tierra fijas, comprendiendo cada una al menos un receptor GNSS. Cada una de estas estaciones de tierra fijas tiene además un medio de transmisión y/o recepción para intercambiar datos entre ellas. Esta transmisión de datos puede, por ejemplo, realizarse a través de cable, a través de radio, o de otro medio de comunicación que se le puede ocurrir al experto en la materia. De acuerdo con ello, las pluralidades de estaciones de tierra fijas forman una red de estaciones de tierra fijas. Entre la pluralidad de estaciones de tierra fijas, existe al menos una CPF o primera estación, mientras que las restantes estaciones de tierra fijas se denominan segundas estaciones. Como se puede observar a partir del mapa de ejemplo, las distancias entre estaciones de tierra fijas vecinas pueden variar de varios cientos de kilómetros a varios miles de kilómetros.

35

40

Cada una de las segundas estaciones recibe señales transmitidas por los transmisores de GNSS a bordo de un número de satélites de GNSS a la vista de la respectiva segunda estación. Cada segunda estación transmite a continuación los datos de observación correspondientes a la al menos una CPF. Este intercambio de datos de observación puede ser llevado a cabo empleando el formato Intercambio independiente del receptor (RINEX – Receiver INdependent EXchange, en inglés) (o cualquier otro formato o medio de difusión adecuado para aplicación en tiempo real) mediante el cual los datos de GNSS sin tratar, tal como son recibidos por las segundas estaciones, son transmitidos a la al menos una CPF. En la al menos una CPF, los datos de observación recibidos de la pluralidad de segundas estaciones son procesados con el fin de obtener el modelo ionosférico. Un método para comprender el modelo ionosférico utilizando una red a escala regional de estaciones de tierra fijas que tienen receptores GNSS y que están en contacto con una CPF, se conoce por ejemplo a partir del documento US 2006/0164297 A1. A partir de las señales de GNSS recibidas en cada segunda estación, que fueron transmitidas por los transmisores GNSS a bordo de un número de satélites de GNSS a la vista de la segunda estación, es posible determinar el retardo ionosférico de cada señal de GNSS. Esto se puede llevar a cabo aplicando un proceso de estimación recursivo, preferiblemente un filtro, más preferiblemente un filtro de Kalman a un sistema de ecuaciones de observación obtenidas a partir de las señales de GNSS. A partir de los retardos ionosféricos de las señales de GNSS, para cada señal de GNSS recibida, es posible determinar un contenido integrado de electrones libres a lo largo de la línea de visión entre el receptor GNSS que recibe la señal y el transmisor GNSS a bordo del satélite de GNSS que transmite la señal, o un contenido de electrones libres en el interior de un cilindro alineado con la línea de visión y que tiene un área de sección transversal de, por ejemplo, un metro cuadrado ( $m^2$ ). A partir de ello, un modelo ionosférico indica un contenido de electrones libres totales resuelto mediante ubicación de la ionosfera, o de manera correspondiente, una densidad resuelta mediante ubicación de electrones libres en la ionosfera. De acuerdo

45

50

55

60

con la presente invención, el modelo puede indicar una densidad de electrones libres para una pluralidad de células de volumen de tamaño predeterminado dentro de la ionosfera. Por ejemplo, la ionosfera se puede subdividir en una pluralidad de células de volumen o "vóxeles" dispuestos en varias capas que rodean a la tierra, y el modelo ionosférico puede comprender la cantidad total de electrones libres o, de manera correspondiente, la densidad de electrones libres para cada célula de volumen. Además, es posible expandir una función de densidad dependiente de la ubicación que indica la densidad de electrones libres en la ionosfera, en una pluralidad de funciones, tales como funciones ortogonales empíricas, armónicos esféricos o perfiles de Chapman, y el modelo ionosférico puede comprender los coeficientes de estas funciones. Debe entenderse que la enumeración de estas funciones tiene solo naturaleza de ejemplo y que el experto en la materia puede pensar que es posible utilizar otras funciones además de las funciones mencionadas anteriormente para subdividir la ionosfera.

El método convencional descrito en el documento US 2006/0164297 A1 aplica a los sistemas de navegación a escala regional. El método de la invención para obtener los datos de servicio por otro lado está adaptado a la técnica de navegación global descrita anteriormente y a la red a escala global de estaciones de tierra fijas. Además, el método de la invención para obtener el modelo ionosférico a partir de los datos de observación obtenidos en las segundas estaciones está concebido para funcionamiento en tiempo real, y los datos de observación son procesados en un modo no diferenciado por la al menos una CPF. Las ambigüedades de la fase de la portadora por otro lado son procesadas, asimismo, en un modo de doble diferencia, de tal manera que las ambigüedades de la fase de la portadora se convierten en cantidades enteras. Asimismo, de acuerdo con el método de la invención, no solo el modelo ionosférico, sino todos los elementos de los datos de servicio, tales como los relojes de precisión del satélite, las órbitas de satélite precisas, las desviaciones de código de retardo del satélite, las desviaciones de fase del satélite y el modelo ionosférico pueden ser obtenidos por la misma al menos una CPF asociada a una red de segundas estaciones. Es decir, la al menos una CPF puede ser configurada para proporcionar todos los elementos de los datos de servicio al usuario de una manera compatible. Para proporcionar tales datos de servicio, se han tenido que implementar varias modificaciones con respecto a los métodos convencionales. Estas modificaciones se explicarán a continuación.

En primer lugar, es conocido que los satélites de GNSS bajo eclipse presentan grandes errores en su ubicación predicha. En la técnica anterior relativa a una red a escala regional de estaciones de tierra fijas, el efecto de tales errores es bastante limitado. No obstante, a escala global, estos errores, en particular en caso de errores de ubicación en una dirección circular con respecto a la tierra resultan ser muy importantes. De acuerdo con ello, la al menos una CPF de acuerdo con la presente invención puede comprender un módulo para la detección de satélites bajo eclipse. Asimismo, la al menos una CPF puede estar adaptada para detectar satélites que no se encuentran bajo eclipse, pero que sin embargo tienen grandes errores en su ubicación predicha u órbita predicha. De acuerdo con ello, la al menos CPF comprende un módulo para la detección de satélites con grandes errores en sus órbitas predichas.

Además, cuando se procesan los datos obtenidos de una red a escala global de estaciones fijas, resulta necesario corregir las órbitas introducidas que se obtienen, por ejemplo, a partir del centro de control GPS o del centro de control GALILEO. De acuerdo con la presente invención, las órbitas pueden ser ajustadas mediante un modelo de perturbación de órbita basado en las soluciones analíticas de las ecuaciones dinámicas liberalizadas de Hill. De acuerdo con, la al menos una CPF puede comprender un módulo para la corrección de las órbitas de los satélites introducidas.

Dado que las ambigüedades de la fase de la portadora son procesadas también en un modo de doble diferencia, es preciso definir los receptores de referencia (o, de manera correspondiente las estaciones de tierra de referencia) y los transmisores de referencia (o, de manera correspondiente los satélites de referencia). Cuando se trabaja con una red a escala regional de estaciones de tierra fijas, en la cual la mayoría del tiempo todos los satélites de GNSS considerados están en una vista común de todas las estaciones fijas, es suficiente definir una estación de referencia y un satélite de referencia. A escala global, no obstante, es preciso definir más de un satélite de referencia y más de una estación de referencia. De acuerdo con ello, la al menos una CPF puede comprender un módulo para la selección de receptores de referencia y/o un módulo para la selección de satélites de referencia.

En el método de navegación de la invención descrito anteriormente, los datos de servicio preferiblemente comprenden datos de la desviación de la fase del satélite. La obtención de los datos de desviación de la fase de este satélite relativos a la parte fraccional de las ambigüedades del satélite requiere un proceso de filtrado exclusivo, que procesa los datos de observación y los datos intermedios obtenidos mediante el preprocesamiento de los datos de observación. De acuerdo con ello, la al menos una CPF comprende un módulo para la estimación de la parte fraccional de las ambigüedades (módulo de cálculo de ambigüedades fraccionales).

