

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 434 252**

51 Int. Cl.:

**G01S 19/23** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2009 E 09802085 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2013 EP 2384449**

54 Título: **Calibración de frecuencia de reloj local usando satélites de órbita terrestre baja (LEO)**

30 Prioridad:

**06.01.2009 US 349362**

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

**16.12.2013**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)  
100 North Riverside Plaza  
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

**GUTT, GREGORY M.;  
WHELAN, DAVID;  
FERRELL, BARTON G.;  
BRUMLEY, ROBERT W.;  
MARTENS, CHRISTOPHER J. y  
HADDAD, ANNE T.**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 434 252 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

Calibración de frecuencia de reloj local usando satélites de órbita terrestre baja (Leo)

5 **Campo de la técnica**

La presente divulgación se refiere, en general, a sistemas por satélite y, de forma más particular, a la calibración de frecuencia usando sistemas por satélite.

10 **Antecedentes**

Muchos tipos de dispositivos electrónicos de mano - tal como teléfonos celulares, asistentes personales digitales (PDA, *personal digital assistant*), receptores de Sistema Global de Determinación de posición (GPS, *Global Positioning System*), u otros receptores radioeléctricos - pueden usarse para proporcionar un número de servicios basados en la ubicación. Por ejemplo, una persona de compras en un centro comercial puede ser capaz de recibir información acerca de, e indicaciones para llegar a, tiendas cercanas a ella que tengan una rebaja sobre un artículo particular que la compradora esté buscando, en función del dispositivo, por ejemplo, un teléfono celular, "conociendo" su ubicación actual en el interior del centro comercial. O esta puede ser capaz de ir de tiendas con otras personas amigas que puedan realizar un seguimiento mutuo de las ubicaciones de cada una de las otras, o puede existir cualquier cantidad de innumerables posibilidades diferentes, basadas en que los dispositivos sean capaces de ubicar de forma precisa sus propias posiciones, dicho de otra forma, de navegar de forma precisa.

Para usar el ejemplo del teléfono celular, la provisión de servicios basados en la ubicación puede depender de que el teléfono celular tenga la capacidad de hacer uso de señales de navegación y de sincronismo provistas por diversos sistemas de navegación por satélite existentes, tal como GPS. En muchas situaciones en las que las señales de satélite pueden estar obstruidas, no obstante, estos sistemas por satélite habitualmente no proporcionan un rendimiento de sistema lo bastante satisfactorio, por ejemplo, potencia de señal, para posibilitar unos servicios basados en la ubicación fiables. Por ejemplo, las señales de satélite de navegación pueden adolecer de una atenuación extrema en el interior de edificios, tal como en el ejemplo del centro comercial que se ha dado en lo que antecede, y otros entornos de alto bloqueo, por ejemplo, ubicaciones rodeadas por estructuras de edificios. Además, las señales de satélite de navegación pueden estar sometidas a otros efectos, tal como desvanecimiento por lluvia; distorsión por trayectos múltiples, por ejemplo, en torno a edificios altos; interferencias deliberadas, por ejemplo, en contextos militares; y atenuación a través de vegetación densa.

Algunos sistemas de servicios basados en la ubicación y sistemas de navegación han intentado abordar las deficiencias de navegación en interiores mediante el uso de diversos enfoques, por ejemplo, sistemas de navegación inercial, balizas especializadas, y sistemas de GPS sumamente sensibles. Los sistemas de navegación inercial, no obstante, presentan deriva y son costosos. Las balizas requieren unos activos fijos especializados que son costosos y que no están normalizados, teniendo de este modo solo una utilidad especializada. Los sensibles sistemas GPS no funcionan, en general, de acuerdo con las expectativas del usuario debido a su continuada incapacidad para superar de manera fiable la debilidad de las señales de GPS en entornos en interiores. Otros enfoques de navegación basados, por ejemplo, en señales de teléfono celular o de televisión carecen, habitualmente, de información de navegación vertical.

Como resultado, existe una necesidad de mejorar la sensibilidad de la recepción de las señales de navegación, por ejemplo las señales de GPS, para los dispositivos de mano, tal como teléfonos celulares, PDA, navegadores por GPS, u otros receptores portátiles radioeléctricos de tal modo que los servicios basados en la ubicación y la navegación en interiores puedan proporcionarse de manera fiable. Además, existe una necesidad de proporcionar tal sensibilidad de recepción de señales de navegación dentro de las ajustadas restricciones (por ejemplo, requisitos de volumen, de peso y de disipación de potencia limitados) de los dispositivos de mano.

La patente de los Estados Unidos 5.365.450 divulga un sistema global de determinación de posición (GPS) en el que una pluralidad de satélites en órbita terrestre transmiten información de posición a estaciones radioeléctricas móviles en tierra, con un canal digital de radiodifusión de datos de posición de satélite de fuente separada y uno o más canales de comunicación separados de servicio de marcación para ayudar a que la estación radioeléctrica móvil acceda a información de posición a partir de los satélites.

La patente de los Estados Unidos 6.178.195 B1 divulga un método y aparato para detectar y realizar un seguimiento de señales de espectro ensanchado, tal como las señales del Sistema Global de Determinación de posición (GPS), incluyendo obtener en primer lugar información de referencia de frecuencia y de sincronismo de precisión a partir de una señal secundaria de potencia relativamente alta, tal como la que emana de un satélite de un sistema de comunicaciones por satélite de órbita terrestre baja (LEO, *low earth orbit*), y usar entonces tal información de referencia para realizar una detección de banda estrecha de la señal de espectro ensanchado de GPS.

65

**Sumario**

En un primer aspecto de la invención, se proporciona un método tal como se define en la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas. En un segundo aspecto, se proporciona una unidad de recepción tal como se define en la reivindicación 11.

De acuerdo con una realización, un método de transferencia de estabilidad de frecuencia desde un satélite hasta un dispositivo incluye recibir una señal a partir del satélite; determinar una fase de código a partir de la señal de satélite; recibir una información de ayuda; y calibrar una frecuencia de un reloj local del dispositivo usando la fase de código y la información de ayuda para sincronizar de manera sustancial la frecuencia de reloj local con una frecuencia de reloj de satélite.

De acuerdo con otra realización, una unidad de recepción incluye una antena adaptada para recibir una señal a partir de un satélite; un reloj local; un convertidor de analógico a digital (A / D) adaptado para muestrear datos a partir de un mensaje de estructura de transferencia de señales horarias en la señal de satélite; una memoria adaptada para almacenar información de ayuda; y un ordenador adaptado para determinar una fase de código usando los datos muestreados y determinar una corrección de frecuencia para el reloj local usando la fase de código y la información de ayuda para sincronizar de manera sustancial la frecuencia de reloj local con una frecuencia de reloj del satélite.

De acuerdo con otra realización, un método de recepción de una señal de Sistema Global de Determinación de posición (GPS) en entornos atenuados incluye la detección de una estructura de tramas de una señal de satélite de órbita terrestre baja (LEO); alinear un reloj local con la estructura de tramas; generar una pluralidad de estimadas de tiempo separadas de forma respectiva de acuerdo con la estructura de tramas; proporcionar unas respectivas de las estimadas de tiempo a unos respectivos de una pluralidad de correladores paralelos; alinear en el tiempo los correladores paralelos usando las estimadas de tiempo; y usar una estimada de tiempo a partir de los correladores alineados en el tiempo para realizar un seguimiento automático de la señal de GPS.

El alcance de la invención se define por las reivindicaciones, que se incorporan a esta sección por referencia. A los expertos en la materia se les proporcionará una comprensión más completa de las realizaciones de la presente invención, así como una realización de ventajas adicionales de la misma, al considerar la siguiente descripción detallada de una o más realizaciones. Se hará referencia a las hojas adjuntas de dibujos, que en primer lugar se describirán con brevedad.

**Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 es un diagrama pictórico que ilustra una visión de conjunto de un sistema de navegación que es capaz de funcionar en entornos obstruidos o con interferencias deliberadas de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 2 es un diagrama de bloques de una unidad de recepción de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 3 es un diagrama de señal de sincronismo que ilustra una señal de estructura de transferencia de señales horarias de un satélite de órbita terrestre baja (LEO) de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método de obtención de una transferencia de frecuencia precisa a partir de un satélite de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un método para determinar la fase de código de una señal de satélite recibida de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método de realización de una transferencia de frecuencia en entornos atenuados o con interferencias deliberadas de acuerdo con una realización de la presente invención.

Las realizaciones y sus ventajas se entienden mejor consultando la descripción detallada que sigue. Debería apreciarse que se usan números de referencia similares para identificar elementos similares que se ilustran en una o más de las figuras.

**Descripción detallada**

En general, las realizaciones de la presente invención posibilitan que los dispositivos de mano pequeños, tal como teléfonos celulares, transfieran la estabilidad de frecuencia de los generadores de frecuencia de satélite a un dispositivo de mano incluso en entornos - tal como en interiores - en los que una señal de satélite de navegación pueda estar tan atenuada que el dispositivo no pueda desmodular la misma. Por lo tanto, las realizaciones pueden

conferir la capacidad de calibrar la frecuencia de oscilador local de un dispositivo de usuario de mano usando una señal de satélite de comunicaciones, mejorando de ese modo la sensibilidad del dispositivo portátil, por ejemplo, un teléfono celular, un receptor de Sistema Global de Determinación de posición (GPS), o cualquier otro tipo de receptor radioeléctrico y posibilitando la detección de señales de satélites de navegación, por ejemplo, GPS, en entornos obstruidos o con interferencias deliberadas.

De acuerdo con una realización, un sistema que emplee satélites, por ejemplo, satélites de órbita terrestre baja (LEO), puede usarse para aumentar las unidades de recepción, por ejemplo, teléfonos celulares u otros dispositivos compactos, de tal modo que estos puedan proporcionar servicios basados en la ubicación incluso en entornos muy atenuados, con interferencias deliberadas u obstruidos. Los sistemas de navegación de acuerdo con una o más realizaciones pueden funcionar, a pesar de las señales fundamentalmente débiles recibidas de las fuentes existentes, tal como los satélites de GPS, mediante la mejora de la sensibilidad de las unidades de recepción.

