

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 973 036**

51 Int. Cl.:

H04B 7/185 (2006.01)

H04W 52/02 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.10.2019** **E 21180733 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.12.2023** **EP 3907905**

54 Título: **Sincronización de temporización para redes de comunicación inalámbrica celulares no terrestres**

30 Prioridad:

12.10.2018 EP 18200058

13.08.2019 EP 19191615

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

18.06.2024

73 Titular/es:

OQ TECHNOLOGY S.À R.L. (100.0%)
40-42, Grand-Rue
6630 Wasserbillig, LU

72 Inventor/es:

QAISE, OMAR QAIS TALIB;
NAGARAJAN, PRASANNA BALASUBRAMANIAN
y
DUFOING, CYRIL MARC

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 973 036 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

Sincronización de temporización para redes de comunicación inalámbrica celulares no terrestres

5 **Campo técnico**

La presente invención se encuentra en el campo de los sistemas de comunicación inalámbrica celular. En particular, la invención se refiere a sistemas de comunicación inalámbrica celular que comprenden infraestructura de red no terrestre, tal como una estación base celular alojada en una carga útil de satélite.

10

Antecedentes de la invención

Las redes de comunicación inalámbrica celular están hoy en día ampliamente disponibles en entornos desarrollados y principalmente urbanos. Una red terrestre permite que un equipo de usuario, tal como un teléfono, teléfono inteligente u ordenador personal, establezca un enlace de comunicación de datos con una red de datos tal como la Internet pública a través de una estación base que gestiona la célula de red geográfica en la que evolucionan.

15

Se han desplegado varias normas de red celular basándose en tecnología de GSM, UMTS/3G, LTE/4G y tecnología de interconexión en red de 5G. De manera crucial, cuando no hay infraestructura de red celular disponible en un área geográfica dada, no hay comunicación de datos inalámbrica disponible para ningún usuario o dispositivo en esa área. En áreas remotas, la construcción de la infraestructura de red es a menudo difícil y demasiado costosa dada una baja población o densidad de dispositivos.

20

La Internet de las Cosas es un paradigma en el que dispositivos tales como objetos o sensores pueden entrar en comunicación con un extremo trasero de red remoto, tal como un centro de datos o servidor de procesamiento de datos. La transmisión de datos desde un dispositivo de IoT a menudo no es crítica para el retardo. Sin embargo, es necesario que se establezca un enlace de comunicación fiable al extremo trasero de red, al menos de forma intermitente. Los dispositivos de IoT pueden desplegarse, por ejemplo, en embarcaciones marítimas o en áreas remotas. Sin embargo, en tales áreas, el acceso a la red celular a menudo no se proporciona por la infraestructura de interconexión en red fija tradicional. Tales dispositivos normalmente están alimentados a baterías, de modo que la potencia de transmisión disponible está limitada en cualquier punto en el tiempo.

25

30

El despliegue de una red de comunicación inalámbrica celular no terrestre, que implica una arquitectura de red parcialmente aerotransportada/espacial, parece ser una solución interesante para proporcionar cobertura de red de datos celular a las áreas remotas requeridas. Sin embargo, en el momento de escribir este artículo no existe ninguna solución en el estado de la técnica que permita el acceso celular desde una pieza de equipo de usuario que tiene baja potencia disponible, a través de una pieza no terrestre de equipo de infraestructura de red. Las normas de comunicación de hoy en día se han diseñado, de hecho, con potencia ilimitada como un requisito previo para la infraestructura, así como retardos bajos y ubicación estacionaria con respecto al equipo de usuario.

35

40

El documento WO 2017/143388 divulga un método para planificar tiempos de reactivación para terminales en un sistema de comunicación por satélite usando datos de efemérides de satélite para ampliar la vida útil de la batería de los terminales. El terminal evalúa periódicamente los datos de efemérides almacenados para determinar si son válidos, recientemente válidos o no válidos. Cuando los datos de efemérides son válidos, el terminal puede planificar tiempos de activación para transmitir o recibir datos de efemérides actualizados. Para datos de efemérides recientemente válidos, el terminal calcula posibles ventanas de paso de satélite y planifica el tiempo de reactivación. Para datos no válidos, el terminal se reactiva y escucha periódicamente con un período que es menor que la duración de paso de satélite esperada. Puede repetir este proceso varias veces antes de pasar a inactividad durante una cantidad de tiempo menor que la duración de paso de satélite esperada y la repetición. Pueden usarse balizas de puerta de enlace adicionales para proporcionar datos de efemérides, y los satélites también pueden proporcionar información sobre ubicaciones de baliza.