Finalmente, el método de navegación de la invención explicado anteriormente requiere el conocimiento de los relojes de precisión del satélite, y el método de la invención de proporcionar los elementos restantes de los datos de servicio requiere el conocimiento de los relojes de precisión del receptor (relojes internos de las segundas estaciones). En ellos, los relojes de precisión del satélite necesitan ser actualizados en el rover a intervalos de tiempo muy cortos, típicamente una vez cada época. Dado que los procesos de filtrado empleados para la entrega, por ejemplo, el modelo ionosférico avanza con escalas de tiempo de varios minutos, es necesario un proceso de filtrado rápido exclusivo para el cálculo de los relojes de precisión del satélite y de los relojes de receptor precisos.

De acuerdo con ello, la al menos una PCF puede comprender además de un filtro lento también un filtro rápido con una escala de tiempo de aproximadamente un segundo.

La figura 8 muestra esquemáticamente la disposición del dispositivo de procesamiento central de la invención. A un preprocesador 803 se le facilitan los datos de observación 801 obtenidos en las segundas estaciones, y las órbitas precisas 802 predichas por un indicador de órbita con antelación 810. El preprocesador 803 comprende el módulo para la detección de satélites bajo eclipse, y además detecta si se ha producido un deslizamiento de ciclo, y realiza una modelización relativa a los datos de observación 801 obtenidos en las segundas estaciones. La salida del preprocesador 803 es proporcionada al filtro lento 804 y al filtro rápido 805. En el filtro lento 804, se determinan las ambigüedades sin ionosfera  $B_0$  y las ambigüedades ionosféricas  $B_1$  relativas a los datos de observación, las correcciones troposféricas relativas a los datos de observación, los coeficientes de Hill para corregir las órbitas del satélite (o cualquier otro conjunto de parámetros de corrección de órbita), los relojes de precisión del receptor, los relojes de precisión del satélite, las desviaciones del código de retardo del satélite, las desviaciones del código de retardo del receptor y el modelo ionosférico. Una salida del filtro lento 804 es proporcionada a continuación al módulo de cálculo de ambigüedades fraccionales 806, y al filtro rápido 805, mientras que el modelo ionosférico 807 es proporcionado a un generador de mensajes 808. En el módulo de cálculo de ambigüedades fraccionales 806, las desviaciones de fase de la portadora del satélite  $\phi$ , de manera correspondiente, la parte fraccional de las ambigüedades, se estima por medio de un proceso de filtrado basado en la salida del filtro lento 804. En el filtro rápido 805, los relojes de precisión del receptor y los relojes de precisión del satélite se estiman por medio de un proceso de filtrado pasado en la salida del filtro lento 804. La salida del filtro rápido 805 es a continuación proporcionada al indicador de órbita con antelación 810 que predice las órbitas precisas para su subsiguiente utilización, y al generador de mensajes 808. La salida del módulo de cálculo de ambigüedades fraccionales 806 es proporcionada al generador de mensajes 808. Sobre la base de la entrada recibida desde el filtro lento 804, el filtro rápido 805 y el módulo de cálculo de ambigüedades fraccionales 806, el generador de mensajes genera los datos de servicio 809 que comprenden datos del reloj del satélite que indican relojes internos de los satélites, datos de la órbita del satélite que indican ubicaciones de los satélites, datos de desviación del código de retardo del satélite relativos a las desviaciones del código de retardo de los transmisores GNSS y datos del modelo ionosférico, que indican un estado de una ionosfera, y transmite los datos de servicio 809 a un usuario.

Dado que los diferentes elementos de los datos de servicio 809 cambian con diferentes escalas de tiempo, pueden ser transmitidos por la CPF a diferentes intervalos de tiempo, dando lugar a diferentes tasas de renovación en el lado del usuario. Por ejemplo, la precisión de los relojes del satélite mantenidos en el lado del usuario se degrada rápidamente en ausencia de datos renovados, mientras que el estado de la ionosfera típicamente cambia con una escala de tiempo de horas, o al menos de decenas de minutos. De acuerdo con ello los relojes del satélite pueden ser transmitidos con la tasa de renovación más elevada, preferiblemente en cada época, las órbitas del satélite pueden ser transmitidas con una tasa de renovación reducida, preferiblemente cada pocos minutos, las desviaciones del código de retardo del satélite y las ambigüedades de la parte fraccional del satélite pueden ser transmitidas con una tasa de renovación más reducida, preferiblemente cada varios minutos, y el modelo ionosférico puede ser transmitido asimismo con una tasa de renovación de varios minutos.

La figura 9 ilustra esquemáticamente un aparato para la determinación de una ubicación de un rover utilizando el método de la invención. El número de referencia 905 indica un medio para la recepción de señales que son transmitidas por transmisores GNSS a bordo de un número dado de satélites situados en el campo visual del aparato, el número de referencia 910 indica un medio para la actualización de los datos de servicio, comprendiendo los datos de servicio datos de reloj del satélite que indican relojes internos de los satélites, indicando los datos de la órbita del satélite ubicaciones de los satélites, indicando los datos de desviación del código del retardo del satélite relativos a las desviaciones de código de retardo de los transmisores GNSS y los datos del modelo ionosférico un estado de una ionosfera, el número de referencia 915 indica un medio para la determinación, sobre la base de los datos del modelo ionosférico, indicando los datos del retardo ionosférico correcciones relativas a los retardos de las señales, resultando los retardos de las señales de un paso de las señales a través de la ionosfera entre la transmisión de las señales desde los transmisores GNSS y la recepción de las señales por el medio para la recepción de señales, y el número de referencia 920 indica un medio para la determinación de una ubicación del aparato sobre la base de las señales, de los datos del reloj del satélite, de los datos de la órbita del satélite, de los datos de desviación del retardo del satélite y de los datos de retardo ionosférico.

En lo anterior, se han descrito realizaciones preferidas de la presente invención. Las características, componentes y detalles específicos de los aspectos de la invención descritos anteriormente pueden ser intercambiados o combinados para formar otros aspectos optimizados para la respectiva aplicación. En la medida en la que esas modificaciones son evidentes para un experto en la materia, serán descritas implícitamente mediante la presente descripción sin, para ser concisos, especificar de manera explícita cada posible combinación. Además, debe observarse que las etapas del método y el medio del aparato que se han descrito anteriormente se pueden realizar mediante hardware, software, o combinaciones de los mismos.