Las señales a partir de determinados satélites, por ejemplo, los satélites de comunicaciones, son en general más potentes que las señales a partir de otros satélites, por ejemplo, los satélites de los sistemas de determinación de posición, tal como GPS. Por ejemplo, un sistema de satélite cuyas señales son más potentes que las señales de GPS es la constelación de satélites de LEO Iridium. En una realización, los satélites Iridium radiodifunden una señal de sincronismo absoluto única (a la que también se hace referencia como "señal de estructura de transferencia de señales horarias") en forma de código pseudoaleatorio (al que también se hace referencia como código de números pseudoaleatorios (PN, *pseudorandom number*)) que se repite de forma periódica. La estructura de este código permite que un dispositivo de usuario realice un seguimiento automático del mismo incluso en entornos muy atenuados u obstruidos - por ejemplo, en interiores o donde la señal de GPS presenta, de forma potencial, interferencias deliberadas por una señal rival en un escenario comercial, o donde la señal de GPS presenta interferencias deliberadas por un enemigo en, por ejemplo, un escenario militar - en los que la unidad de recepción es capaz de recibir la señal Iridium pero no es capaz de recibir la señal de GPS debido a la potencia inferior de la señal de GPS y la atenuación del entorno. Para los satélites Iridium, la estructura del código pseudoaleatorio repetible permite que la unidad de recepción realice un seguimiento automático del código pseudoaleatorio incluso en entornos muy atenuados, por ejemplo, una atenuación de hasta - 45 dB en la antena, aproximadamente - 15 dB más allá del punto en el que la mayor parte de los receptores de GPS son incapaces de recibir. Mediante la combinación de la fase de código con información adicional (por ejemplo, información de órbita, tiempo aproximado, y ubicación aproximada) provista por una red, tal como una red celular, una red de Internet, o WiFi, la fase de código puede convertirse en tiempo absoluto con una precisión de aproximadamente 1 a 10 microsegundos. Una vez que se ha conseguido un sincronismo preciso, la unidad de recepción puede usar esta información para alinear los correladores de GPS que pueden recibir (es decir, detectar) entonces con éxito la señal de GPS.

Una vez que la señal se ha detectado, la unidad de recepción, por ejemplo, un teléfono celular, puede usar mediciones de efecto Doppler de los satélites Iridium en conjunción con una información de frecuencia de radiodifusión conocida y una información de órbita precisa para estimar la tasa de cambio en la frecuencia. Debido a que la unidad de recepción tiene información de determinación de la distancia y de órbita, los efectos Doppler pueden eliminarse. La señal de frecuencia restante es, en principio, la frecuencia de portadora del satélite. El sintetizador de portadora de un satélite es, en general, de una calidad mucho más elevada que la que es posible proporcionar en equipo portátil tal como un teléfono celular, es decir, la unidad de recepción. Por lo tanto, de acuerdo con determinadas realizaciones que se describen en el presente documento, es posible transferir la estabilidad de frecuencia de la frecuencia de portadora de satélite a un reloj local de la unidad de recepción. Usando Iridium, un sistema de transferencia de frecuencia que se ha llevado a la práctica ha sido capaz de lograr una transferencia de frecuencia con unos resultados de estabilidad de frecuencia de aproximadamente 40 Hz (Hercios) en 1,6 GHz (Gigahercios) o aproximadamente 0,025 partes por millón (ppm).

De acuerdo con una o más realizaciones, la frecuencia estable derivada de las señales de satélite es lo bastante precisa para facilitar el alineamiento de los correladores de sistema en una unidad de recepción para concentrarse en unos periodos de tiempo muy estrechos. Cuando se usan múltiples correladores de sistema sin el beneficio de una referencia de tiempo precisa en entornos obstruidos o con interferencias deliberadas, el proceso de correlación se ve lastrado en cuanto al cálculo por la búsqueda a lo largo de grandes periodos de tiempo y la unidad de recepción puede no ser capaz de funcionar bajo tales condiciones. No obstante, con la transferencia de frecuencia estable (por ejemplo, con una precisión de aproximadamente 0,025 ppm) una unidad de recepción (o dispositivo de usuario) puede, de mejor modo, recibir y realizar un seguimiento de las señales de navegación a partir de un sistema de determinación de posición tal como GPS mediante el alineamiento de los correladores de sistema de la unidad de recepción incluso en entornos sumamente atenuados o con interferencias deliberadas. Por lo tanto, las realizaciones de la presente invención pueden ayudar al sistema GPS, o a cualquier otro de determinación de la posición por satélite en entornos muy atenuados o con interferencias deliberadas.

La figura 1 ilustra un sistema de navegación que es capaz de funcionar en entornos obstruidos o con interferencias deliberadas, de acuerdo con una realización. Tal como se muestra en la figura 1, el sistema de navegación puede incluir una unidad de recepción (por ejemplo, un teléfono celular), que está configurada para recibir la señal a partir del satélite de sistema de navegación. La señal puede incluir una señal de Sistema Global de Determinación de posición (por ejemplo, una señal de GPS protegida y / o no protegida) a partir

de satélites de navegación convencionales. Asimismo, la unidad de recepción 102 puede estar configurada para recibir la señal 105 a partir del satélite 104, el cual puede ser un satélite de LEO. La señal 105 recibida a partir del satélite de LEO 104 puede comprender una señal de tiempo de precisión que está codificada en el satélite 104. La unidad de recepción 102 también puede estar configurada para recibir la señal 107 a partir de la red 108. La red 108, por ejemplo, puede incluir cualquier combinación de una red celular, una red de Internet, una red WiFi u otras redes. La señal 107 recibida a través de la red 108 puede incluir una información de ayuda adicional, por ejemplo, una información de órbita asociada con el satélite 104, una ubicación aproximada de la unidad de recepción 102, una distancia aproximada entre el satélite 104 y la unidad de recepción 102 (por ejemplo, dentro de aproximadamente 3000 metros (m)), una información de tiempo aproximado (por ejemplo, tiempo aproximado dentro de aproximadamente 5 segundos de UTC), una información de desviación de sincronismo asociada con el satélite 104 (por ejemplo, desplazamientos de reloj de satélite) y / u otra información.

De acuerdo con una o más realizaciones, el satélite de sistema de navegación 106 puede ser parte de un sistema de comunicación y de navegación integrado de alto rendimiento tal como un sistema iGPS (Sistema Global de Determinación de posición en interiores). De acuerdo con otra realización, el satélite 106 puede ser parte de cualquier otro sistema por satélite de determinación de posición, incluyendo por ejemplo, el Sistema Global de Navegación en Órbita (Glonass, *Global Orbiting Navigation System*).

En un ejemplo, el satélite de LEO 104 puede ser un satélite de comunicaciones, que puede implementarse mediante un satélite de un sistema de comunicación existente (por ejemplo, sistemas por satélite Iridium o Globalstar). En un ejemplo en el que se usa un satélite Iridium para implementar el satélite 104, los ordenadores de vuelo del satélite Iridium pueden volver a programarse con un soporte lógico apropiado para facilitar la manipulación de las señales de navegación. En otro ejemplo en el que se usa un satélite de comunicaciones Globalstar para implementar el satélite 104, la arquitectura de tubo acodado de los satélites permite que el equipo terrestre se potencie para soportar una diversidad de nuevos formatos de señal. En realizaciones en las que el satélite 104 está implementado como un satélite de comunicaciones LEO, el satélite de comunicaciones LEO puede estar configurado para soportar señales de comunicación así como señales de navegación. A este respecto, tales señales de navegación pueden implementarse para tener en cuenta diversos factores tales como el rechazo por trayectos múltiples, la precisión de la determinación de la distancia, la correlación cruzada, la resistencia a interferencias deliberadas y a interferencias, y la seguridad, incluyendo el acceso selectivo, anti-falsificaciones, y baja probabilidad de interceptación.

La unidad de recepción 102 puede implementarse con un soporte físico y / o soporte lógico apropiado para recibir y decodificar señales a partir de una diversidad de fuentes de determinación de la distancia espaciales y terrestres (es decir, los satélites 104, 106, y la red 108) para realizar la navegación. Tales señales pueden incluir, por ejemplo, radiodifusiones de satélite a partir de satélites de GPS (o cualquier otro sistema de determinación de posición (por ejemplo, Glonass), LEO (por ejemplo, sistemas por satélite Iridium o Globalstar), Sistema de Aumento de Área Amplia (WAAS, *Wide Area Augmentation System*), Sistema Europeo de Navegación por Complemento Geoestacionario (EGNOS, *European Geostationary Navigation Overlay Service*), Sistema Multifuncional de Aumento por Satélite (MSAS, *Multi-functional Satellite Augmentation System*), Galileo, Sistema por Satélite Quasi-Zenith (QZSS, *Quasi-Zenith Satellite System*) y / o Mobile Satellite Ventures (MSV). Tales señales también pueden incluir radiodifusiones terrestres a partir de la red 108, que puede incluir redes celulares, redes de TV, redes de Internet, WiFi, WiMAX, nodos de la Integración de Infraestructuras para Vehículos (VII, *Vehicle Infrastructure Integration*) Nacional, y otras fuentes apropiadas. La unidad de recepción 102 puede implementarse de acuerdo con diversas realizaciones que se exponen en la patente de los Estados Unidos con N° 7.372.400, expedida el 13 de mayo de 2008, que se incorpora en el presente documento por referencia.

La unidad de recepción 102 puede estar configurada además para recibir y realizar la navegación usando señales de radiodifusión de otras fuentes de determinación de la distancia espaciales y terrestres, según pueda desearse en realizaciones particulares. Además, la unidad de recepción 102 puede estar configurada con una unidad de medición inercial (IMU, *inertial measurement unit*) implementada, por ejemplo, como un dispositivo de sistema micro-electromecánico (MEMS, *micro-electromechanical system*) para proporcionar protección frente a interferencias deliberadas. La unidad de recepción 102 también puede implementarse en cualquier configuración deseada, según sea apropiada para aplicaciones particulares. Por ejemplo, en diversas realizaciones, la unidad de recepción 102 puede implementarse como un teléfono celular (teléfono móvil), un receptor de iGPS, un dispositivo de navegación de mano, un dispositivo de navegación basado en vehículo, un dispositivo de navegación basado en aeronave, u otro tipo de dispositivo. En una realización, la posición de la unidad de recepción 102 puede corresponderse con la posición de un usuario.

