



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 307 060**

51 Int. Cl.:
G01S 5/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04794752 .8**

86 Fecha de presentación : **07.10.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1678516**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **12.07.2006**

54 Título: **Método para resolver las ambigüedades del número entero de la fase portadora usando tres frecuencias GPS.**

30 Prioridad: **08.10.2003 US 682553**

73 Titular/es: **Navcom Technology, Inc.**
20780 Madrona Avenue
Torrance, California 90503, US

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.11.2008

72 Inventor/es: **Hatch, Ronald, R.**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.11.2008

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 307 060 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 para resolver las ambigüedades del número entero de la fase portadora usando tres frecuencias GPS.

5 La presente invención se refiere en general a las tecnologías asociadas con los sistemas de posicionamiento, tales como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) o el Sistema Galileo Europeo, y más particularmente a métodos para resolver las ambigüedades del número entero en las mediciones de la fase de una portadora en los sistemas de posicionamiento.

10 **Antecedentes**

Un sistema de posicionamiento de área amplia, tal como el sistema de posicionamiento global (GPS), usa una constelación de satélites para posicionar o navegar objetos sobre la tierra. Actualmente, la constelación de satélites difunde señales a dos frecuencias portadoras, la frecuencia L1 a (154*10,23 MHz) o 1.572,45 MHz y la frecuencia L2 a (120*10,23MHz) o 1.227,6 MHz, o una longitud de onda L1 de 0,1903 m y una longitud de onda L2 de 0,2442 m, respectivamente. Para cada frecuencia portadora, usualmente se hacen dos tipos de mediciones GPS por un receptor GPS con un objeto a posicionar. Los dos tipos de mediciones GPS son las mediciones de pseudo-intervalo, y las mediciones de fase de la portadora integrada. La medición del pseudo-intervalo (o medición de código) es una medición básica observable por el GPS que pueden hacer todos los tipos de receptores GPS. Utiliza los códigos C/A o P modulados sobre las señales portadoras. La medición de la fase de una portadora se obtiene integrando una portadora reconstruida de la señal tal como llega al receptor. Debido al número desconocido de ciclos completos en el transito entre el satélite y el receptor cuando el receptor comienza el seguimiento de la fase de una portadora de la señal, hay una ambigüedad de ciclos completos en la medición de fase de la portadora. Esta ambigüedad de ciclos completos debe resolverse para conseguir una precisión elevada en la medición de la fase de una portadora.

25 Con las mediciones GPS disponibles, se calcula el intervalo o distancia entre un receptor GPS y cada uno de la pluralidad de satélites multiplicando el tiempo de viaje de la señal por la velocidad de la luz. Estos intervalos se denominan usualmente como pseudo-intervalos (falsos intervalos) debido a que las mediciones GPS pueden incluir errores debido a diversos factores de error, tales como el error de temporización del reloj del satélite, el error de efemérides, los efectos de refracción ionosférica y troposférica, el ruido de seguimiento del receptor y el error de trayectorias múltiples, etc. Para eliminar o reducir estos errores, típicamente se usan operaciones diferenciales en las aplicaciones GPS. Las operaciones diferenciales GPS (DGPS) típicamente involucran un receptor GPS base de referencia, un receptor GPS de usuario, y un mecanismo de comunicación entre el usuario y los receptores de referencia. El receptor de referencia está situado en una localización conocida y la posición conocida se usa para generar las correcciones asociadas con algunos o todos los factores de error anteriores. Las correcciones generadas o los datos crudos medidos en la estación de referencia se suministran al receptor del usuario, que usa a continuación estas correcciones o datos crudos para corregir de forma apropiada su posición calculada. Las operaciones diferenciales que usan las mediciones de fase de portadora se denominan a menudo como operaciones de posicionamiento/navegación de cinemática en tiempo real (RTK).

40 Las correcciones generadas o los datos crudos medidos en el receptor de referencia, sin embargo, son útiles al usuario del receptor de GPS sólo cuando hay correlaciones espaciales y temporales de los errores entre el receptor de referencia y el receptor de usuario. Aunque el error de temporización del reloj del satélite, que aparece como una tendencia sobre el pseudo-intervalo o medición de la fase de portadora, está perfectamente correlacionado entre el receptor de referencia y el receptor del usuario, la mayor parte de los otros factores de error o no están correlacionados o la correlación disminuye en aplicaciones de área amplia, es decir, cuando la distancia entre los receptores de referencia y de usuario se hace grande. Además cuando la distancia entre el receptor de usuario y el receptor de referencia se hace grande, tal como más de aproximadamente de 10 a 20 kilómetros, las dos frecuencias portadoras en el sistema GPS existente son inadecuadas para resolver las ambigüedades de fase de portadora de ciclos completos.

50 Los documentos "Carrier Phase Ambiguity Resolution in GNSS-2" (Procedimientos del Instituto de Navegación, 1997, por B. Forssell, M. Martín-Neira, R.A. Harrisz), "Impact of Real-Time Ionospheric Determination on Improving Precise Navigation with Galileo and Next-Generation GPS" (Procedimientos del Instituto de Navegación, 2002, por M. Hernández-Pajares y otros), "The Impact of Two Additional Civilian GPS Frecuencias on Ambiguity Resolution Strategies" (Procedimientos del Instituto de Navegación, 1999, por Shaowei Han, Chris Rizos), y "A long-range dynamic GPS positioning system and its test results" (Simposio sobre Localización de Posición y Navegación, 1996, por Yamming Feng y otros) relacionado con las mejoras en los sistemas de posicionamiento.