45

50

El documento US 5974314 divulga un sistema de comunicaciones celular de satélite (S/C) que incluye terminales de usuario (UT) para transmitir a, y recibir señales desde el S/C, y puertas de enlace para transmitir al S/C. Las puertas de enlace reciben y distribuyen señales desde el S/C. Cada puerta de enlace se identifica a sí misma a un UT con el que se comunica mediante el uso de una señal de identidad de área de ubicación única, que incluye códigos que representan el país de residencia de la puerta de enlace, el sistema con el que está asociada la puerta de enlace y el haz de antena en el que se proporciona el servicio. Un controlador de red transmite códigos de identidad de área de ubicación, que representan la identidad del sistema de comunicación S/C, para distinguirlo de otros sistemas de comunicación S/C que pueden dar servicio a la misma región, el satélite que lleva la señal de control y el haz de antena particular en que se transmite la señal de control. Los UT incluyen memorias para almacenar las señales de identidad de área de ubicación, e incluyen además un sistema comparador para comparar las señales de identidad recibidas desde el NCC con las señales de identidad almacenadas. Si son iguales, no se requiere actualización. Si son diferentes, el UT solicita acceso desde el NCC. Tras recibir acceso, el UT transmite a una puerta de enlace la identidad de área de ubicación actual, y también actualiza su propia memoria, de modo que en el siguiente encendido es probable que el UT encuentre que los códigos coinciden, y no se requiere actualización.

55

60

65

Problema técnico a resolver

5 Un objetivo es presentar un método y dispositivo que superen al menos algunas de las desventajas de la técnica anterior.

Sumario de la invención

10 De acuerdo con un primer aspecto, se proporciona un método de control para un dispositivo terminal en una red de comunicación de datos celular no terrestre. La red comprende al menos una estación base aerotransportada o espacial que se mueve a lo largo de una trayectoria de vuelo, para conectar el dispositivo terminal a dicha red. El método comprende las siguientes etapas: proporcionar datos de trayectoria de vuelo para dicha estación base en un elemento de memoria de dicho dispositivo terminal; proporcionar datos de ubicación de terminal en un elemento de memoria de dicho dispositivo terminal; usando una unidad de procesamiento de datos, determinar ranuras de tiempo durante las que se estima que está disponible un canal de comunicación inalámbrica entre dicho dispositivo terminal y dicha estación base, basándose en dichos datos de trayectoria de vuelo y en dichos datos de ubicación de terminal; usando una unidad de procesamiento de datos, planificar una recepción o transmisión de datos entre dicho dispositivo terminal y dicha estación base durante una ranura de tiempo de dichas ranuras de tiempo determinadas recibiendo durante dicha ranura de tiempo planificada y en dicho dispositivo terminal una señal de sincronización de dicha estación base, llevando la señal de sincronización datos que indican información de temporización y frecuencia de transmisión; calcular, usando una unidad de procesamiento de datos, un desplazamiento de tiempo observado basándose en el tiempo de recepción de dicha señal de sincronización y en la información de temporización indicada en la misma; y compensar de manera preventiva el tiempo planificado de transmisión por un valor de compensación de tiempo durante una transmisión de datos posterior a dicha estación base, teniendo en cuenta dicho valor de compensación de tiempo dicho desplazamiento de tiempo observado.

Se desvelan aspectos adicionales de la invención en las reivindicaciones dependientes.

30 De acuerdo con un aspecto adicional, se proporciona un dispositivo terminal para una red de comunicación de datos celular no terrestre. El dispositivo terminal comprende una unidad de transmisión de datos, una unidad de recepción de datos, un elemento de memoria para almacenar datos de trayectoria de vuelo de una estación base aerotransportada o espacial de dicha red, un elemento de memoria para almacenar sus datos de ubicación y una unidad de procesamiento, en donde la unidad de procesamiento está configurada para:
 35 determinar ranuras de tiempo durante las que se estima que está disponible un canal de comunicación inalámbrica entre dicho dispositivo terminal y dicha estación base, basándose en dichos datos de trayectoria de vuelo y en dichos datos de ubicación de terminal, y
 planificar una recepción o transmisión de datos entre dicho dispositivo terminal y dicha estación base durante una ranura de tiempo de dichas ranuras de tiempo determinadas.