La figura 2 muestra un ejemplo de un diagrama de bloques de sistema para la unidad de recepción 102 de acuerdo con una realización. Tal como puede verse en la figura 2, la unidad de recepción 102 puede incluir una antena de múltiples frecuencias 202 adaptada para recibir señales de satélite 105, 107 y / o 109 que se han descrito en lo que antecede en el presente documento. La antena 202 puede acoplarse con uno o más filtros de preselección 203, que pueden alimentar un amplificador 204 que está conectado con un convertidor de analógico a digital (A / D) 205. La tasa de muestreo del convertidor de A / D 205 puede determinarse de forma apropiada de tal modo que la unidad de recepción 102 puede realizar una conversión descendente a banda base de todas las bandas de interés. El sintetizador 207 puede recibir una señal 217 a partir de un oscilador de cristal controlado por temperatura (TCXO,

5 *temperature controlled crystal oscillator*) 208. El sintetizador 207 puede acoplarse con el convertidor de A / D 205, la unidad de medición inercial 210 y el ordenador 206, que puede comprender una memoria y un procesador. El ordenador 206 puede recibir unas mediciones sin procesar 211 a partir de la unidad de medición inercial 210 así como entradas a partir del sintetizador 207 y el convertidor de A / D 205 para producir una salida 209, que puede incluir la posición, la altitud y el tiempo.

10 Los correladores de sistema pueden implementarse mediante el procesador del ordenador 206. Por ejemplo, en ubicaciones en las que la unidad de recepción 102 está obstruida o presenta interferencias deliberadas y no puede recibir una señal detectable 109 (por ejemplo, una señal de GPS) a partir del satélite de sistema de navegación 106, la unidad de recepción 102 puede enviar un mensaje a la red 108 solicitando ayuda. La red 108 puede determinar entonces una información de ayuda adicional que proporcionar a la unidad de recepción 102. La unidad de recepción 102 puede usar entonces la señal 107, que comprende una información de ayuda adicional obtenida a través de la red 108, en combinación con la señal 105, que comprende una señal de estructura de transferencia de señales horarias a partir del satélite de LEO 104, para alinear sus correladores de sistema. El alineamiento de los correladores de sistema puede habilitar a la unidad de recepción 102 para detectar la señal de sistema de navegación 109 de tal modo que la recepción a partir del satélite de sistema de navegación 106 se mejore lo bastante como para que la unidad de recepción 102 sea capaz de realizar la navegación incluso en entornos obstruidos o con interferencias deliberadas.

20 La figura 3 ilustra una señal de estructura de transferencia de señales horarias de un satélite de LEO, por ejemplo, el satélite 104, de acuerdo con una realización. La señal de estructura de transferencia de señales horarias de la figura 3 puede implementarse para su uso en el sistema de navegación 100 de la figura 1, por ejemplo, o esta también puede usarse, por ejemplo, en sincronización de red, o en otros sistemas o aplicaciones. En el ejemplo que se ilustra por la figura 3, la señal 300 puede estar incluida en la señal 105 a partir del satélite 104 en un sistema por satélite Iridium.

30 Tal como se muestra en la figura 3, la señal 300 puede comprender unos ciclos de almacenamiento en memoria intermedia de 10 kilobytes (K) 302 sucesivos que se radiodifunden de forma repetida por cada satélite 104 en un sistema de satélite. Cada ciclo de almacenamiento en memoria intermedia de 10 K 302 puede incluir, por ejemplo, 9984 bytes o, de manera equivalente, 79872 bits. Por lo tanto, cada ciclo de almacenamiento en memoria intermedia de 10 K 302 puede incluir 256 tramas de mensaje 304, teniendo cada una 312 bits. Cada satélite 104 puede transmitir 1875 ciclos de almacenamiento en memoria intermedia por día, durando cada uno aproximadamente 46,08 segundos.

35 Las tramas de mensaje 304 pueden proporcionarse a unos intervalos de 0,18 segundos. Los 312 bits de la trama de mensaje 304 pueden incluir, por ejemplo, 312 bits de transferencia de señales horarias, 312 bits de cabida útil seleccionados para otras tareas de sistema, y / o 312 bits incluyendo los bits de transferencia de señales horarias y los bits de cabida útil. Los bits de mensaje de estructura de transferencia de señales horarias proporcionan uno de 256 mensajes de estructura de transferencia de señales horarias posibles y pueden durar aproximadamente 8,28 ms de la trama de mensaje de 180 ms 304. Una ráfaga de mensajes de estructura de transferencia de señales horarias (es decir, los 8,28 ms de datos) pueden estar desplazados una "ranura de tiempo" especificada dentro de la trama de mensaje 304. Los bits de cabida útil proporcionan unos datos de comunicación (por ejemplo, llamadas de teléfono) que tienen lugar con una actualización de voz cada 90 milisegundos. Los bits adicionales pueden estar definidos previamente por el satélite 104 para su uso en diversos otros fines, según pueda desearse en aplicaciones particulares. Todos los bits de la trama de mensaje 304 pueden usarse para detectar el borde de la trama de mensaje 304.

50 Cada mensaje de estructura de transferencia de señales horarias puede tener su propio código pseudoaleatorio único (u otro código único) de tal modo que cada mensaje de estructura de transferencia de señales horarias se distingue de los otros. El código único puede ser, por ejemplo, un código pseudoaleatorio, un código ortogonal u otro código binario con la propiedad de que la correlación cruzada entre distintos miembros del conjunto de códigos sea relativamente baja (por ejemplo, menor de aproximadamente 0,5) y la autocorrelación para cada miembro individual del conjunto de códigos sea relativamente alta (por ejemplo, mayor de aproximadamente 0,5).

55 Por ejemplo, si existen 256 o más mensajes de estructura de transferencia de señales horarias distintos, cada una de las 256 tramas de mensaje 304 en un ciclo de almacenamiento en memoria intermedia 302 puede tener su propio mensaje de estructura de transferencia de señales horarias único dentro del ciclo de almacenamiento en memoria intermedia 302. En una realización, un satélite Iridium 104 puede radiodifundir un código pseudoaleatorio que se repite aproximadamente cada 46,08 segundos. En otra realización, un código de sincronismo aproximado puede estar seguido por un código pseudoaleatorio. El código de sincronismo aproximado puede comprender un segmento que se repite de la frecuencia de portadora pura, que puede detectarse con facilidad por la unidad de recepción 102 para su uso con diversas operaciones, tal como la determinación del desplazamiento por efecto Doppler. El código pseudoaleatorio puede usarse entonces para determinar el tiempo absoluto a alta precisión, pero puede ser más difícil de detectar para la unidad de recepción 102 que el código de sincronismo aproximado. A este respecto, el código de sincronismo aproximado puede usarse por la unidad de recepción 102 para determinar de manera eficiente las veces aproximadas en las que se espera la recepción del código pseudoaleatorio.

El tiempo preciso en el que llega un mensaje de estructura de transferencia de señales horarias a la unidad de recepción 102 puede calcularse (por ejemplo, por el ordenador 206) usando la ecuación (1), que se muestra en la figura 3 y en el presente caso:

$$5 \quad \text{Tiempo} = \text{tiempo de inicio} + (N - 1) * 46,08 \text{ s} + (n - 1) * 0,18 \text{ s} + \text{desplazamiento de ranura de tiempo} + (\text{distancia desde el satélite hasta el usuario}) / c \quad (1)$$

10 En la ecuación (1), el “Tiempo” es el tiempo preciso de la llegada de un mensaje de estructura de transferencia de señales horarias que ha de calcularse, y el “tiempo de inicio” representa un tiempo de inicio conocido de la radiodifusión del satélite 104 de los ciclos de almacenamiento en memoria intermedia 302. El valor de tiempo de inicio que se representa en la ecuación (1) puede ser, por ejemplo, 00:00 o algún otro tiempo de reloj en una fecha definida y puede entregarse a la unidad de recepción 102 a través de un enlace de datos o almacenarse de otro modo en una memoria de la unidad de recepción 102, tal como la memoria del ordenador 206. También en la ecuación (1),  $c$  es la velocidad de la luz.

15 En la ecuación (1), “ $N$ ”, que puede representar el ciclo de almacenamiento en memoria intermedia de 10 K 302 actual, es el número de veces que los ciclos de almacenamiento en memoria intermedia 302 se han repetido desde el tiempo de inicio. En la ecuación (1), por ejemplo, se supone que 256 mensajes únicos de cada ciclo de almacenamiento en memoria intermedia se repiten cada 46,08 segundos. En una realización, un reloj local de la  
20 unidad de recepción 102 puede tener bastante precisión - por ejemplo, si la unidad de recepción 102 tiene un reloj sincronizado con la red 108 - para determinar el valor de  $N$ .

25 En la ecuación (1), “ $n$ ” (al que también se hace referencia como la “fase de código”) representa el número ordinal (en este ejemplo, del primero al 256º) de la trama de mensaje 304 (durando cada trama de mensaje 0,18 segundos) cuyo mensaje de estructura de transferencia de señales horarias (por ejemplo, en una ráfaga de 8,28 ms) se ha identificado a través de su código pseudoaleatorio único. En el ejemplo de la ecuación (1), el satélite de LEO 104 radiodifunde un mensaje de estructura de transferencia de señales horarias cada 0,18 segundos y cada mensaje de estructura de transferencia de señales horarias comprende uno de 256 códigos pseudoaleatorios únicos. Después de un ciclo de almacenamiento en memoria intermedia 302 de 256 tramas de mensaje 304, el código pseudoaleatorio se repite desde el principio. Por lo tanto, en este ejemplo, “ $n$ ” es un número entre 1 y 256. Por lo tanto, si la unidad de recepción 102 puede identificar qué mensaje de estructura de transferencia de señales horarias se recibe, entonces la fase de código “ $n$ ” puede determinarse. Por ejemplo, la unidad de recepción 102 puede realizar una correlación para identificar qué mensaje de estructura de transferencia de señales horarias se recibió en presencia de ruido.