60 **Sumario**

La presente invención incluye un método para generar una medición de fase de portadora con la ambigüedad resuelta, refracción corregida, y ruido minimizado. En una realización, para formar la medición fase de portadora con la ambigüedad resuelta, la refracción corregida, y el ruido minimizado, se forma una primera medición de composición usando las mediciones de fase de portadora GPS sobre las frecuencias L1, L2 y L5. La primera medición de composición es una combinación lineal de las mediciones de fase de portadora GPS sobre las tres frecuencias de portadoras GPS. Esta tiene la ambigüedad resuelta, y la refracción corregida, pero puede tener un ruido de trayectoria múltiple relativamente alto. Para reducir el ruido en la primera medición de composición, se forma una segunda medición de composición usando mediciones de fase de portadora GPS sobre al menos dos de las tres frecuencias de portadoras

GPS. La segunda medición de composición se forma para tener un ruido de trayectoria múltiple pequeño en la misma de modo que puede usarse para suavizar la primera medición de composición.

En una realización, para suavizar la primera medición de composición con la segunda medición de composición, se calcula una desviación entre la primera medición de composición y la segunda medición de composición en cada una de la pluralidad de épocas de mediciones y se suaviza la desviación en una media de expansión sobre la pluralidad de épocas de mediciones. La desviación suavizada se añade a la segunda medición de composición para obtener la medición de fase de portadora GPS con la ambigüedad resuelta, la refracción corregida, y el ruido minimizado.

La capacidad para resolver las ambigüedades de las mediciones de composición con la refracción corregida, eliminará en gran parte las limitaciones de separación de la línea base en el uso del GPS Diferencial de fase de portadora, de modo que se hace realizable la capacidad de un RTK global.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama de bloques de un sistema de ordenador que puede usarse para realizar el método para generar una medición con la ambigüedad resuelta, la refracción corregida, y el ruido minimizado.

La Fig. 2 es un diagrama de flujo que ilustra el método para generar una medición de fase de portadora con la ambigüedad resuelta, la refracción corregida, y el ruido minimizado.

La Fig. 3 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de suavizado usado en el método para generar una medición de fase de portadora con la ambigüedad resuelta, la refracción corregida, y el ruido minimizado.

Descripción detallada

La Fig. 1 ilustra un sistema de ordenador 100 que puede usarse para realizar un método para generar una medición de fase de portadora de composición con la ambigüedad resuelta, la refracción corregida, y el ruido minimizado, de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema de ordenador 100 está acoplado a un receptor GPS de usuario 122 que suministra al sistema de ordenador 100 el código GPS y las mediciones de fase de portadora en base a señales procedentes de una pluralidad de satélites 110-1, 110-2, ..., 110-n, donde n es el número de satélites a la vista del receptor GPS del usuario 122. El receptor GPS de usuario 100 puede estar en comunicación con un receptor GPS de referencia 140 que también toma mediciones en base a las señales de una pluralidad de satélites, que se usan para generar correcciones a las mediciones GPS tomadas por el receptor GPS del usuario. La pluralidad de satélites, o uno cualquiera o más de ellos, se denominan a veces a continuación en este documento como satélites 110. En algunas realizaciones, el receptor GPS del usuario 122 y el sistema de ordenador 100 están integrados en un dispositivo único, dentro de una carcasa única, de modo que es portátil, de mano o incluso un dispositivo de seguimiento de posición para llevar puesto, o montado en un vehículo o por el contrario un sistema de posicionamiento y/o navegación móvil. En otras realizaciones, el receptor GPS del usuario 122 y el sistema de ordenador 100 no están integrados dentro de un dispositivo único.

Como se muestra en la Fig. 1, el sistema de ordenador 100 incluye una unidad de procesamiento central (CPU) 126, una memoria 128, un puerto de entrada 134 y un puerto de salida 136, y (opcionalmente) una interfaz de usuario 138, acoplada a cada uno de los demás por uno o más buses de comunicación 129. La memoria 128 puede incluir una memoria de acceso aleatorio de alta velocidad y puede incluir un almacenamiento masivo no volátil, tal como uno o más dispositivos de almacenamiento de disco magnético. La memoria 128 preferiblemente almacena un sistema operativo 131, una base de datos 133, y procedimientos de aplicaciones GPS 135. Los procedimientos de aplicaciones GPS pueden incluir procedimientos 137 para implementar el método para generar una medición de composición de la fase de portadora con la ambigüedad resuelta, la refracción corregida, y el ruido minimizado, de acuerdo con una realización de la presente invención, como se describe con más detalle más adelante. El sistema operativo 131 y los programas de aplicación y los procedimientos 135 y 137 almacenados en la memoria 128 son para su ejecución por la CPU 126 del sistema de ordenador 124. La memoria 128 preferiblemente también almacena las estructuras de datos usadas durante la ejecución de los procedimientos de aplicaciones GPS 135 y 137, incluyendo las mediciones de pseudo-intervalo GPS y/o fase de portadora 139, así como otras estructuras de datos tratadas en este documento.

El puerto de entrada 134 es para recibir datos desde el receptor GPS 122, y el puerto de salida 136 se usa para sacar los datos y/o los resultados de los cálculos. Los datos y los resultados de los cálculos pueden mostrarse también sobre un dispositivo de pantalla de la interfaz de usuario 138.

Se han desarrollado dos técnicas principales para resolver las ambigüedades de la fase de portadora de ciclos completos. La primera técnica se denomina a menudo como la técnica de “libre de la geometría” o “espacio de medición” y usa mediciones de código suavizadas para determinar las ambigüedades de ciclos completos de las mediciones de fase de portadora. La segunda técnica se denomina a menudo como la técnica de “dependiente de la geometría” o “espacio de posición” y usa un proceso de búsqueda para determinar qué combinación de las ambigüedades de ciclos completos con respecto a la pluralidad de satélites a la vista del receptor del GPS da la “mejor” solución de acuerdo con algunos criterios, tales como un mínimo de la suma de los cuadrados de las mediciones residuales.