**REIVINDICACIONES**

1. Método para la determinación de una ubicación de un objeto, que tiene un receptor de Sistema global de navegación por satélite (GNSS), comprendiendo el método las etapas de;
- 5 - recepción de señales por el receptor GNSS que son transmitidas por los transmisores GNSS ( $GNSS_{E1}$  a  $GNSS_{En}$ ) situados a bordo de satélites ( $SAT_1$  a  $SAT_n$ ) que están situados en el campo visual del objeto;
- actualización de los datos de servicio en el objeto, siendo los datos de servicio proporcionados por un proveedor de servicios de GNSS y que incluyen:
- datos del reloj del satélite que indican relojes internos de los satélites ( $SAT_1$ , a  $SAT_n$ );
- datos de la órbita del satélite que indican las ubicaciones de los satélites ( $SAT_1$  a  $SAT_n$ );
- 10 datos de desviación del código de retardo del método relativos a las desviaciones del código de retardo de los transmisores GNSS ( $GNSS_{E1}$  a  $GNSS_{En}$ ); y
- datos del modelo ionosférico que indican un estado de una ionosfera;
- 15 - determinación sobre la base de los datos del modelo ionosférico, indicando los datos del retardo ionosférico correcciones relativas a los retardos de las señales, resultando los retardos de las señales de un paso de las señales a través de la ionosfera entre la transmisión de las señales desde los transmisores GNSS ( $GNSS_{E1}$  a  $GNSS_{En}$ ) y la recepción de las señales por el receptor GNSS ( $SUR_{GNSS}$ );
- obtención de los datos de observación del código de las señales, siendo los datos de observación del código relativos a los datos transmitidos con las señales y que comprenden observables del código relativos a los datos transmitidos con las señales;
- 20 - obtención de datos de observación de fase de la portadora de las señales, siendo los datos de observación de la fase de la portadora relativos a las fases de la portadora de las señales y comprendiendo observables de la fase de la portadora relativos a la fase de la portadora de las señales; y
- determinación de una señal del objeto sobre la base de los datos del reloj del satélite, de los datos de la órbita del satélite, de los datos de desviación del código del retardo del satélite, de los datos de retardo ionosférico determinados, de los datos de observación del código obtenidos a partir de las señales y de los datos de observación de la fase de la portadora obtenidos de las señales,
- 25 en el que todos los observables del código y todos los observables de la fase de la portadora implicados en la etapa de determinación de la señal del objeto son procesados de un modo no diferenciado,
- 30 caracterizado por que en la etapa de determinación de la ubicación del objeto se procesan al menos una combinación lineal de observables que no es sin ionosfera, y adicionalmente una combinación lineal de observables que es sin ionosfera.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además al menos una de las etapas de:
- determinación de un retardo ionosférico de un observable de código;
- determinación de un retardo ionosférico de un observable de la fase de la portadora;
- 35 - determinación de un retardo ionosférico de una combinación de observables de código sin geometría; y
- determinación de un retardo ionosférico de una combinación sin geometría de observables de la fase de la portadora.
3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que los datos de servicio comprenden además datos de desviación de la fase del satélite relativos a las desviaciones de la fase de la portadora de los transmisores GNSS ( $GNSS_{E1}$  a  $GNSS_{En}$ ); y
- 40 la etapa de determinación de la ubicación del objeto comprende además una etapa de determinación de los datos de ambigüedad de la fase de la portadora que indican, para al menos una señal, un recuento de ciclos completos comprendidos en una diferencia de fase entre la fase de una portadora de la señal en un tiempo de transmisión y la fase de una portadora de la señal en un tiempo de recepción basada en los datos de observación de la fase de la portadora y en los datos de desviación de la fase del satélite.
- 45 4. El método de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que en la etapa de determinación de la ubicación del objeto se ejecuta al menos un proceso de estimación recursivo.

5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que, en cada etapa del al menos un proceso de estado de estimación recursivo, los datos de estado, que comprenden al menos uno de la ubicación del objeto y de los datos de ambigüedad de la fase de la portadora, son estimados sobre la base de las señales, de los datos del reloj del satélite, de los datos de la órbita del satélite, de los datos del retardo ionosférico y de una estimación de los datos de estado estimados en la etapa previa.
6. El método de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones precedentes, en el que los datos del modelo ionosférico comprenden datos de fiabilidad del modelo ionosférico relativos a una fiabilidad dependiente de la ubicación de los datos del modelo ionosférico, y la etapa de determinación de la ubicación del objeto está basada también en los datos de fiabilidad del modelo ionosférico.
7. El método de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones precedentes, en el que al menos una estación de tierra fija sirve como instalación de procesamiento central; una pluralidad de estaciones de tierra fijas que disponen cada una de un receptor GNSS sirven como estaciones de red; la al menos una instalación de procesamiento central y la pluralidad de estaciones de red forman una red;
- los datos de servicio son obtenidos por la red y transmitidos al objeto; y la obtención de los datos del modelo ionosférico comprende las etapas de:
- recepción en las estaciones de red de señales de al menos dos frecuencias diferentes transmitidas por transmisores GNSS a bordo de una pluralidad de satélites dispuestos en el campo visual de al menos una de las estaciones de red;
  - determinación de los datos de retardo ionosférico de red indicativos de correcciones relativas a los retardos de las señales recibidas en las estaciones de red, resultando los retardos de las señales recibidas en las estaciones de red de un paso de las señales recibidas en las estaciones de red a través de la ionosfera; y
  - determinación de los datos del modelo ionosférico a partir de los datos del retardo ionosférico.
8. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la determinación de los datos del modelo ionosférico comprende además las etapas de:
- expansión de la densidad numérica de electrones libres en la ionosfera en una pluralidad de funciones; y
  - estimación de los datos del contenido en electrones que indican los coeficientes de la pluralidad de funciones sobre la base de los datos del retardo ionosférico de la red.
9. El método de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, en el que los datos geodésicos relativos al menos a uno de los relojes internos de la pluralidad de satélites, las ubicaciones de la pluralidad de satélites, las desviaciones del código de retardo y los transmisores GNSS a bordo de la pluralidad de satélites y las desviaciones de la fase de la portadora de los transmisores GNSS a bordo de la pluralidad de satélites, y los datos ionosféricos relativos a un estado de la ionosfera, son procesados simultáneamente mediante un primer proceso de estimación que tiene diferentes velocidades de procesamiento y que interactúan entre sí.
10. El método de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones precedentes, en el que una tasa de renovación del reloj del satélite, una tasa de renovación de los datos de la órbita del satélite y una tasa de renovación del modelo ionosférico, indicando respectivamente una tasa con la cual los datos del reloj del satélite son actualizados de manera continua en el objeto, una tasa con la cual los datos de la órbita del satélite son actualizados de manera continua en el objeto y una tasa con la cual los datos del modelo ionosférico son actualizados de manera continua en el objeto, son elegidos de tal manera que la tasa de renovación de los datos del reloj del satélite es mayor que la tasa de renovación de los datos de la órbita del satélite, y la renovación de los datos del reloj del satélite es mayor que la tasa de renovación de los datos del modelo ionosférico.
11. Aparato para la determinación de una ubicación, comprendiendo el aparato:
- medios para la recepción de señales (905) que son transmitidas por los transmisores del GNSS (GNSS<sub>E1</sub> a GNSS<sub>En</sub>) a bordo de un número dado de satélites (SAT<sub>1</sub> a SAT<sub>n</sub>) situados en el campo visual del aparato;
  - medios para la actualización de los datos de servicio (910), siendo los datos de servicio proporcionados por un proveedor de servicios de GNSS y que incluyen:
    - datos del reloj del satélite que indican los relojes internos de los satélites (SAT<sub>1</sub> a SAT<sub>n</sub>);
    - datos de la órbita del satélite que indican las ubicaciones de los satélites (SAT<sub>1</sub> a SAT<sub>n</sub>);

datos de la desviación del código de retardo del satélite relativos a las desviaciones del código de retardo de los transmisores GNSS ( $\text{GNSS}_{E1}$  a  $\text{GNSS}_{En}$ ); y

datos del modelo ionosférico que indican un estado de una ionosfera;

5 - medios para la determinación (915), sobre la base de los datos del modelo ionosférico, de los datos del retardo ionosférico que indican correcciones relativas a los retardos de las señales, resultando los retardos de las señales de un paso de las señales a través de la ionosférico entre la transmisión de las señales desde los transmisores GNSS ( $\text{GNSS}_{E1}$  a  $\text{GNSS}_{En}$ ) y la recepción de las señales por el medio de recepción de señales (905);

10 - medios para la obtención de los datos de observación del código a partir de las señales, siendo los datos de observación del código relativos a los datos transmitidos con las señales y que comprenden observables del código relativos a los datos transmitidos con las señales;

- medios para la obtención de datos de observación de la fase de la portadora a partir de las señales, siendo los datos de observación de la fase de la portadora relativos a las fases de la portadora de las señales y que comprenden observables de la fase de la portadora relativos a la fase de la portadora de las señales; y

15 - medios para la determinación de una ubicación (920) del aparato sobre la base de las señales, siendo los datos del reloj del satélite, los datos de la órbita del satélite, los datos de desviación del código del retardo del satélite, los datos del retardo ionosférico determinado, los datos de observación del código obtenidos a partir de las señales y los datos de observación de la fase de la portadora obtenidos a partir de las señales,

en el que el medio para la determinación de una ubicación (920) están configurados para procesar todos los observables del código y todos los observables de la fase de la portadora de un modo no diferenciado,

20 caracterizado por que el medio para la determinación de una ubicación (920) está además configurado para procesar al menos una combinación lineal de observables que no es sin ionosfera y, adicionalmente, una combinación lineal de observables que es sin ionosfera.