35 En la ecuación (1), el “desplazamiento de ranura de tiempo” tiene en cuenta la cantidad de tiempo dentro de las tramas de mensaje de 0,18 segundos de longitud 304 antes de que tenga lugar un mensaje de estructura de transferencia de señales horarias (por ejemplo, una ráfaga de 8,28 ms). Puede haber varias ranuras de tiempo (por ejemplo, las ráfagas de 8,28 ms pueden acomodarse por tantas como aproximadamente 21 ranuras de tiempo en una trama de 0,18 s) asignadas dentro de cada trama de mensaje. El uso de las ranuras de tiempo puede permitir, por ejemplo, la multiplexación por división en el tiempo o acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA, *time division multiple access*) de la frecuencia de radiodifusión del satélite. Las ranuras de tiempo pueden proporcionarse mediante el satélite 104; las ranuras de tiempo pueden medirse por una estación de referencia; y las ranuras de tiempo pueden ser fijas o predecibles como parte del servicio de satélite. El “desplazamiento de ranura de tiempo”  
40 también puede usarse para compensar cualquier desviación de sincronismo en el sistema 100; por ejemplo, este puede compensar los errores medidos en el reloj del satélite 104 o los cambios de ranura de tiempo conocidos en la secuencia de transmisión. La unidad de recepción 102 puede saber qué ranura de tiempo usar a través de la red 108.

50 En la ecuación (1), la “distancia desde el satélite hasta el usuario” representa la distancia entre el satélite 104 y la unidad de recepción 102. Esta distancia puede calcularse usando un modelo de órbita para el satélite 104, un conocimiento adecuadamente preciso de la posición de la unidad de recepción 102, y un tiempo aproximado (como una entrada a un modelo de órbita de satélite). En una realización, con el fin de obtener una precisión dentro de aproximadamente 10 microsegundos en el cálculo del “Tiempo” en la ecuación (1), la estimada de distancia puede ser precisa hasta aproximadamente 3000 m, lo que puede equipararse a aproximadamente 20.000 m de precisión horizontal sobre el suelo. Este nivel de determinación de posición puede conseguirse con facilidad, por ejemplo, a través de técnicas de red celular, usando la red celular 108. Después de que la distancia desde el satélite 104 hasta la unidad de recepción 102 se haya determinado, esta se divide entonces por la velocidad de la luz (a la que también se hace referencia como “ $c$ ”) para proporcionar una corrección de tiempo en la ecuación (1) para el tiempo que se requiere para que la señal 105 se propague desde el satélite 104 hasta la unidad de recepción 102.  
60

65 La información de ayuda adicional necesaria, por ejemplo, el modelo de órbita, el tiempo aproximado y la ubicación aproximada de la unidad de recepción 102, puede entregarse a través de un enlace de datos, por ejemplo, a través de la red 108. Adicionalmente, pueden emplearse métodos de cobertura de haz simples para determinar la posición de la unidad de recepción 102 sobre la base del conocimiento de en qué haz de satélite de LEO (por ejemplo, a partir del satélite 104) se encuentra ubicado el usuario en el momento actual y la historia temporal de haz reciente.

También pueden emplearse de forma adecuada numerosos otros métodos de determinación aproximada de la posición de la unidad de recepción 102. En una realización, la información de órbita de satélite (efemérides) para el satélite 104 puede incluir información tal como la ubicación del satélite 104 dentro de una constelación de satélites en diversos puntos en el tiempo y otra información que pueda usarse por la unidad de recepción 102 para obtener de forma precisa valores de reloj a partir del satélite 104. En la presente realización, la red 108 puede determinar con facilidad la ubicación de la unidad de recepción 102 (o el usuario) a menos de un kilómetro. La distancia desde el satélite hasta el usuario – que también se denomina alcance – puede ser precisa hasta aproximadamente 3 kilómetros. El tiempo aproximado de la unidad de recepción 102 puede usarse con la información de órbita para determinar la ubicación y, por lo tanto, la distancia del satélite 104.

La figura 4 ilustra un método de transferencia de estabilidad de frecuencia desde un satélite – tal como el satélite 104 – hasta un dispositivo pequeño, portátil, de mano – tal como la unidad de recepción 102 – de acuerdo con una realización. Por ejemplo, una vez que se ha determinado el “Tiempo” de un mensaje de estructura de transferencia de señales horarias, por ejemplo, usando la ecuación (1), puede realizarse un seguimiento automático de la señal de transferencia de señales horarias por la unidad de recepción 102. Entonces, una vez que se aplica una corrección de efecto Doppler para el movimiento relativo entre el satélite 104 y la unidad de recepción 102 a la señal de transferencia de señales horarias, la unidad de recepción 102 puede generar una señal de reloj local cuya estabilidad de frecuencia se aproxima de forma efectiva a la precisión de la del satélite 104.

En la etapa 402, la unidad de recepción 102 recibe la señal 105, que puede comprender una señal de estructura de transferencia de señales horarias 300 tal como se muestra en la figura 3, a partir del satélite 104. Tal como se ha descrito en lo que antecede, la señal de estructura de transferencia de señales horarias 300 puede comprender un código pseudoaleatorio y / o un código de sincronismo aproximado seguido por un código pseudoaleatorio.

En la etapa 404, la fase de código, o “n” de la ecuación (1), de la señal de estructura de transferencia de señales horarias 300 puede determinarse por la unidad de recepción 102 usando un método que se describe en lo sucesivo con referencia a la figura 5, por ejemplo. Con brevedad, la unidad de recepción 102 puede realizar una correlación para identificar qué mensaje de estructura de transferencia de señales horarias se recibió incluso en presencia de ruido. Por ejemplo, si se encuentra presente ruido, pueden recibirse bits aleatorios, a continuación el mensaje de estructura de transferencia de señales horarias, a continuación bits aleatorios de nuevo. Por lo tanto, el mensaje de estructura de transferencia de señales horarias puede verse corrompido por ruido y puede incluir valores de bits corrompidos. Suponiendo que se envía un mensaje largo, por ejemplo, un mensaje de 1000 bits, los bits pueden compararse con los bits recibidos. Si, por ejemplo 980 bits son correctos, entonces los siguientes 1000 bits se comparan y así sucesivamente hasta que se alcanza un pico. Un pico se alcanza cuando el número de bits correctos es mayor que el número promedio. En el ejemplo de envío de un mensaje de 1000 bits, si el pico es, por ejemplo, 600, entonces se determina que ese es el mensaje correcto. Por lo tanto, el mensaje se recibe y se determina de forma estadística en presencia de ruido en un instante particular.

En la etapa 406, la unidad de recepción 102 puede recibir una información de ayuda adicional tal como el tiempo inicial de la señal de estructura de transferencia de señales horarias (que se representa por el “tiempo de inicio” en la ecuación (1)), la frecuencia de portadora esperada de las transmisiones de señal de estructura de transferencia de señales horarias, un modelo de las órbitas de satélite de LEO, y la información de corrección de desviación de tiempo que se ha descrito en lo que antecede en conexión con la figura 3 y la ecuación (1). La unidad de recepción 102 puede recibir la información de ayuda adicional a través de la red 108 por ejemplo, o a partir del satélite 104 en un caso en el que, por ejemplo, la unidad de recepción 102 está entrando en, y saliendo de, unos entornos atenuados. En general, la tasa de actualización de la información de ayuda adicional puede ser lenta y podría, por ejemplo, almacenarse durante 24 horas o más tiempo. Adicionalmente, puede proporcionarse un tiempo aproximado (por ejemplo, de una precisión dentro de varios segundos) a través de la red 108 o por un reloj local de la unidad de recepción 102.

En la etapa 408, la unidad de recepción 102 tiene bastante información para determinar un tiempo absoluto preciso, por ejemplo, mediante el cálculo del “Tiempo” de acuerdo con la ecuación (1), que puede concordar con el tiempo de reloj interno mantenido por el satélite de LEO 104 (por ejemplo, un satélite Iridium). Por ejemplo, cada satélite Iridium mantiene un reloj interno que se supervisa y se mantiene con una precisión dentro de 10 microsegundos con respecto al tiempo universal coordinado (UTC, Fr. *Temps Universel Coordonné*, que también se conoce como tiempo del meridiano de Greenwich u hora Zulú) sin deriva de reloj. Por lo tanto, la señal de estructura de transferencia de señales horarias radiodifundidas por los satélites Iridium puede vincularse de forma precisa con el tiempo UTC dentro de aproximadamente 10 microsegundos. Por lo tanto, mediante la determinación del tiempo de reloj interno de los satélites Iridium (por ejemplo, mediante el cálculo del “Tiempo” a partir de la ecuación (1)), puede obtenerse una información de tiempo absoluto preciso hasta dentro de aproximadamente 10 microsegundos en la unidad de recepción 102.

En la etapa 410, la unidad de recepción 102 puede compensar el desplazamiento por efecto Doppler de la señal 105, es decir, un cambio en la frecuencia de la señal 105 producido por el movimiento relativo entre el satélite 104 y la unidad de recepción 102. Por ejemplo, usando los valores de “Tiempo” calculados en la etapa 408 y compensando el desplazamiento por efecto Doppler, la unidad de recepción 102 puede sintetizar la frecuencia con

una estabilidad de aproximadamente 0,025 ppm. El desplazamiento de frecuencia por efecto Doppler puede calcularse usando la siguiente ecuación (2):

$$\text{Desplazamiento de frecuencia por efecto Doppler} = - (\text{velocidad de variación de distancia}) \times \text{frecuencia} / c \quad (2)$$

en la que “c” es la velocidad de la luz, la “frecuencia” es la frecuencia de la señal 105 en el satélite 104, y la “velocidad de variación de distancia” es el cambio en el alcance o la distancia entre las ubicaciones de la unidad de recepción 102 y el satélite 104 por unidad de tiempo o, de manera equivalente, la velocidad relativa entre el satélite y la unidad de recepción. La velocidad de variación de distancia puede calcularse por la unidad de recepción 102, por ejemplo, usando un modelo de las órbitas de satélite de LEO recibidas en la etapa 406 a través de la red 108 y la unidad de recepción 102 junto con la ubicación aproximada que también se recibe o se determina en la etapa 406.