Hay varias ventajas de usar la aproximación libre de la geometría para la resolución de la ambigüedad de la fase de portadora. Una primera ventaja para la aproximación libre de la geometría es que está menos afectada por los errores en las mediciones GPS causados por los efectos de refracción troposférica porque el código y las mediciones de la fase de portadora están afectados por la troposfera de la misma manera. Una segunda ventaja para la aproximación libre de la geometría es que la resolución de la ambigüedad se hace sobre la base de satélite a satélite, comparado con la aproximación dependiente de la geometría, que necesita al menos cinco satélites a la vista del receptor GPS para asegurar la corrección de la solución. Una tercera ventaja para la aproximación libre de la geometría es que el movimiento del GPS del usuario no tiene ningún efecto sobre la diferencia de las mediciones de código y de fase de portadora, mientras que la aproximación dependiente de la geometría puede necesitar propagar la posición del receptor de GPS del usuario hacia delante en el tiempo cuando el usuario se está moviendo. También, debido a que la aproximación libre de la geometría usa un mayor grado de libertad que la aproximación dependiente de la geometría, es más fácil verificar que se realiza una correcta resolución de las ambigüedades de ciclos completos en el caso de la aproximación libre de la geometría. Estas ventajas hacen a la aproximación libre de la geometría más favorable para aplicaciones RTK.

Con las dos frecuencias portadoras existentes L1 y L2, la técnica libre de la geometría se usa para resolver las ambigüedades de ciclos completos en modo cascada, en la que las ambigüedades de ciclos completos se resuelven en primer lugar para las combinaciones de medición de calle-ancha que tienen la longitud de onda más larga. La combinación de calle-ancha usada más frecuentemente es una simple diferencia de las mediciones de fase de portadora sobre las dos frecuencias existentes L1 y L2, que se denominan en adelante en este documento como la medición diferencia (L1-L2). La medición diferencia (L1-L2) tiene una longitud de onda de 86,2 centímetros y está bien adaptada para la resolución de la ambigüedad de ciclos completos. La ambigüedad de ciclos completos en la medición diferencia (L1-L2) puede resolverse usando una media ponderada de frecuencias de las mediciones de código sobre las dos frecuencias, que coinciden con la distorsión ionosférica en la medición diferencia de fase de portadora. Las ambigüedades de ciclos completos de calle-ancha resueltas se usan para dar paso a longitudes de onda sucesivamente más pequeñas (calle-estrecha). Esta aproximación, sin embargo, sólo funciona cuando la distancia entre el receptor de referencia y el receptor de usuario (separación de la línea base) no excede de un cierto límite tal como de 10 a 20 Kilómetros.

La fuente del problema es el efecto de divergencia de la ionosfera sobre las dos frecuencias portadoras cuando la separación de la línea base se hace grande. La medición diferencia (L1-L2) está afectada adversamente por los efectos de refracción ionosférica. La magnitud del efecto de refracción ionosférica sobre la medición diferencia es aproximadamente la media del efecto sobre las dos mediciones individuales L1 y L2, pero es de signo opuesto. Aunque la ambigüedad de ciclos completos en la medición diferencia (L1-L2) puede resolverse sobre grandes distancias, para eliminar el efecto de la refracción ionosférica en la medición diferencia, debe resolverse también la ambigüedad de ciclos completos en algunas otras combinaciones de mediciones con una dependencia diferente sobre la ionosfera. Una combinación de mediciones, o medición de composición, es una combinación de mediciones de fase de portadora sobre frecuencias portadoras diferentes.

Con sólo dos frecuencias portadoras, es muy difícil resolver las ambigüedades de ciclos completos o cualesquiera otras combinaciones de mediciones de fase de portadora cuando la separación de la línea base es grande. Sin una tercera frecuencia, la mejor combinación que tiene una distorsión muy pequeña inducida por la refracción ionosférica es una medición de composición formada usando la diferencia entre nueve veces la medición de fase de la portadora L1 y siete veces la medición de fase de la portadora L2, que se denomina como la medición de composición (9L1-7L2). Pero esta medición de composición tiene dos características muy adversas. En primer lugar la longitud de onda efectiva de la medición de composición es de sólo 5,35 cm. El conocimiento del valor de ambigüedad para la combinación de medición (L1-L2) (si es par o impar) puede usarse para incrementar la longitud de onda efectiva desde 5,35 a 10,7 centímetros. Pero es aún imposible resolver la ambigüedad con la refracción corregida sobre líneas-base largas por la multiplicación adversa del ruido de múltiples trayectorias en el proceso de corrección de la refracción.

Como parte de la modernización del GPS, se tendrá disponible una nueva señal con una tercera frecuencia para usuarios civiles. La nueva señal se denomina a veces como la señal L5 por razones históricas y tiene una frecuencia de (115*10,23 MHz) o 1.176,45 MHz, o una longitud de onda de 0,2548 m. La adición propuesta de la tercera frecuencia a las señales de difusión del GPS proporciona un grado adicional de libertad en la construcción de mediciones de composición con longitudes de onda variables, variando la sensibilidad a la ionosfera, y diferentes efectos de amplificación del ruido, y de este modo puede ser útil para obtener mediciones de la fase de portadora con la ambigüedad resuelta y la refracción corregida, que son cruciales para aplicaciones GPS de alta precisión.

La Fig. 2 ilustra un método 200 para generar una medición de fase de portadora de composición con la ambigüedad resuelta, la refracción corregida, y el ruido minimizado, de acuerdo con una realización de la presente invención. Como se muestra en la Fig. 2, el método 200 incluye la etapa 210 en la que se resuelven las ambigüedades en al menos dos mediciones de calle-ancha formada cada una usando la diferencia entre las mediciones de fase de portadora tomadas en dos de las tres frecuencias. Como se ha indicado anteriormente, la media ponderada de frecuencias de las mediciones de código de L1 y de L2 coincide con la refracción ionosférica de la medición diferencia de la fase de portadora (L1-L2), y puede usarse de este modo para resolver la ambigüedad en la medición diferencia (L1-L2) de la fase de portadora independiente de la distorsión ionosférica en las mediciones. De forma similar, también pueden determinarse las ambigüedades en la medición diferencia de fase de portadora (L1-L5) y (L2-L5). La relación general para resolver estas ambigüedades de calle-ancha usando la media ponderada de frecuencias de las mediciones de código correspondientes es