25 12. Un sistema que comprende el aparato de la reivindicación 11, y una red formada por al menos una instalación de procesamiento central que es una estación de red fija y una pluralidad de estaciones de red que son estaciones de red fijas y que tienen cada una un receptor GNSS, en el que

la al menos una instalación de procesamiento central y la pluralidad de estaciones de red forman una red; y

los datos de servicio son obtenidos por la red y transmitidos al aparato.

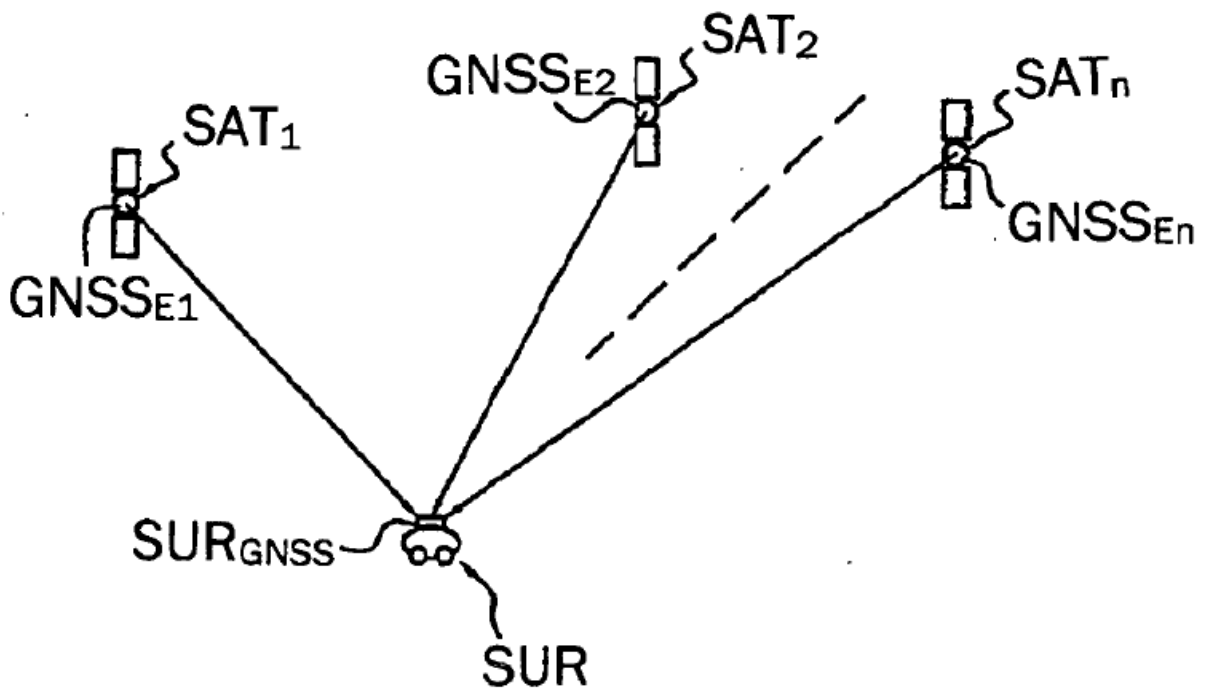


FIG.1

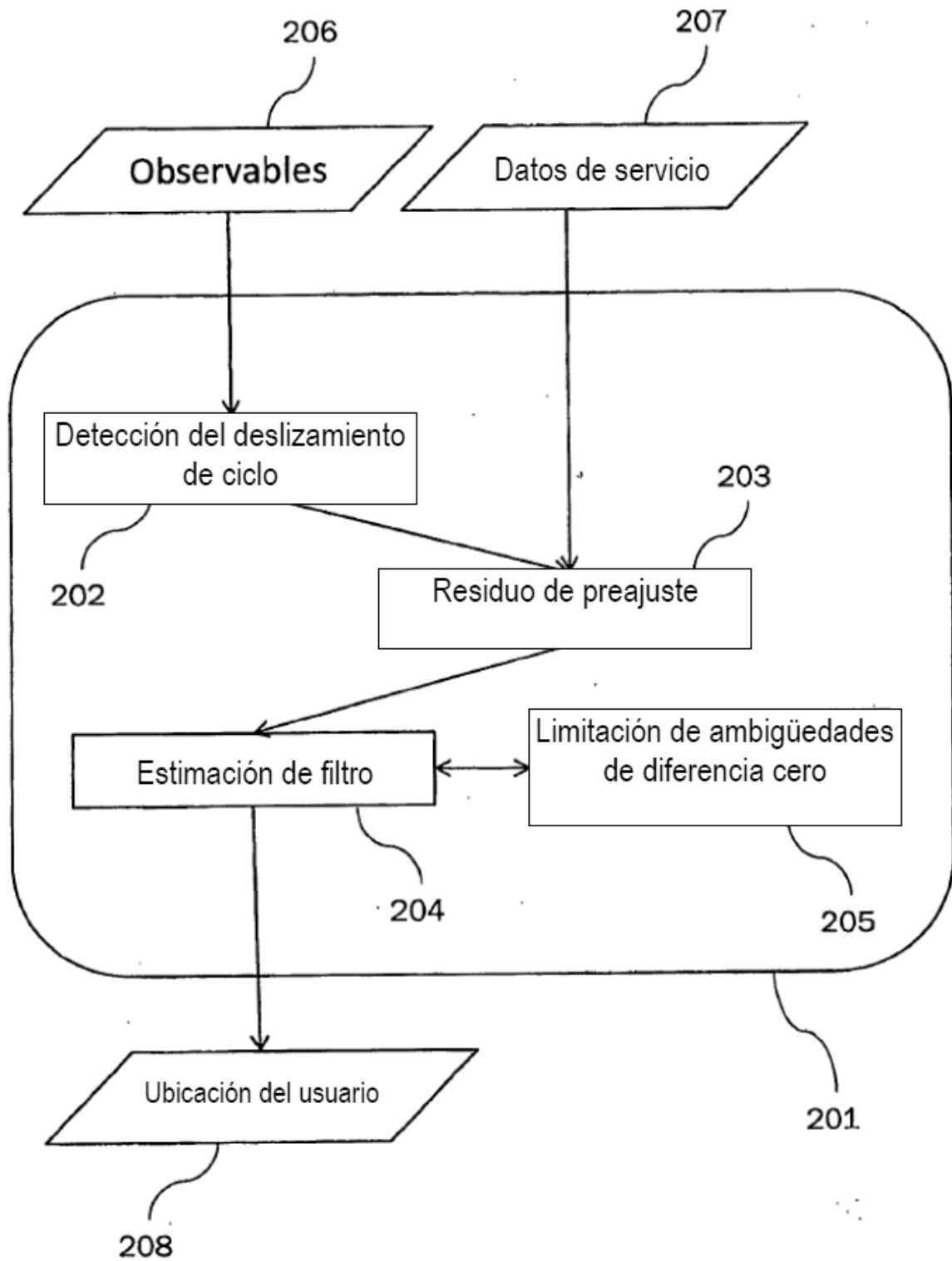


Fig.2

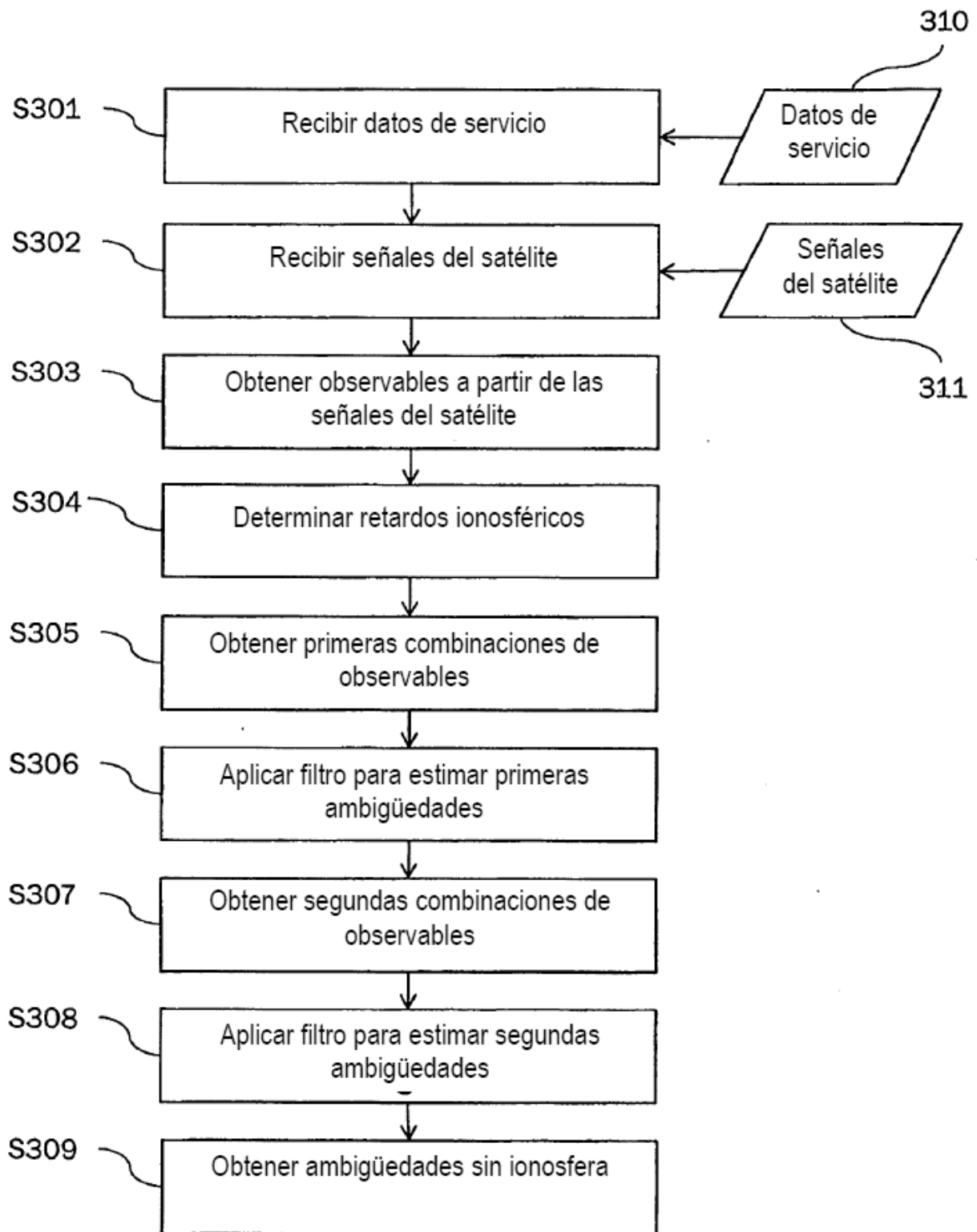