Los datos de señal desmodulados que se corresponden con los valores pico de correlación o “Tiempo” pueden usarse por la unidad de recepción 102 para generar una frecuencia medida de la señal 105 a partir del satélite 104. En una realización a modo de ejemplo, una desviación de frecuencia,  $\Delta f$ , puede medirse examinando la fase de la señal de transferencia de señales horarias desmodulada 105. La fase de la señal de transferencia de señales horarias desmodulada 105 puede ser el ángulo entre las componentes “en fase” (**I**) y de “cuadratura” (**Q**) de la señal desmodulada 105. En este ejemplo, los bits que definen la fase de código (“n”) pueden definirse en grupos sucesivos de dos para intercalar la fase de código. Una correlación perfecta con respecto a una fase de código particular y una desmodulación perfecta de la señal de transferencia de señales horarias desmodulada 105 puede dar como resultado que las señales tanto **I** como **Q** sean idénticas debido a que las fases de código intercaladas son idénticas (es decir, el ángulo de fase es constante, lo que puede describirse diciendo que la pendiente del ángulo de fase es cero). Por otro lado, una desviación de frecuencia causada por un error en el oscilador local y / o la estimada de Doppler (es decir, una desmodulación imperfecta) da como resultado una pendiente distinta de cero en la respuesta de ángulo de fase para la desviación de frecuencia. La medición de la pendiente de la respuesta de ángulo de fase para la desviación de frecuencia puede proporcionar la desviación de frecuencia medida,  $\Delta f$ . Para garantizar una desmodulación precisa de la señal 105, la ecuación (2) puede usarse para tener en cuenta el desplazamiento de frecuencia por efecto Doppler que resulta del movimiento relativo entre el satélite 104 y la unidad de recepción 102. Si se aplica la corrección de efecto Doppler apropiada al proceso de desmodulación, cualquier desviación de frecuencia medida puede ser solo el resultado de una discordancia de frecuencia entre el oscilador de reloj local en la unidad de recepción 102 y el oscilador de reloj de precisión a bordo del satélite 104. Debido a que el oscilador de precisión a bordo del satélite 104 tiene una frecuencia conocida ( $f_{\text{conocida}}$ ), la verdadera frecuencia local ( $f_{\text{local}}$ ) puede encontrarse usando la ecuación (3):

$$f_{\text{local}} = f_{\text{conocida}} + \Delta f \quad (3)$$

Existe un número de métodos posibles para el alineamiento de la frecuencia o bien en soporte físico o bien en soporte lógico. Un método de soporte físico, por ejemplo, alinea la frecuencia mediante la generación de una tensión de control de oscilador que es proporcional al error de fase / frecuencia (por ejemplo,  $\Delta f$ ) medido por el proceso de desmodulación. Esta tensión puede actuar entonces como una señal de entrada de realimentación negativa para un oscilador controlado por tensión (VCO, *voltage controlled oscillator*), que puede estar incluido, por ejemplo, en la unidad 102. La frecuencia de salida del VCO puede volver a aplicarse entonces al proceso de desmodulación, dando como resultado un nuevo error  $\Delta f_{\text{nuevo}}$ . Este proceso de realimentación puede continuar hasta que el error de entrada  $\Delta f_{\text{nuevo}}$  sea lo bastante pequeño, de tal modo que la frecuencia local modificada ( $f_{\text{local\_nuevo}}$ ) se encuentre lo bastante cerca de la frecuencia de referencia  $f_{\text{conocida}}$  para conseguir la precisión deseada de la frecuencia de reloj local. El proceso puede implementarse usando, por ejemplo, un lazo de enganche de fase (PLL, *phase locked loop*).

Después del procesamiento que se ha descrito en lo que antecede,  $f_{\text{local\_nuevo}}$  es ahora una frecuencia de reloj local corregida, o calibrada, que puede tener virtualmente la misma estabilidad y precisión de frecuencia que la de la señal de satélite 105. Dicho de otra forma, la estabilidad y la precisión de frecuencia del satélite de LEO 104 se han transferido a la unidad de recepción de mano 102.

La figura 5 ilustra un método para determinar la fase de código de una señal de satélite recibida (por ejemplo, la señal de estructura de transferencia de señales horarias 300 transmitida a partir de un satélite Iridium en la señal 105) de acuerdo con una realización. El método de la figura 5 puede realizarse en la etapa 404 del método de la figura 4, por ejemplo, después de que la señal de estructura de transferencia de señales horarias 300 que comprende datos - tal como mensajes de estructura de transferencia de señales horarias - se haya recibido a partir del satélite Iridium 104 y recogido a lo largo de la totalidad de la banda de frecuencia de Iridium con la unidad de recepción 102 que tiene (tal como se muestra en la figura 2) una antena 202, unos filtros de preselección 203, un amplificador 204, y un convertidor de A / D 205 para convertir la señal a una señal de banda base desmodulada.

En la etapa 502, los datos desmodulados pueden muestrearse por el convertidor de A / D 205, por ejemplo, en 50 Mmuestras (Megamuestras o millón de muestras) por segundo, capturarse (por ejemplo, en un registro del convertidor de A / D 205), y almacenarse en memoria (por ejemplo, una memoria del ordenador 206) en unos bloques apropiados, por ejemplo, en unos bloques que contienen un milisegundo de muestras de datos.

En la etapa 504, puede realizarse una búsqueda de adquisición aproximada de los datos muestreados. En este ejemplo, pueden seleccionarse aproximadamente 8,28 ms (por ejemplo, que se corresponden con la longitud de una ráfaga de mensajes de estructura de transferencia de señales horarias, véase la figura 3) de datos para un procesamiento detallado. El efecto Doppler de los datos capturados puede estimarse usando un modelo de órbita conocido y un tiempo estimado.

Los datos pueden desmodularse digitalmente con funciones seno y coseno sobre la base de un acceso y sub-banda de frecuencia conocidos (o estimados). La desmodulación también puede incluir la frecuencia con corrección de efecto Doppler estimada. Los datos pueden reducirse entonces en un factor, por ejemplo, de aproximadamente 111. Una Transformada Rápida de Fourier (FFT, *Fast Fourier Transform*) puede usarse sobre los datos reducidos para determinar el pico más alto y la frecuencia asociada. La frecuencia asociada también puede usarse para mejorar adicionalmente la desmodulación en la siguiente iteración. La desmodulación puede producir, en general, un resultado de CC, no obstante, las estimadas de Doppler imperfectas generan en general una componente de baja frecuencia. Después del procesamiento de cada bloque de datos muestreados, puede procesarse el siguiente bloque de un milisegundo de los datos muestreados, es decir, el proceso puede repetirse. Entonces, los datos procesados pueden explorarse en busca de picos, realizando comprobaciones de consistencia. Por ejemplo, los picos deberían estar separados por "n" x 180 milisegundos (es decir, la longitud de trama de mensaje de 0,18 segundos, véase la figura 3).

En la etapa 506, después de que se hayan seleccionado los picos, puede realizarse una adquisición fina en la ubicación del pico aproximado + 180 milisegundos - 0,5 x ventana. La ventana representa un intervalo en el tiempo en el que puede esperarse encontrar la fase de código "n". Por ejemplo, los datos muestreados pueden correlacionarse frente a los 256 mensajes de estructura de transferencia de señales horarias de código pseudoaleatorio; el pico de correlación más alto puede registrarse entonces; y el salto de tiempo puede incrementarse en un determinado número de microsegundos. Este proceso puede repetirse entonces a lo largo de la duración de la ventana.

En la etapa 508, la fase de código "n" puede determinarse por la unidad de recepción 102 conociendo qué mensaje generó el mejor pico y conociendo el tiempo relativo en el que se capturaron los datos. Una vez que se ha determinado la fase de código "n", finaliza el método de la figura 5.

Una vez que el oscilador local o reloj de la unidad de recepción 102 se ha corregido en frecuencia para concordar con la estabilidad y la precisión del sintetizador de frecuencia del satélite 104 de acuerdo con las técnicas que se han descrito en lo que antecede de una o más realizaciones, la frecuencia de reloj local, que tiene la estabilidad y la precisión de frecuencia transferidas, puede usarse en numerosas aplicaciones tal como la sincronización de red o como una ayuda a un sistema de determinación de posición tal como GPS, iGPS (*indoor GPS*, GPS en interiores), o aGPS (*assisted GPS*, GPS asistido).

La figura 6 ilustra un método de transferencia de precisión y estabilidad de reloj para la navegación en entornos obstruidos (por ejemplo, atenuados o con interferencias deliberadas) de acuerdo con una realización de la presente invención. El método de la figura 6 puede implementarse con el sistema 100 que se muestra en la figura 1, excepto por que, en la presente realización, puede suponerse que no se encuentra disponible información de ayuda adicional - tal como la provista a través de la red 108.