$$N_{ij} = \left\lfloor \frac{f_i P_i + f_j P_j}{f_i + f_j} \right\rfloor - \frac{(f_i - f_j)}{c} - (\phi_i - \phi_j) \quad (1)$$

donde $i, j = 1, 2 \text{ ó } 5$, representan dos frecuencias portadoras diferentes L_i, L_j , respectivamente, f_i y f_j representan las magnitudes de las frecuencias L_i y L_j , respectivamente, P_i y P_j representan la medición de código a las frecuencias L_i y L_j respectivamente, ϕ_i y ϕ_j representan las mediciones de fase de portadora a las frecuencias L_i y L_j respectivamente, c es la velocidad de la luz, y N_{ij} representa la ambigüedad de ciclos completos de la fase portadora para la medición diferencia de la fase de portadora ($L_i - L_j$) y se redondea al valor del número entero más próximo. Tanto las mediciones de código como las de fase de portadora en la Ecuación (1) se asume que se han corregido usando las mediciones tomadas en el receptor de referencia.

Por lo tanto, las ambigüedades de calle-ancha para las mediciones diferencia de fase de portadora (L1-L2), (L1-L5) y (L2-L5) pueden resolverse usando la Ecuación (1). Realmente, debido a las relaciones de frecuencias, una vez que se determinan las ambigüedades sobre cualesquiera dos de estas mediciones diferencias, puede determinarse directamente la ambigüedad en la tercera medición diferencia. Sin embargo, existe aún un problema cuando se intenta eliminar la distorsión debida a la ionosfera a partir de estas mediciones diferencias. Como las frecuencias L2 y L5 están tan próximas, tomando la diferencia de las mediciones de fase de portadora sobre las dos frecuencias resulta un ruido de trayectoria múltiple elevado en la medición diferencia. Después de la corrección ionosférica, el ruido de trayectoria múltiple se amplificaría aún más. De este modo no es práctico usar la medición diferencia (L2-L5) para resolver directamente las mediciones de fase de portadora de calle-estrecha. Sin el uso de la medición diferencia (L2-L5), las mediciones diferencia (L1-L2) y (L1-L5) están tan cerca en valor que se requiere un múltiplo elevado para el mapeo de la diferencia dentro de una corrección de la medición de L1, L2, o L3. Esto de nuevo amplifica el ruido de trayectoria múltiple a un nivel inaceptable.

De este modo, el método 200 incluye además la etapa 220 en la que se forma la medición de composición que tiene un error de refracción insignificante usando las mediciones de fase de portadora tomadas de la totalidad de las tres frecuencias. En una realización de la presente invención, esta medición de composición es una combinación lineal de las mediciones de fase de portadora sobre las tres frecuencias, y más preferiblemente una supercombinación de al menos dos mediciones de calle-ancha con la ambigüedad resuelta. La ausencia de error de refracción en la medición de composición es el resultado de los errores de refracción en las mediciones de fase de portadora sobre las tres frecuencias que se cancelan entre sí cuando forman la medición de composición, o el resultado de los errores de refracción en las mediciones de calle-ancha que se cancelan entre sí cuando se forma la supercombinación. Por ejemplo, se puede obtener la corrección de la refracción restando de la medición de calle-ancha (L1-L2) un múltiplo de la medición de calle-ancha (L2-L5), de modo que el error de refracción ionosférica en el múltiplo de la medición de calle-ancha (L2-L5) cancela el error de refracción ionosférica en la medición de fase de portadora (L1-L2). La ecuación para calcular un factor para el múltiplo es:

$$\frac{f_5(f_1 - f_2)}{f_1(f_2 - f_5)} = 5,077922078$$

Como las ambigüedades en las mediciones diferencia de la fase de portadora (L1-L2), (L1-L5) y (L2-L5) se han resuelto en la etapa 210, como se ha tratado anteriormente, podemos obtener una medición de composición con la ambigüedad resuelta y la refracción corregida en la etapa 220 calculando:

$$\phi_r = (\phi_1 - \phi_2 + N_{12}) - 5,077923(\phi_2 - \phi_5 + N_{25}) \quad (2)$$

donde ϕ_r representa la medición de composición, ϕ_1, ϕ_2 y ϕ_5 representan las mediciones de fase de portadora a las frecuencias L1, L2 y L5, respectivamente, asumiendo que se han corregido todas usando las mediciones tomadas en el receptor GPS de referencia 140, N_{12} es la ambigüedad en la medición diferencia de fase de portadora (L1-L2), y N_{25} es la ambigüedad en la medición diferencia de la fase de portadora (L2-L5).

Aproximadamente, la supercombinación en la Ecuación (2) puede verse como una combinación lineal de las mediciones de fase de portadora sobre las tres frecuencias formadas tomando la medición de la fase de portadora sobre la frecuencia L1 menos 5 veces la medición de la fase de portadora sobre la frecuencia L5 y menos seis veces la medición de la fase de portadora sobre la frecuencia L2, por ejemplo, la medición de composición (L1 - 6L2 + 5L5). La medición de composición (L1 - 6L2 + 5L5) tiene un error de refracción ionosférica muy pequeño comparado con el error de refracción en la medición de fase de la portadora L1. Específicamente, el efecto de la ionosfera sobre la medición de composición (L1 - 6L2 + 5L5) es sólo el 7,44% del efecto de la ionosfera sobre la medición de L1. Se observa que la medición de composición (L1 - 6L2 + 5L5) es también equivalente a una supercombinación de la medición diferencia (L1-L5) reducida por seis veces la medición diferencia (L2-L5), es decir:

$$(L1 - 6L2 + 5L5) = (L1 - L5) - 6(L2 - L5).$$

La medición de composición de la fase de portadora con refracción corregida y la ambigüedad resuelta en la Ecuación (2) tiene una longitud de onda de 3,4035 metros que puede usarse para poner a escala la medición de composición a un pseudo-intervalo medido con respecto al satélite. Sin embargo queda una característica adversa acerca de esta medición de composición. Específicamente, el ruido de fase de las mediciones de fase de portadora individuales se ha incrementado sustancialmente por la multiplicación y por la longitud de onda incrementada. Asumiendo que el ruido de fase es igual sobre las tres frecuencias y equivalente a 1 centímetro a la frecuencia L1, entonces el ruido en la medición de composición con refracción corregida y ambigüedad resuelta ϕ_r , será de aproximadamente 143 centímetros. La suposición de igual ruido de fase no es crítica. Por ejemplo, una suposición alternativa de que el ruido de fase en L1 es igual a un centímetro y el ruido de fase en cada una de las otras dos frecuencias está a escala según la longitud de onda de la frecuencia daría como resultado un valor ligeramente más pequeño de 110 centímetros para el ruido de la medición de composición.