Fig.3

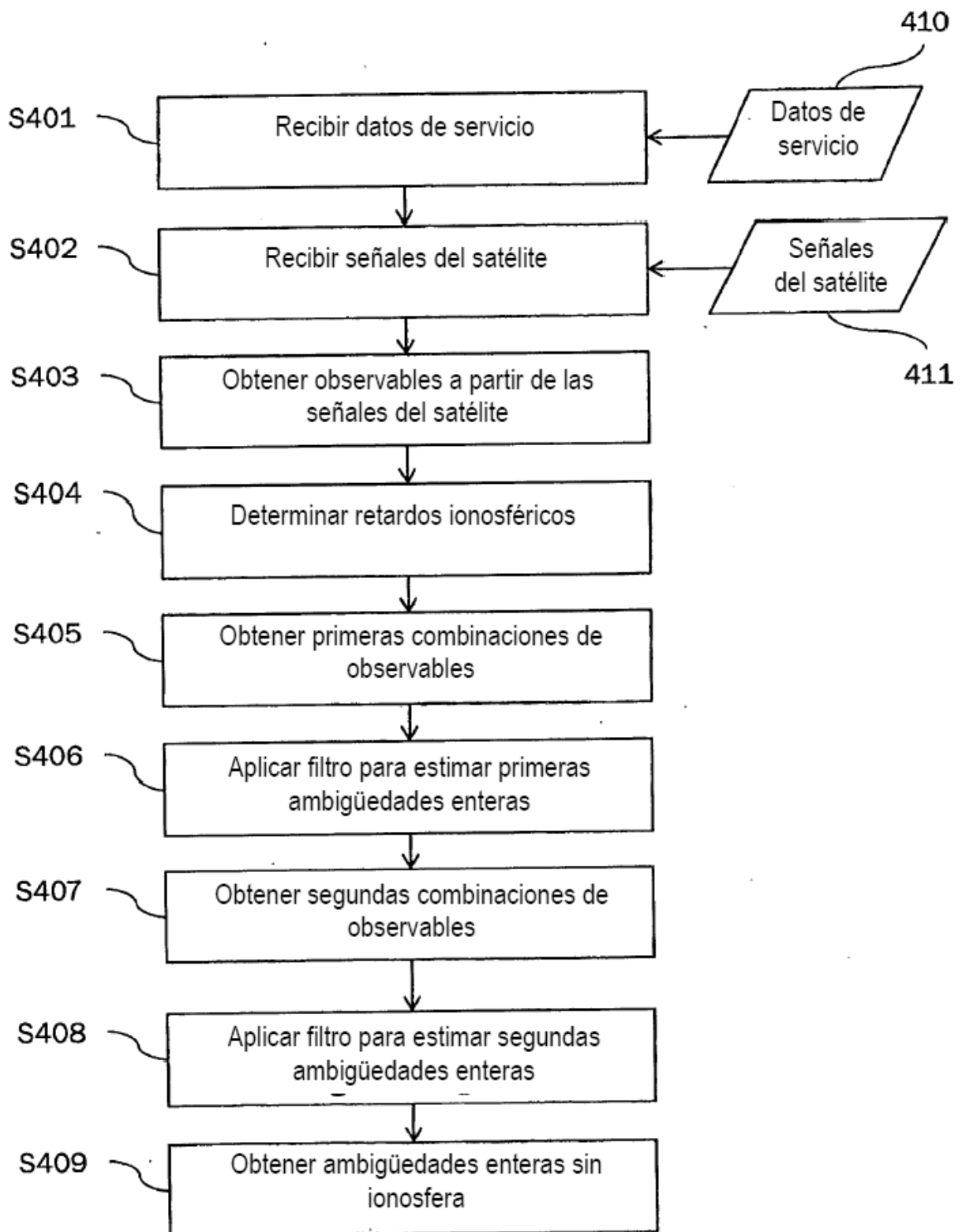


Fig.4

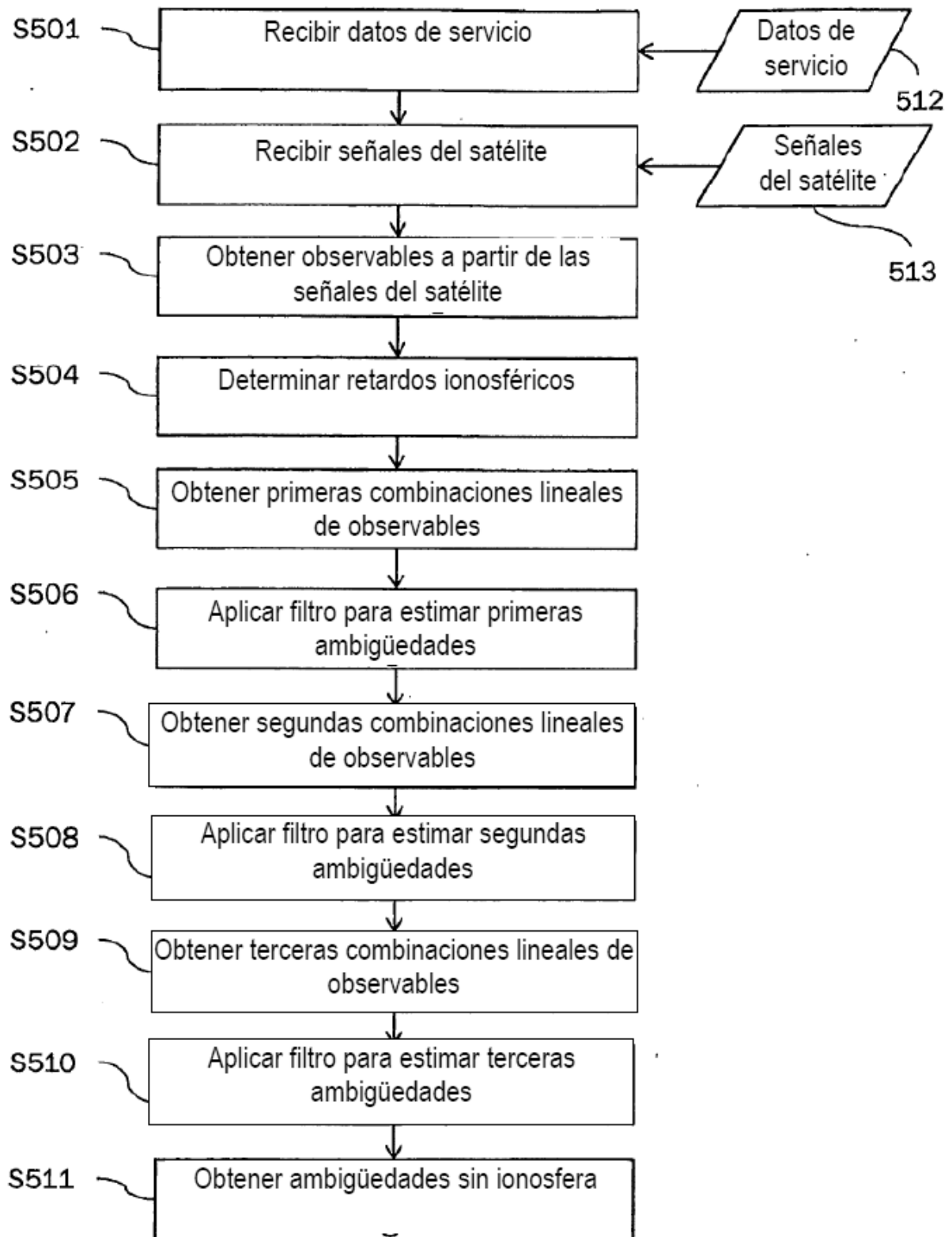


Fig.5



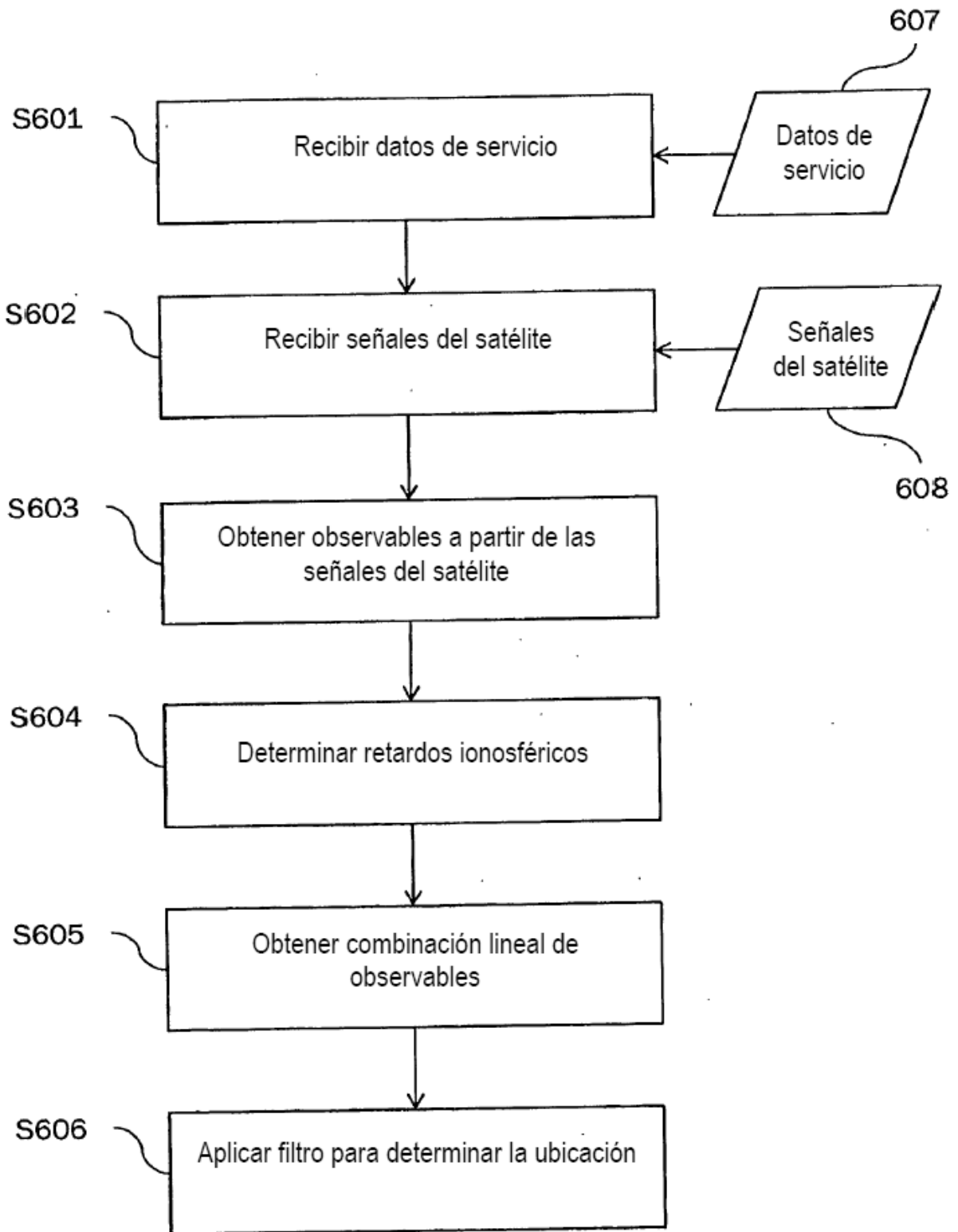


Fig.6