Usando el método de la figura 6, la calibración de frecuencia de un oscilador local de la unidad de recepción 102 puede conseguirse en ausencia de una información de ayuda adicional provista tal como se ha descrito en lo que antecede mediante el uso de, por ejemplo, la señal de estructura de ráfaga de banda L nativa de un satélite Iridium. En diversas realizaciones, el satélite 104 puede ser un satélite de LEO tal como Iridium y el satélite 106 puede ser un satélite de GPS. En tales realizaciones, se conoce que un satélite Iridium usa frecuencias de acuerdo con una estructura de banda L de 1610 MHz a 1625 MHz. Las portadoras de GPS también están en la banda L, centradas en las frecuencias de 1176,45 MHz (L5), de 1227,60 MHz (L2), de 1381,05 MHz (L3) y de 1575,42 MHz (L1). Debido a la proximidad entre las frecuencias de Iridium y de GPS, la unidad de recepción 102 puede ser capaz de recibir señales de forma conjunta a partir de ambos sistemas por satélite, sistemas por satélite Iridium y GPS, sin la necesidad de una antena adicional. Las señales de banda L provistas por satélites Iridium pueden vincularse con el tiempo UTC con una precisión de aproximadamente 10 microsegundos. Las señales de satélite Iridium de banda L están estructuradas con unas tramas de mensaje de 180 milisegundos (0,18 s). Por lo tanto, mediante la determinación de los bordes de las tramas de mensaje de banda L de las señales de satélite Iridium, puede obtenerse una información de sincronismo precisa.

En la etapa 602, la estructura de tramas de radiodifusión de la señal 105 (por ejemplo, cuando se implementa por las señales de satélite Iridium de banda L) a partir del satélite 104 puede detectarse por la unidad de recepción 102. Incluso sin un código bien definido o refinado (por ejemplo, mensajes de estructura de transferencia de señales horarias), es posible para la unidad de recepción 102 detectar la trama de banda L de las señales de transmisión de Iridium. Debido a que en la presente realización se supone que no se encuentra disponible información de ayuda adicional a partir de la red 108, la unidad de recepción 102 prepara unas suposiciones o estimadas sucesivas del tiempo absoluto, por ejemplo, el término de "Tiempo" de la ecuación (1). Con suficiente conocimiento previo, el

número de estimadas de tiempo puede acotarse a menudo por un número razonable. Por ejemplo, dentro de 100 tramas de la estructura de tramas de Iridium existe un segundo de GPS que está alineado. Por lo tanto, el número de estimadas de tiempo o suposiciones puede limitarse a 100. Por lo tanto, simplemente conociendo el borde de trama del satélite 104, el procesamiento de GPS puede mejorarse de forma significativa debido a la cota razonable (por ejemplo, 100 de acuerdo con el presente ejemplo) sobre el número de estimadas de tiempo necesarias.

En la etapa 604, después de que se produzcan estimadas sucesivas, un reloj local de la unidad de recepción 102 puede alinearse con la estructura de tramas de la señal 105 del satélite 104, por ejemplo, el primer satélite. El alineamiento puede lograrse mediante el uso de, por ejemplo, el error de fase detectado en los datos procesados de la señal de estructura de transferencia de señales horarias desmodulada. El error de fase puede introducirse en el proceso de lazo de enganche de fase que se ha descrito en lo que antecede para efectuar un alineamiento en la frecuencia / tiempo entre la estructura de tramas de la señal 105 y el reloj local de la unidad de recepción 102.

En la etapa 606, se generan múltiples estimadas de tiempo que están separadas de forma respectiva de acuerdo con las señales de estructura de tramas de tal modo que al menos una estimada de tiempo está alineada con la señal 109 del satélite 106, por ejemplo, el segundo satélite.

En la etapa 608, las estimadas de tiempo pueden proporcionarse a los correladores paralelos de la unidad de recepción 102. En este caso, la unidad de recepción 102 (por ejemplo, un receptor de GPS) puede tener numerosos correladores de sistema de determinación de posición paralelos que, cuando están lo bastante alineados en el tiempo, pueden ser capaces de realizar un seguimiento automático de la señal 109 (por ejemplo, una señal de GPS) a partir del satélite 106 (por ejemplo, un satélite de GPS) incluso en un entorno con interferencias deliberadas o atenuado. Los correladores paralelos pueden alinearse entonces de acuerdo con las estimadas de tiempo.

En la etapa 610, la estimada de tiempo que está alineada con la señal 109 del satélite 106 se identifica y mejora de forma significativa la capacidad de la unidad de recepción 102 para detectar de manera eficiente la señal 109 del satélite 106. La unidad de recepción 102 puede usar entonces la señal a partir del satélite 106 (por ejemplo, un satélite de GPS) para la navegación y determinación de posición, en especial en entornos obstruidos en los que la señal 109 no sería detectable de otro modo.

Cuando sea aplicable, diversas realizaciones provistas por la presente divulgación pueden implementarse usando soporte físico, soporte lógico, o combinaciones de soporte físico y soporte lógico. También cuando sea aplicable, los diversos componentes de soporte físico y / o componentes de soporte lógico que se exponen en el presente documento pueden combinarse para dar unos componentes compuestos que comprenden soporte lógico, soporte físico y / o ambos, sin alejarse de la presente divulgación. Cuando sea aplicable, los diversos componentes de soporte físico y / o componentes de soporte lógico que se exponen en el presente documento pueden separarse en unos sub-componentes que comprenden soporte lógico, soporte físico o ambos, sin alejarse de la presente divulgación. Además, cuando sea aplicable, se contempla que los componentes de soporte lógico pueden implementarse como componentes de soporte físico, y viceversa.

El soporte lógico de acuerdo con la presente divulgación, tal como datos y / o código de programa, puede almacenarse en uno o más medios legibles por ordenador. También se contempla que el soporte lógico identificado en el presente documento puede implementarse usando uno o más ordenadores y / o sistemas informáticos de propósito general o de propósito específico, conectados en red y / o de otro modo. Cuando sea aplicable, el orden de las diversas etapas que se describen en el presente documento puede cambiarse, combinarse en etapas compuestas y / o separarse en sub-etapas para proporcionar las características que se describen en el presente documento.

Las realizaciones que se han descrito en lo que antecede ilustran pero no limitan la invención. También debería entenderse que son posibles numerosas modificaciones y variaciones de acuerdo con los principios de la presente invención. Por consiguiente, el alcance de la invención se define solo por las siguientes reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un método de transferencia de estabilidad de frecuencia desde un satélite hasta un dispositivo (102), comprendiendo el método:
- 5 recibir una señal (105) a partir del satélite;  
determinar una fase de códigos a partir de la señal de satélite (105), donde el satélite es un satélite de órbita terrestre baja (LEO) (104) que tiene una frecuencia de reloj, la señal comprende una pluralidad de tramas de mensaje, teniendo cada una (i) un número ordinal y (ii) al menos un mensaje de estructura de transferencia de señales horarias (300) que tiene un código pseudoaleatorio único, y
- 10 la fase de código se corresponde con el número ordinal de la trama de mensaje cuyo mensaje de estructura de transferencia de señales horarias se identifica a través de su código pseudoaleatorio único; recibir una información de ayuda; y
- 15 calibrar una frecuencia de un reloj local del dispositivo (102) para sincronizar la frecuencia de reloj local con la frecuencia de reloj de satélite, donde la calibración comprende medir una frecuencia de la señal de satélite (105) usando la fase de código y la información de ayuda.
- 20 2. El método de la reivindicación 1, donde:
- la calibración comprende corregir la frecuencia de reloj local para compensar un desplazamiento por efecto Doppler asociado con el movimiento relativo del satélite y el dispositivo.
- 25 3. El método de la reivindicación 1, donde la calibración comprende:
- corregir la frecuencia medida de la señal de satélite para compensar un desplazamiento por efecto Doppler asociado con el movimiento relativo del satélite y el dispositivo;  
determinar la frecuencia de reloj de satélite; y
- 30 generar una corrección de frecuencia para la frecuencia de reloj local usando la frecuencia de reloj de satélite y la frecuencia medida corregida de la señal de satélite.
4. El método de la reivindicación 1, donde:
- 35 la señal de satélite comprende una pluralidad de tramas de mensaje, donde cada trama de mensaje comprende un mensaje de estructura de transferencia de señales horarias.
5. El método de la reivindicación 4, donde:
- 40 cada trama de mensaje comprende además unos bits de cabida útil asociados con datos de comunicación.
6. El método de la reivindicación 4, donde:
- 45 la determinación de la fase de código comprende identificar un código que es único para cada uno de los mensajes de estructura de transferencia de señales horarias de al menos una de las tramas de mensaje.
7. El método de la reivindicación 6, donde:
- 50 el código es un código binario que tiene un conjunto de códigos, donde la correlación cruzada entre distintos miembros del conjunto de códigos es relativamente baja y la autocorrelación para cada miembro individual del conjunto de códigos es relativamente alta.
8. El método de la reivindicación 1, donde:
- 55 la información de ayuda comprende una información de órbita de satélite.
9. El método de la reivindicación 1, que además comprende:
- 60 usar la frecuencia de reloj local calibrada para realizar un seguimiento automático de una señal de Sistema Global de Determinación de posición (GPS); y determinar una posición del dispositivo usando la señal de GPS.
10. El método de la reivindicación 1, donde:
- 65 la calibración comprende calcular una velocidad de variación de distancia a partir de un modelo orbital del satélite de LEO y una ubicación aproximada del dispositivo.

11. Una unidad de recepción (102) que comprende:

una antena adaptada para recibir una señal a partir de un satélite (104), donde el satélite es un satélite de órbita terrestre baja (LEO) (104) que tiene una frecuencia de reloj, y la señal comprende una pluralidad de tramas de mensaje, teniendo cada una (i) un número ordinal, y (ii) al menos un mensaje de estructura de transferencia de señales horarias (300) que tiene un código pseudoaleatorio único; un reloj local; un convertidor de analógico a digital (A / D) adaptado para muestrear datos a partir del mensaje de estructura de transferencia de señales horarias en la señal de satélite; una memoria adaptada para almacenar información de ayuda; y un ordenador adaptado para determinar una fase de código usando los datos muestreados, donde:

la fase de código se corresponde con el número ordinal de la trama de mensaje cuyo mensaje de estructura de transferencia de señales horarias se identifica a través de su código pseudoaleatorio único; y el ordenador está adaptado además para medir una frecuencia de la señal de satélite usando la fase de código y la información de ayuda para determinar una corrección de frecuencia para el reloj local para sincronizar la frecuencia de reloj local con la frecuencia de reloj del satélite.