Aunque este ruido en la medición de composición con la refracción corregida ϕ_r , de la Ecuación (2) parece algo grande, se compara favorablemente con el ruido que resulta de usar las mediciones de código para obtener un resultado de refracción corregida. Es indudablemente mejor que las mediciones de código, en que las mediciones de fase están menos sujetas a las tendencias que pueden resultar de diversas fuentes, es decir las características de diseño del receptor. Además, incluso aunque la longitud de onda es grande, la medición es insensible a los cambios de fase por cambio de orientación debido a una cantidad igual de mediciones de fases positivas y negativas en la composición. La mayor parte del ruido en la medición de composición de fase resulta de la trayectoria múltiple presente en las mediciones de fase individuales. Afortunadamente, puede emplearse el mismo método empleado anteriormente para suavizar las mediciones de código en las trayectorias múltiples puede usarse para suavizar el ruido de fase de trayectoria múltiple.

Por lo tanto, el método 200 incluye además una etapa 230 en la que se forma otra medición de fase de portadora de composición que tiene un ruido de amplificación pequeño y la etapa 240 en la que se suaviza la medición de fase de portadora con la ambigüedad resuelta de la ecuación (2) con la otra medición de fase de portadora de composición con una amplificación pequeña del ruido. Un ejemplo específico de una medición de composición que tiene una amplificación de ruido próxima al mínimo esta dada por:

$$\phi_m = 4,219178\phi_1 - 1,609589(\phi_2 + \phi_3) \quad (3)$$

donde ϕ_m representa la medición de composición.

Los valores numéricos 4,219178 y 1,609589 en la ecuación (3) se obtienen a partir de la ecuación más general:

$$\phi_m = \frac{f_1}{f_1 - 0,5(f_2 + f_5)} \phi_1 - 0,5 \frac{0,5(f_2 + f_5)}{f_1 - 0,5(f_2 + f_5)} (\phi_2 + \phi_5) \quad (4)$$

La medición de composición ϕ_m tiene una longitud de onda de aproximadamente 10,8 centímetros y tendría un nivel de ruido de aproximadamente 2,7 centímetros asumiendo el mismo ruido de fase sobre cada frecuencia como se asumió anteriormente. La ecuación (3) o la (4) no son muy sensibles a intercambios entre las mediciones de L1 y L2, y aunque no resuelve las ambigüedades, cualquier múltiplo de esta ecuación debería funcionar también para los propósitos tratados más adelante. De este modo reduciendo a la mitad los coeficientes en la ecuación (3) y usando dos veces la longitud de onda para poner a escala la medición de composición a metros dará exactamente la misma medición de composición con exactamente el mismo ruido en el valor medido. Aunque ϕ_m se ha formado usando las mediciones de fase de portadora a partir de tres frecuencias, puede formarse también una medición de composición con la refracción corregida que tiene una amplificación del ruido ligeramente más alta que ϕ_m , usando sólo las mediciones de fases de portadoras L1 y L2 o sólo las mediciones de fase de portadora de L1 y L5.

Para unos resultados óptimos, la medición de composición ϕ_m necesita ajustarse por los cambios de fase por cambio de orientación, pero es relativamente insensible a cualquier error en el valor de cambios de fase por cambio de orientación debido a la longitud de onda estrecha. No es necesario ensayar para resolver la ambigüedad sobre la medición de composición ya que se usa simplemente para suavizar el ruido en la medición de composición con la ambigüedad resuelta a partir de la ecuación (2).

La Fig. 3 ilustra un proceso de suavizado 300 en la etapa 240. Como se muestra en la Fig. 3, el proceso 300 incluye una etapa 310 en la que se pone a escala la medición de composición ϕ_r de la Ecuación (2) según su longitud de onda de 3,4035 metros y la medición de composición puesta a escala se denomina como R, y la medición de composición ϕ_m en la Ecuación (3) se pone a escala según su longitud de onda de 10,8 centímetros y la medición de composición a escala se denomina como S. El proceso 300 incluye además la etapa 320 en la que se calcula la desviación entre R y S en cada una de pluralidad de épocas de medición y la desviación se suaviza en una media de expansión sobre la

pluralidad de épocas. De este modo en la etapa 320, se calcula lo siguiente de forma iterativa sobre varias épocas de medición

$$O_k = O_{k-1} + \frac{1}{n} (R_k - S_k - O_{k-1}) \quad (4)$$

donde k designa una época de medición y $k-1$ la época de medición anterior a k , O representa la desviación suavizada, n iguala a k antes de que k alcance un número máximo predeterminado de promedio, y después de esto n se mantiene a ese número máximo.

Para obtener la medición final de salida suavizada, el proceso 300 incluye además la etapa 330 en la que la desviación suavizada se añade a la medición corregida con la refracción corregida de alta precisión S para llegar a una medición de composición con la ambigüedad resuelta, la refracción corregida, y el ruido minimizado M

$$M_k = O_k + S_k \quad (5)$$

La ventaja de usar las etapas 320 y 330 en el proceso 300 para suavizar la medición de fase de portadora con la ambigüedad resulta es que puede monitorizarse la desviación para su moderación durante el proceso de suavizado.