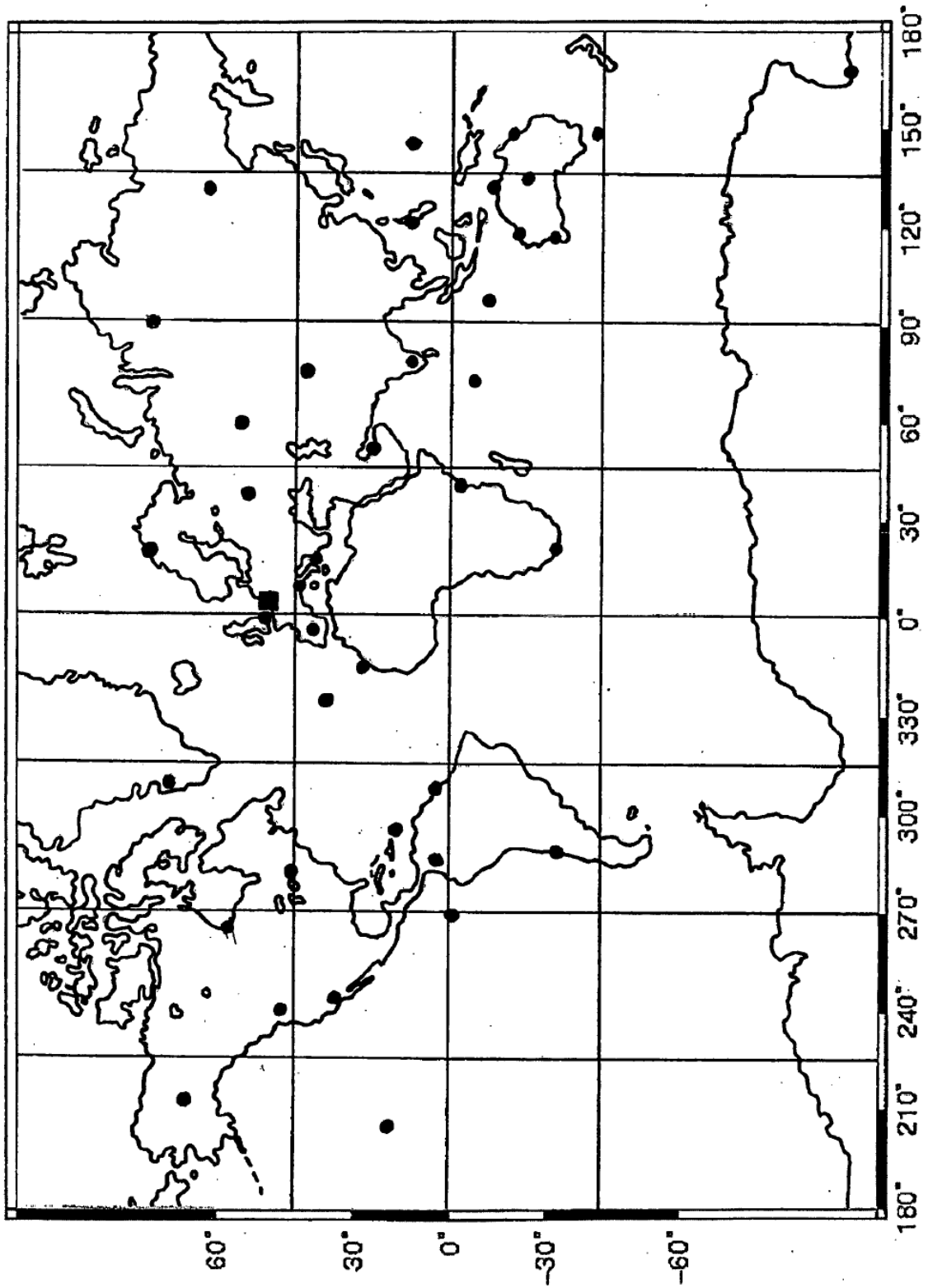


Fig.7

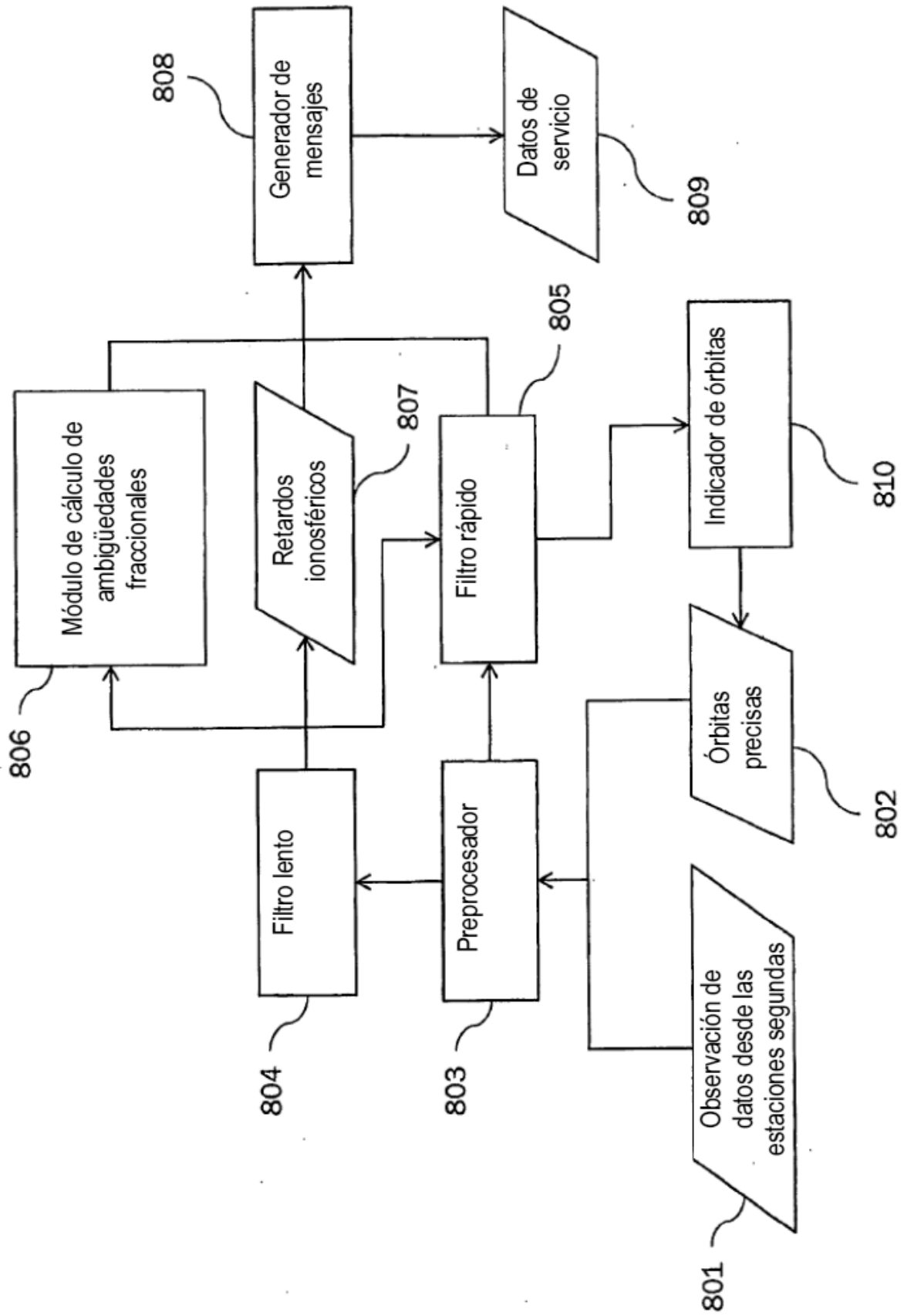


Fig.8

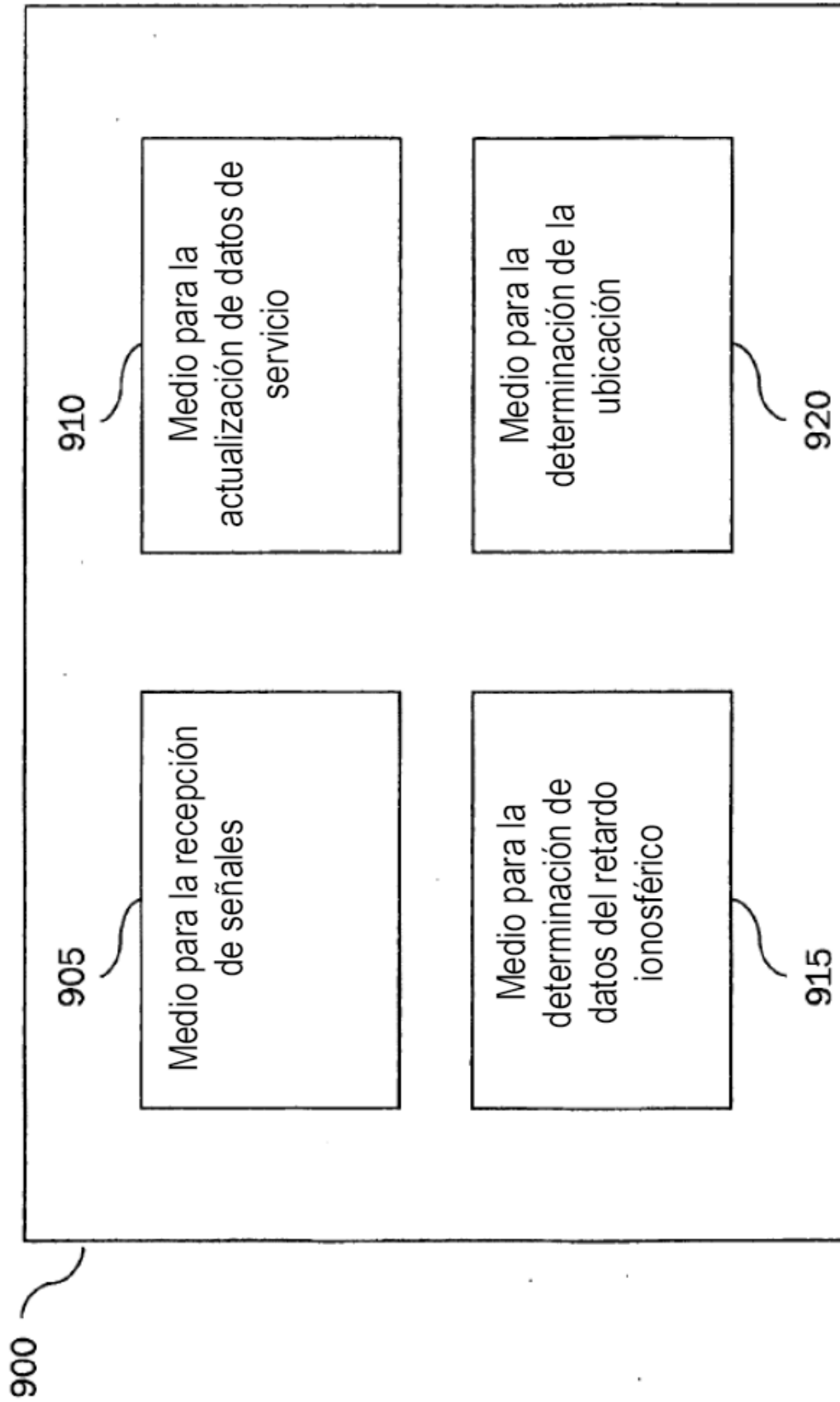


Fig.9

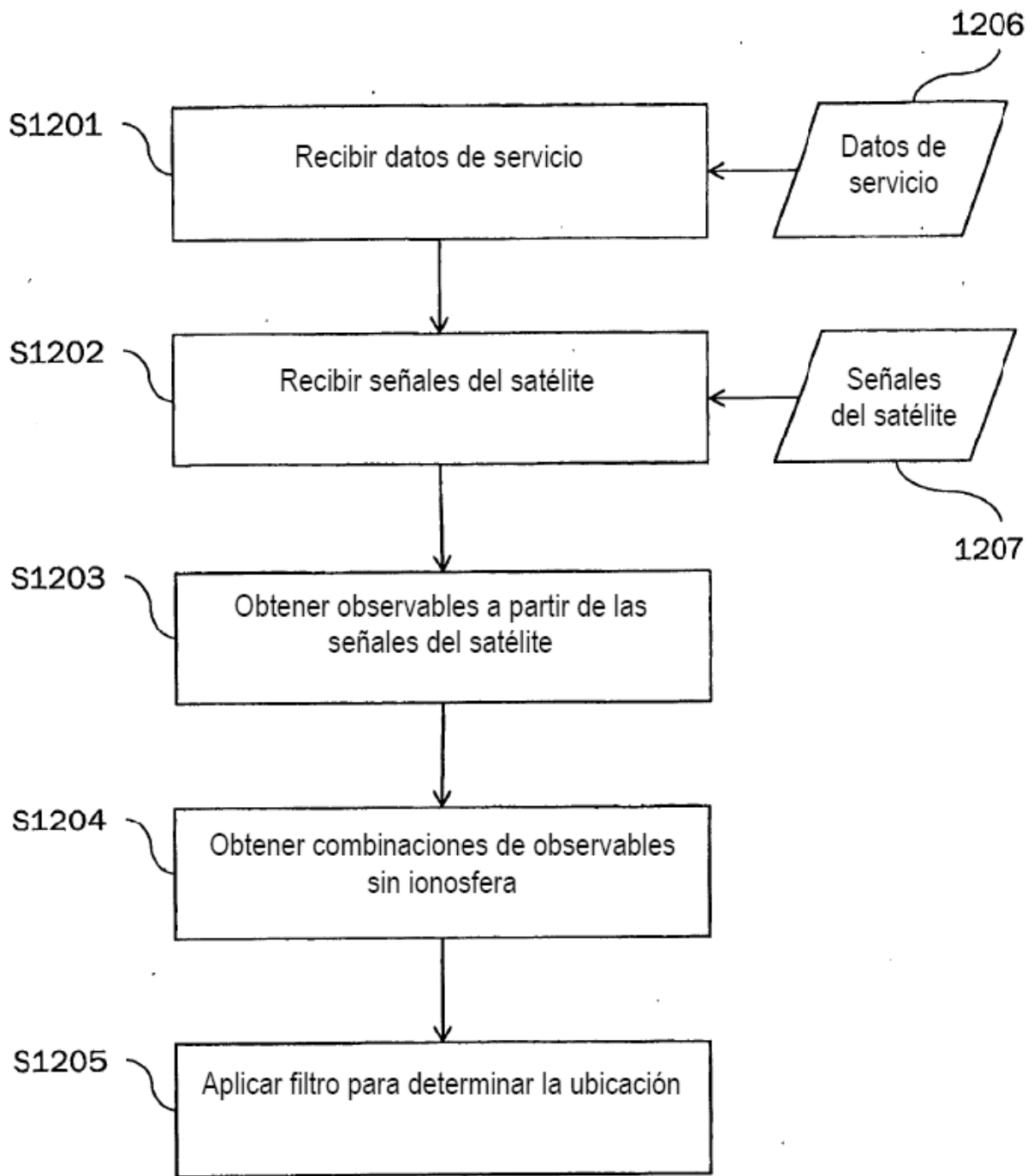


Fig. 10 (Técnica anterior)