12. La unidad de recepción de la reivindicación 11, donde:

la corrección de frecuencia incluye una corrección de frecuencia por efecto Doppler en la frecuencia medida de la señal de satélite para compensar un desplazamiento por efecto Doppler asociado con el movimiento relativo del satélite y la unidad de recepción.

13. La unidad de recepción de la reivindicación 11, donde:

la información de ayuda comprende efemérides para la órbita de satélite; y la información de ayuda comprende una ubicación aproximada de la unidad de recepción.

14. La unidad de recepción de la reivindicación 11, donde:

el mensaje de estructura de transferencia de señales horarias comprende un código binario que tiene un conjunto de códigos, donde la correlación cruzada entre distintos miembros del conjunto de códigos es relativamente baja, la autocorrelación para cada miembro individual del conjunto de códigos es relativamente alta, y cada miembro del conjunto de códigos identifica de manera única una trama de mensaje del mensaje de estructura de transferencia de señales horarias.

15. La unidad de recepción de la reivindicación 11, donde:

la identidad de la trama de mensaje determina una fase de código; y la información de ayuda incluye un desplazamiento de ranura de tiempo y una distancia desde el satélite hasta la unidad de recepción.

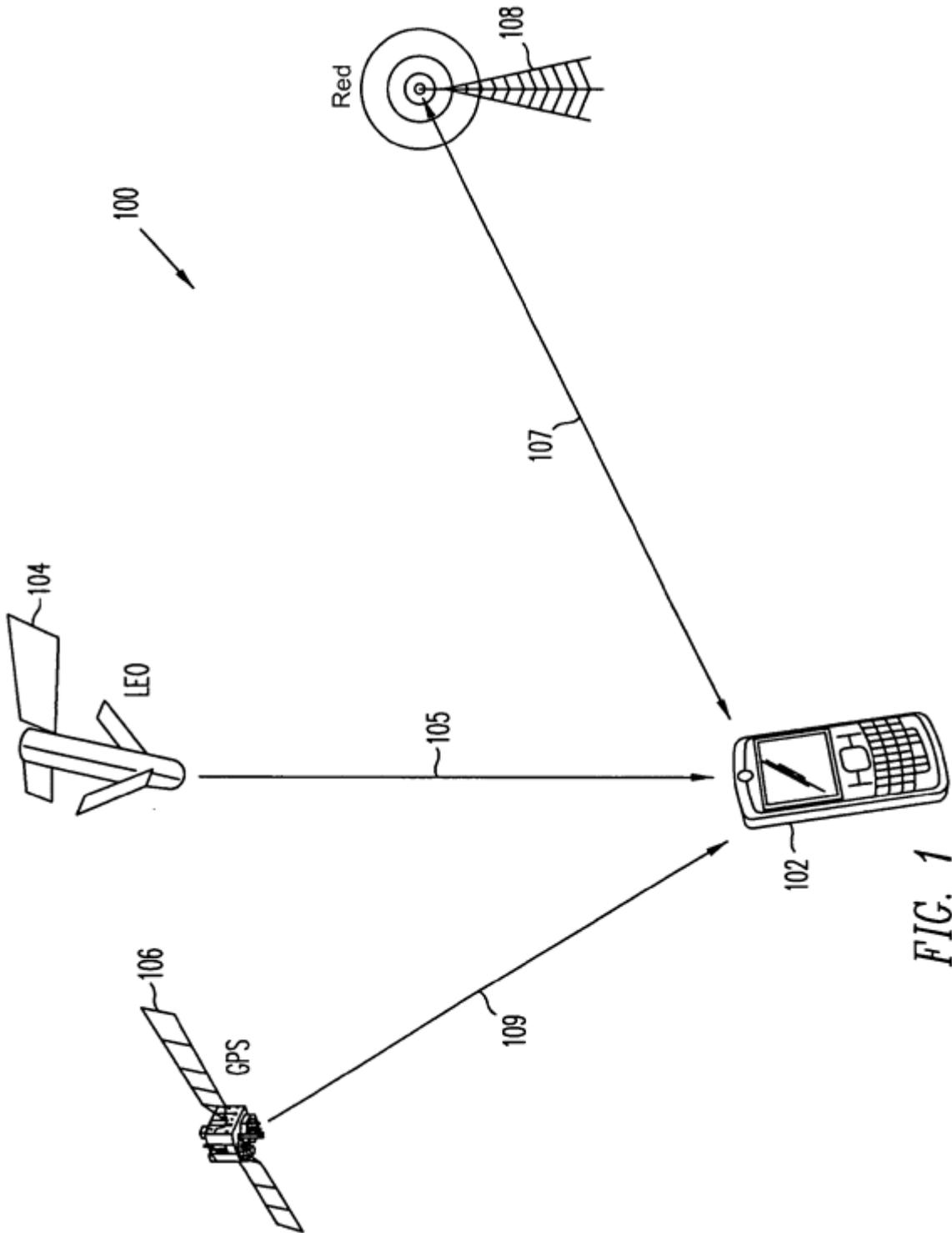


FIG. 1

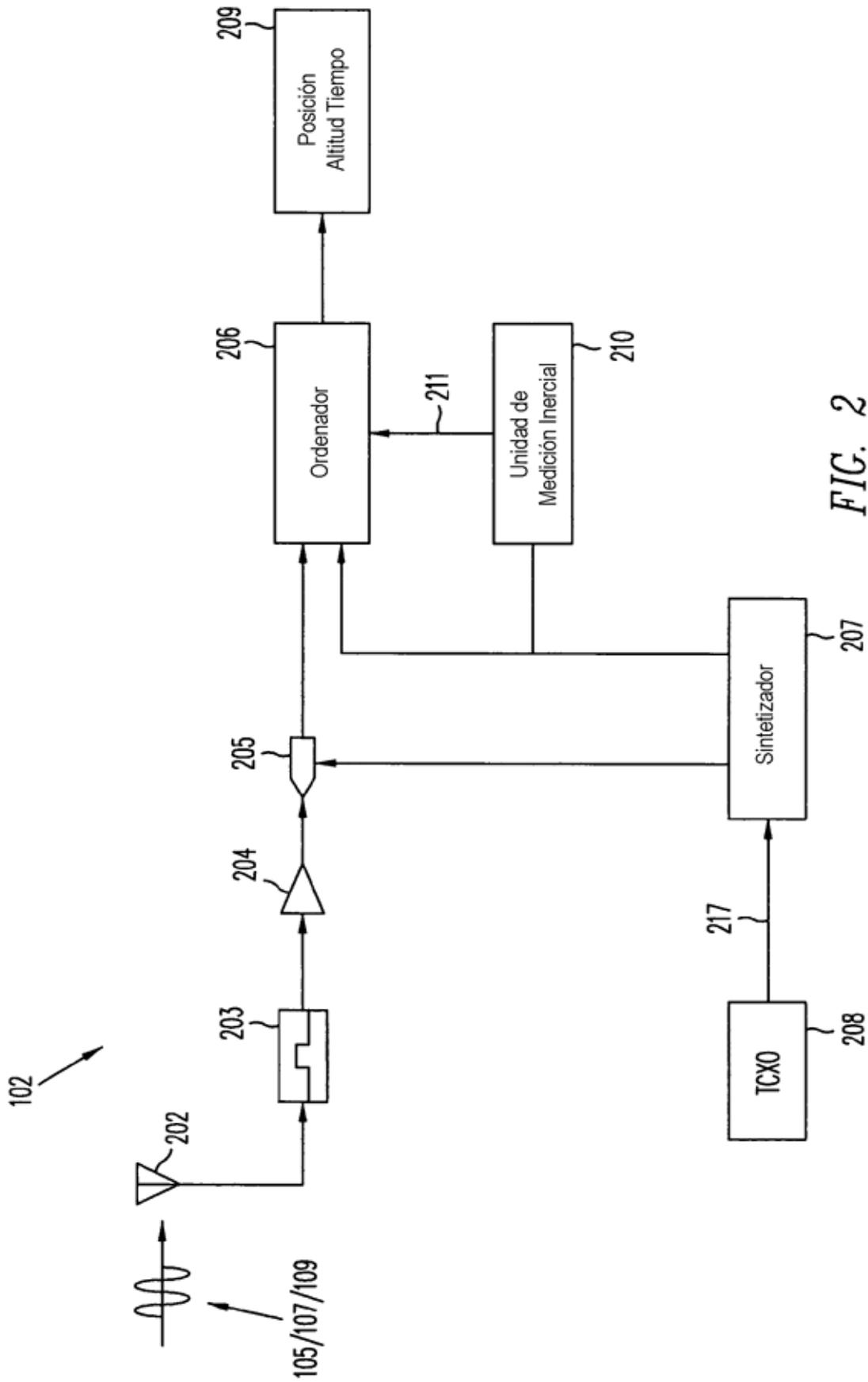
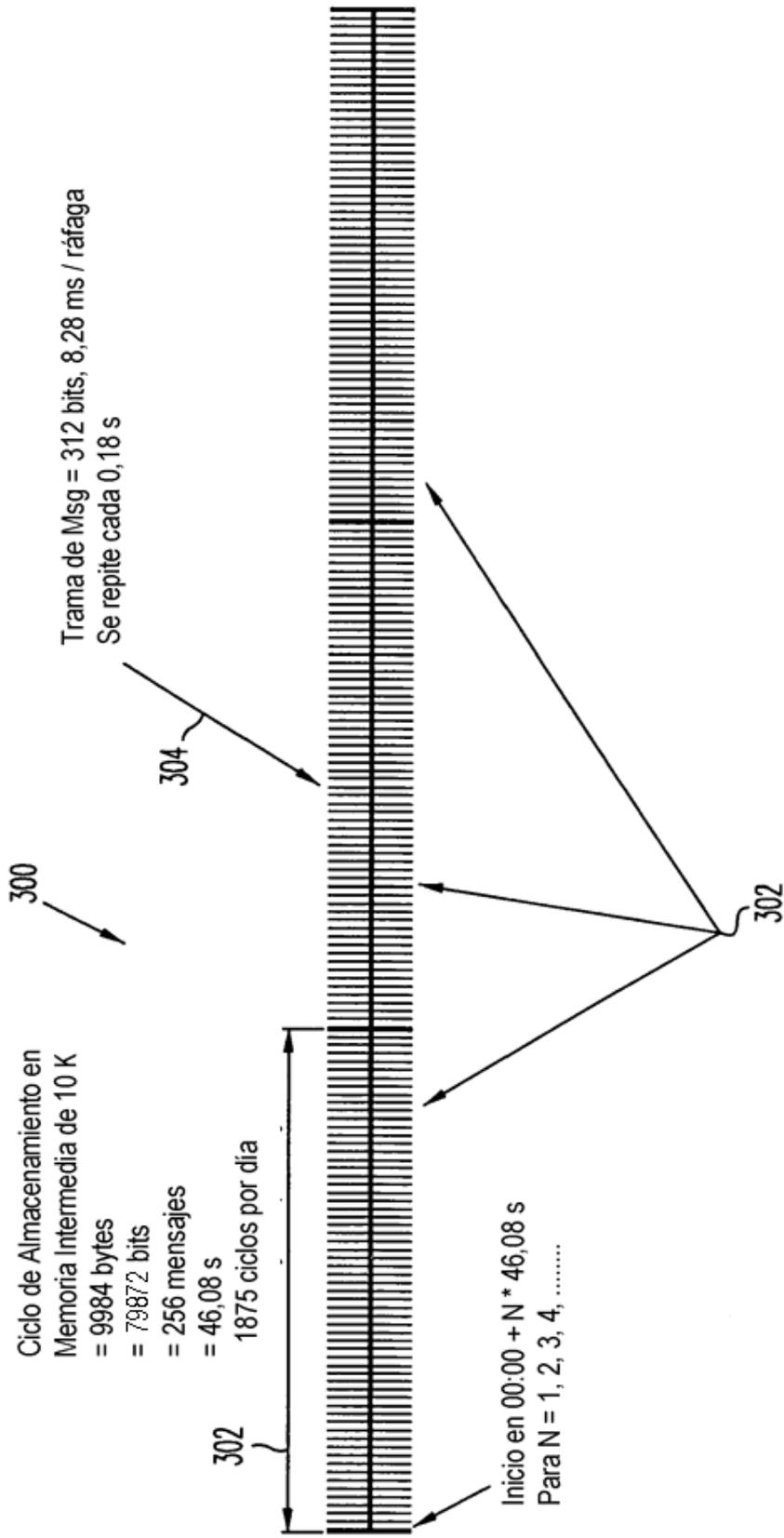