El número de épocas de medición sobre las cuales se calcula la Ecuación (4) se determina de acuerdo con el cuadrado de la proporción de ruido, que es la proporción del nivel de ruido en ϕ_r sobre el nivel de ruido en ϕ_m . De acuerdo con nuestros ejemplos anteriores, esta proporción sería aproximadamente de 50. De este modo el cuadrado de la proporción de ruido de acuerdo con nuestros ejemplos anteriores sería de aproximadamente 2.500. Sin embargo, los ejemplos anteriores asumen un ruido aleatorio independiente en cada época, mientras que la trayectoria múltiple está típicamente correlacionada positivamente sobre varios minutos. Esto significa que el proceso de promedio puede continuarse beneficiosamente sobre 10.000 o más épocas de mediciones, o durante 10.000 segundos o más si se toma un conjunto de mediciones en cada segundo. El proceso de promediado se convierte en una media exponencial cuando se alcanza el número máximo para el promediado como se determina por el cuadrado de la proporción de ruido.

Aunque las realizaciones anteriores de la presente invención se han descrito en el contexto de GPS, la presente invención es aplicable a otros sistemas de posicionamiento con ligeras modificaciones. Por ejemplo, en el Sistema Galileo Europeo, se usa una frecuencia portadora E6 a (125*10,23 MHz) en lugar de la frecuencia L2. La técnica de las realizaciones como se ha descrito anteriormente funcionaría incluso mejor ya que la diferencia en frecuencia entre E6 y L5 es el doble de la diferencia entre L2 y L5. De este modo, en lugar de la supercombinación en la Ecuación (2), se puede usar la siguiente supercombinación en el Sistema Galileo Europeo:

$$\phi_r = \phi_1 - \phi_e + N_{1e} - 2,165584416(\phi_e - \phi_5 - N_{e5}) \quad (6)$$

donde el subíndice ϕ_e representa la medición de fase de portadora en la frecuencia E6, N_{1e} y N_{e5} representan las ambigüedades de ciclos completos asociadas con las mediciones de diferencias $(\phi_1 - \phi_e)$ y $(\phi_e - \phi_5)$, respectivamente, y el valor 2,165584416 viene del siguiente cálculo

$$\frac{f_5(f_1 - f_e)}{f_1(f_e - f_5)} = 2,165584416$$

donde f_e se pone a la frecuencia de E6. Como la ecuación (6) usa el valor mucho más pequeño 2,165584416 comparado con el valor de 5,077923 de la Ecuación (2), la amplificación de ruido en la supercombinación de la Ecuación (6) debería ser mucho más pequeña que la amplificación de ruido en la supercombinación de la Ecuación (2). De este modo, la medición de combinación resultante con la ambigüedad resuelta y la refracción corregida requerirá menos suavización para conseguir la misma precisión.

De este modo, la presente invención proporciona un método para resolver las ambigüedades en una medición de composición de fase de portadora con refracción corregida. La presente invención también proporciona un método para minimizar el efecto de la amplificación de ruido en la medición de composición. Se cree que un proceso de medición muy preciso con la refracción corregida y la ambigüedad resuelta puede mejorar varias aplicaciones de GPS. Por ejemplo, puede reducir o eliminar las restricciones de distancias en el GPS diferencial de fase de portadora, al que a menudo se denomina como GPS de Cinemática en Tiempo Real (RTK).

Aunque se ha descrito la presente invención con respecto a unas pocas realizaciones específicas, debería entenderse que pueden realizarse diversos cambios, sustituciones y alteraciones a la misma sin apartarse del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para generar una medición de fase de portadora, que comprende:

5 formar una primera medición de composición (220) usando mediciones de fase de portadora GPS sobre una pluralidad de frecuencias portadoras de GPS;

10 formar una segunda medición de composición (230) usando mediciones de fase de portadoras de GPS sobre al menos dos frecuencias portadoras de GPS;

caracterizado por:

formar la primera medición de composición que incluye:

15 obtener mediciones de fase de portadora sobre la pluralidad de frecuencias de GPS, comprendiendo dicha pluralidad de frecuencias tres frecuencias;

20 formar al menos dos mediciones de fase de portadora de calle-ancha en base a las mediciones de fase de portadora sobre las tres frecuencias; y

resolver las ambigüedades de ciclos completos en las mediciones de fase de portadora de calle-ancha; y

25 usar las mediciones de calle-ancha con la ambigüedad resuelta para formar la primer medición de composición; y

suavizar la medición de composición primera con la medición de composición segunda (240).

2. El método de la reivindicación 1 en el que la primera medición de composición es una combinación lineal de mediciones de fase de portadoras GPS sobre las tres frecuencias portadoras de GPS.

30 3. El método de las reivindicaciones 1 ó 2 en el que la ambigüedad de ciclos completos en cada medición de fase de portadora de calle-ancha se resuelve en base a una media ponderada de frecuencias de las mediciones de código GPS correspondientes, un error causado por la refracción ionosférica en la media ponderada de frecuencias que coincide con el error causado por la refracción ionosférica en la medición de fase de portadora de calle-ancha.

35 4. El método de la reivindicación 1, en el que la segunda medición de composición se forma para tener un ruido de trayectoria múltiple pequeño.

40 5. El método de la reivindicación 1 en el que la segunda medición de composición se forma usando las mediciones de fase de portadora sobre la totalidad de las tres frecuencias.

6. El método de la reivindicación 1 en el que la segunda medición de composición incluye las ambigüedades de ciclos completos no resueltas.

45 7. El método de la reivindicación 1 en el que la segunda medición de composición tiene una longitud de onda de aproximadamente 10,8 centímetros.

50 8. El método de la reivindicación 7 en el que la segunda medición de composición tiene un nivel de ruido de aproximadamente 2,7 centímetros asumiendo igual ruido de fase en cada una de las mediciones de fase de portadora sobre las tres frecuencias.

9. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que la primera y la segunda mediciones de composición se ponen a escala según sus longitudes de onda respectivas y en el que la suavización de la medición de composición primera con la medición de composición segunda (240) comprende:

55 calcular una desviación entre la primera medición de composición y la segunda medición de composición en cada una de la pluralidad de épocas de medición;

suavizar la desviación en una media de expansión sobre la pluralidad de épocas de medición (320); y

60 añadir la desviación suavizada a la segunda medición de composición (330) para obtener una medición de fase de portadora de GPS con la ambigüedad resuelta, la refracción corregida y el ruido reducido.

10. Un sistema de navegación o posicionamiento, que comprende:

65 un receptor GPS (122) configurado para obtener códigos GPS y mediciones de fase de portadora en base a señales de una pluralidad de satélites (110) a la vista del receptor GPS (110), transmitiéndose las señales en tres frecuencias portadoras de GPS diferentes;

ES 2 307 060 T3

un sistema de ordenador (100) acoplado al receptor GPS (122), incluyendo el sistema de ordenador un procesador (126) y una memoria (128) acoplada al procesador, almacenando la memoria instrucciones de programa en la misma (137) ejecutables por el procesador, comprendiendo las instrucciones de programa:

instrucciones (220) para formar una primera medición de composición usando las mediciones de fase de portadoras GPS sobre una pluralidad de frecuencias portadoras de GPS;

instrucciones (230) para formar una segunda medición de composición usando mediciones de fase de portadoras GPS sobre al menos dos frecuencias portadoras de GPS;

caracterizado por:

las instrucciones para formar la primera medición de composición incluyendo instrucciones para:

obtener mediciones de fase de portadora sobre la pluralidad de frecuencias GPS, comprendiendo la pluralidad de frecuencias de GPS tres frecuencias;

formar al menos dos mediciones de fase de portadora de calle-ancha en base a las mediciones de fase de portadora sobre las tres frecuencias; y

resolver las ambigüedades de ciclos completos en las mediciones de fase de portadora de calle-ancha; y

usar las mediciones de calle-ancha con la ambigüedad resuelta para formar la primera medición de composición; y

las instrucciones de programa que incluyen instrucciones adicionales para suavizar la medición de composición primera con la medición de composición segunda.

11. El sistema de posicionamiento de la reivindicación 10, en el que las instrucciones (220) para formar la primera medición de composición comprenden:

instrucciones para formar al menos dos mediciones de fase de portadora de calle-ancha en base a las mediciones de fase de portadora sobre las tres frecuencias portadoras;

instrucciones para resolver las ambigüedades de ciclos completos en las mediciones de fase de portadora de calle-ancha; e

instrucciones para usar las mediciones de calle-ancha con la ambigüedad resuelta para formar la medición de composición primera.

12. El sistema de posicionamiento de las reivindicaciones 10 u 11 en el que la segunda medición de composición se forma para tener un ruido de trayectoria múltiple pequeño en el mismo.

13. El sistema de posicionamiento de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12 en el que la segunda medición de composición se forma usando mediciones de fase de portadora sobre la totalidad de las tres frecuencias.

14. El sistema de posicionamiento de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13 en el que la segunda medición de composición incluye ambigüedades de ciclos completos no resueltas.

15. El sistema de posicionamiento de la reivindicación 10 en el que las instrucciones para suavizar la primera medición de composición con la segunda medición de composición comprende:

instrucciones para calcular una desviación entre la primera medición de composición y la segunda medición de composición en cada una de la pluralidad de épocas de medición;

instrucciones (320) para suavizar la desviación en una media de expansión sobre la pluralidad de épocas de mediciones; e

instrucciones (330) para añadir la desviación suavizada a la segunda medición de composición para obtener una medición de fase de portadora GPS con la ambigüedad resuelta, la refracción corregida, y el ruido reducido.