FIG. 2



Tiempo = tiempo de inicio + (N - 1) \* 46,08 s + (n - 1) \* 0,18 s + desplazamiento de ranura de tiempo +  $\frac{\text{distancia desde el satélite hasta el usuario}}{c}$  Ecuación (1)

FIG. 3

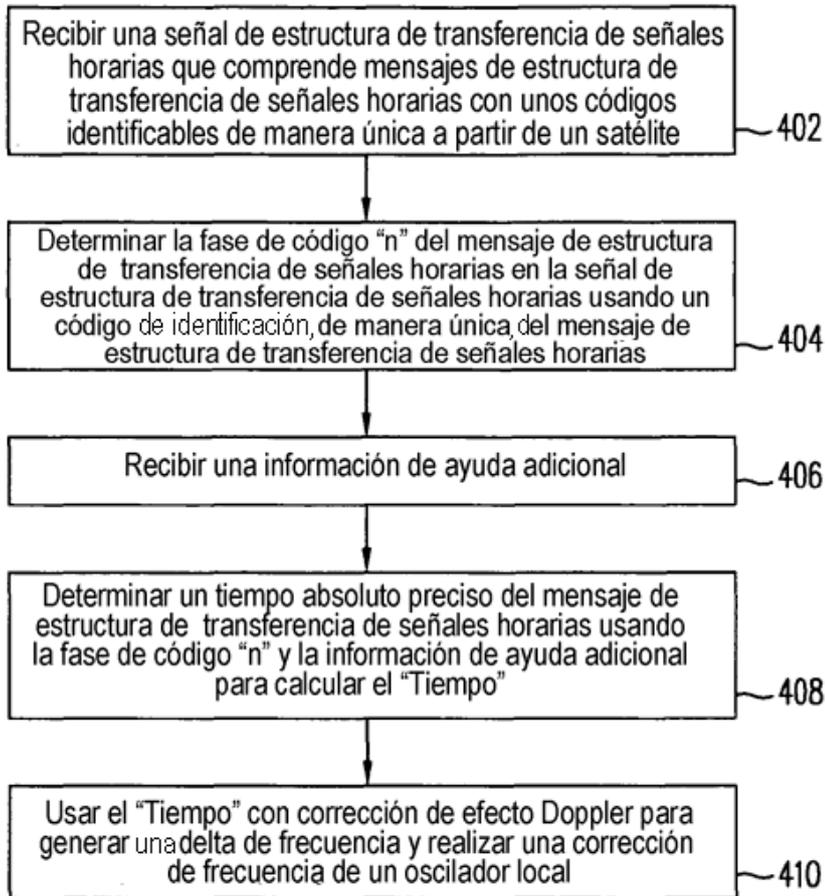


FIG. 4

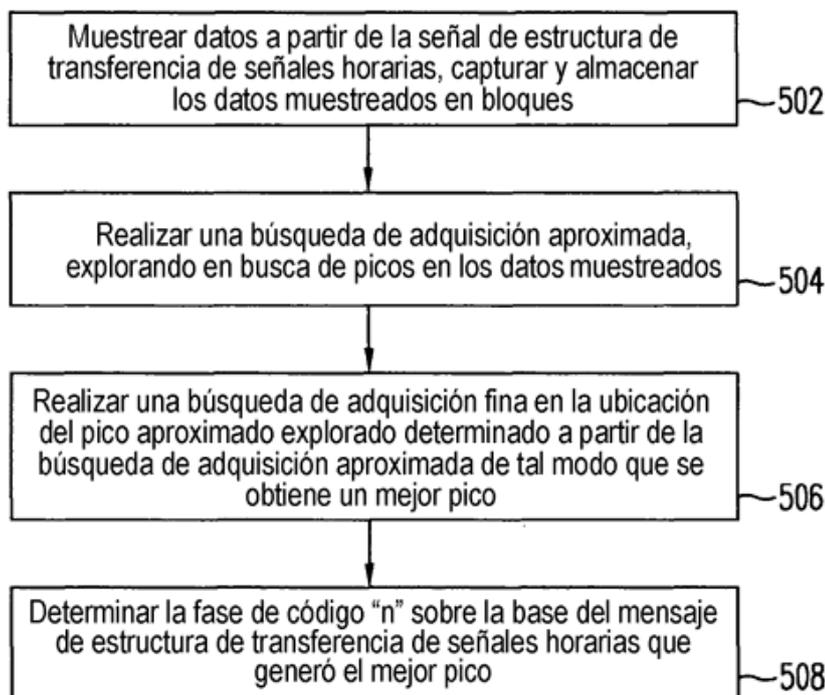


FIG. 5

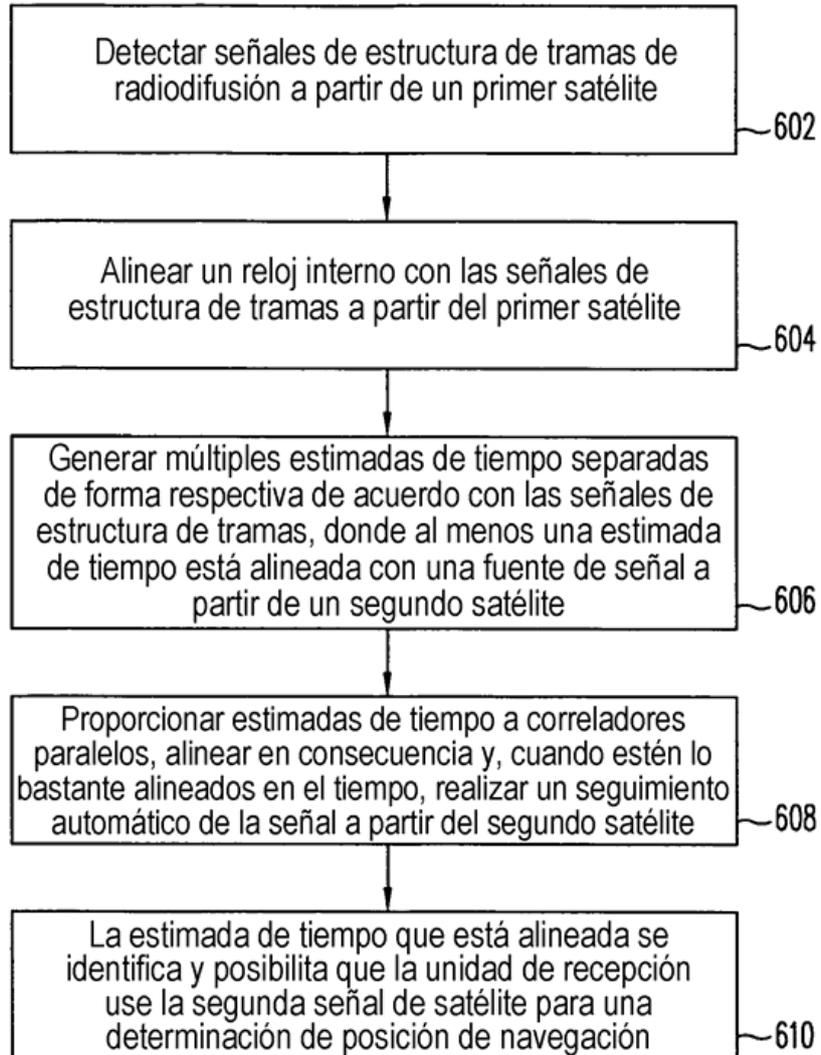


FIG. 6