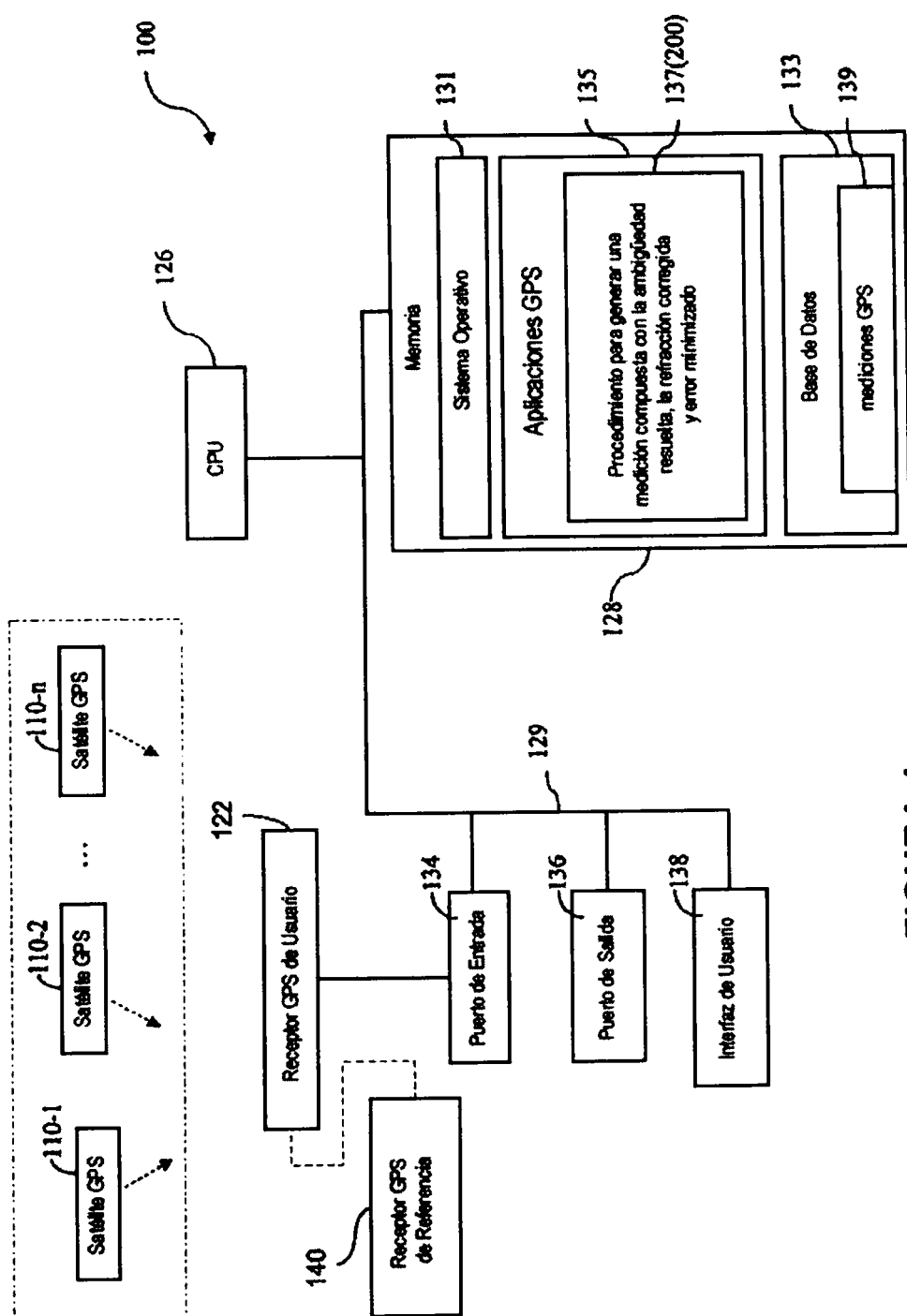


FIGURA 1

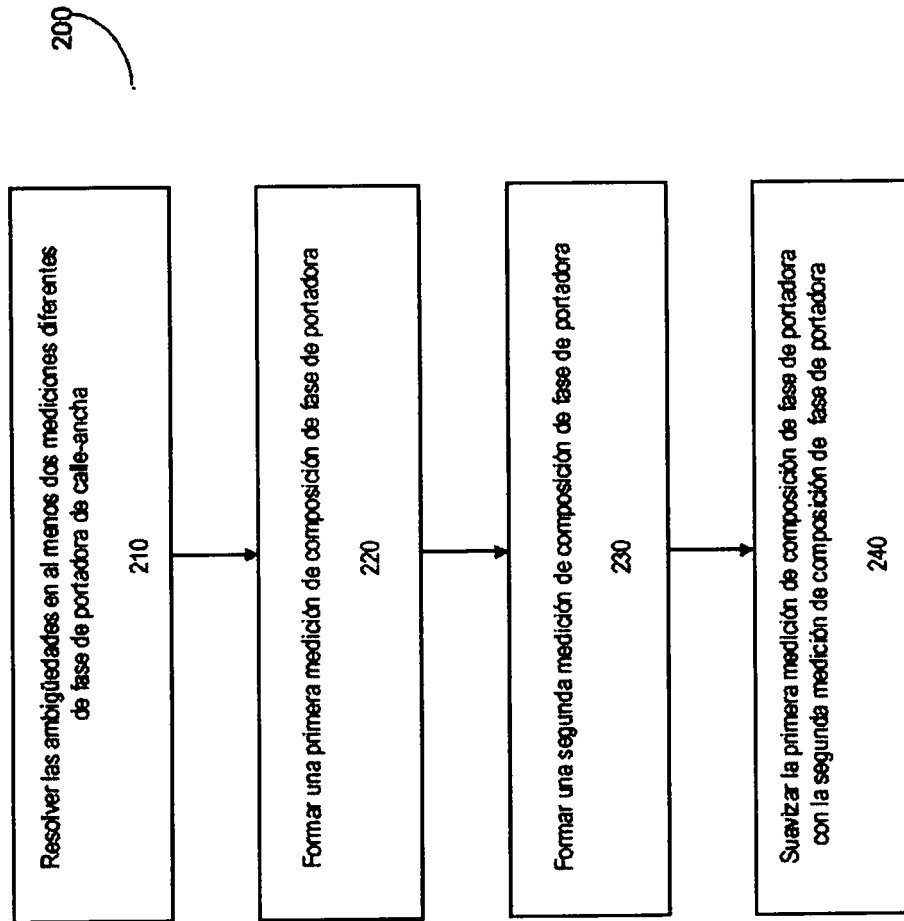


FIGURA 2

300

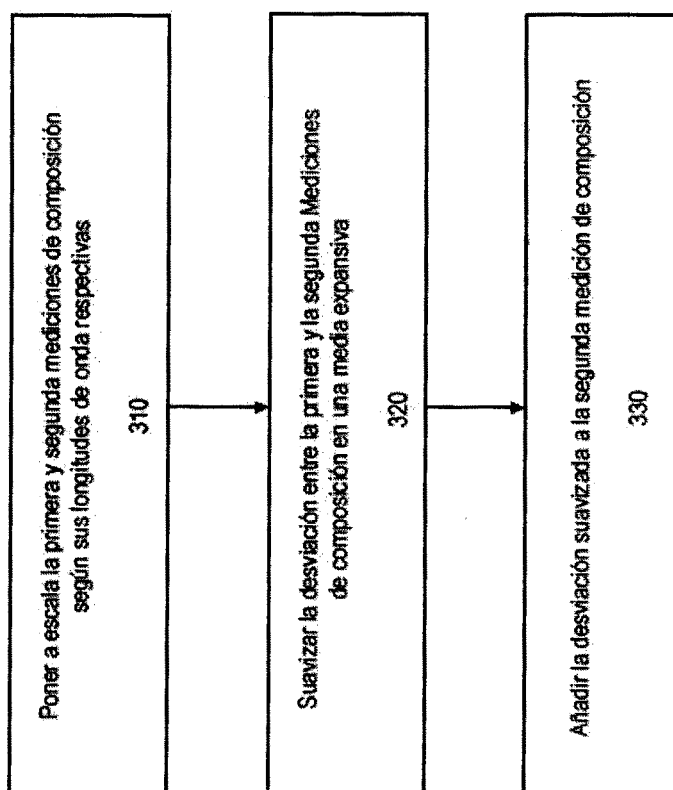


FIGURA 3