40 La unidad de recepción de datos está configurada para recibir durante dicha ranura de tiempo planificada una señal de sincronización desde dicha estación base, llevando la señal de sincronización datos que indican información de temporización y frecuencia de transmisión. Dicha unidad de procesamiento de datos está configurada para calcular un desplazamiento de tiempo observado basándose en el tiempo de recepción de dicha señal de sincronización y en la información de temporización indicada en la misma, y para compensar de manera preventiva el tiempo de
 45 transmisión planificado en un valor de compensación de tiempo durante una transmisión de datos posterior a dicha estación base, teniendo en cuenta dicho valor de compensación de tiempo dicho desplazamiento de tiempo observado.

Al usar uno o más de los métodos analizados anteriormente, es posible usar una estación base aerotransportada o espacial, tal como, por ejemplo, un nodo de comunicación de tipo eNodo B implementado en un satélite, como un punto de acceso para una pieza de equipo de usuario con baja potencia disponible. Esto posibilita, por ejemplo, conectar dispositivos de la Internet de las Cosas, IoT, a una red global, sin requerir la construcción de infraestructura de interconexión en red celular fija. Usando información de trayectoria de vuelo que describe la trayectoria de la estación base aerotransportada/espacial, así como una estimación de su propia ubicación, el dispositivo de equipo de usuario puede estimar cuándo la estación base estará dentro de su línea de visión, de modo que, mientras tanto, puede ahorrarse energía. Una vez que la estación base está dentro de la línea de visión del dispositivo, el dispositivo puede sincronizarse con la estación base en términos de retardo de transmisión y desviación Doppler, y compensar de manera preventiva cualquier retardo y/o desviación en las siguientes transmisiones de enlace ascendente, mejorando de esta manera la eficiencia de la comunicación entre el equipo de usuario y la estación base. De acuerdo con aspectos, un desplazamiento Doppler estimado y/o un retardo de transmisión, que se basa en la información de trayectoria de vuelo disponible con respecto a la propia ubicación del equipo de usuario, puede usarse además cuando no hay disponible ninguna medida de estos valores, o para perfeccionar cualquier desplazamiento Doppler medido o retardo de transmisión para una transmisión de enlace ascendente precompensada posterior a la estación base. Evitando retransmisiones debido a la pérdida de sincronización entre el equipo de usuario y la estación base, este enfoque puede ahorrar energía tanto en el dispositivo de equipo de usuario como en la estación base
 65 aerotransportada/espacial, así como también recursos limitados

Breve descripción de los dibujos

Se ilustran varias realizaciones por medio de figuras, que no limitan el alcance de la invención, en donde:

- 5 - La Figura 1 ilustra una arquitectura de protocolo de interfaz de radio conocida;
- La Figura 2 ilustra una secuencia de protocolo conocida entre un dispositivo terminal y una estación base terrestre de una red de LTE/NB-IoT celular;
- 10 - La Figura 3 ilustra una arquitectura de dispositivo funcional conocida de un dispositivo terminal de una red de LTE/NB-IoT celular;
- La Figura 4 ilustra un algoritmo de posicionamiento de TDOA conocido para redes celulares terrestres;
- 15 - La Figura 5 ilustra un procedimiento de servicio de ubicación conocido en una red celular terrestre;
- La Figura 6 ilustra las etapas principales de un método de acuerdo con una realización preferida;
- La Figura 7 ilustra una red de comunicación celular no terrestre de acuerdo con una realización preferida;
- 20 - La Figura 8 ilustra una arquitectura de almacenamiento y reenvío para una red de comunicación celular no terrestre;
- La Figura 9 ilustra una red de comunicación celular no terrestre en tiempo real con enlace inter-satélite;
- 25 - La Figura 10 ilustra una arquitectura de femtocélula para una red de comunicación celular no terrestre;
- La Figura 11 ilustra las etapas principales de un algoritmo para propagar datos de trayectoria de vuelo en el tiempo;
- La Figura 12 ilustra las etapas principales de un algoritmo para predecir tiempos de reactivación de un dispositivo terminal, de acuerdo con una realización preferida;
- 30 - La Figura 13 ilustra una secuencia de protocolo para una red de comunicación celular no terrestre, de acuerdo con una realización preferida;
- 35 - La Figura 14 ilustra una arquitectura de función para un dispositivo terminal en una red de comunicación celular no terrestre, de acuerdo con una realización preferida;
- La Figura 15 ilustra una estación base espacial y un dispositivo terminal de una red de comunicación celular no terrestre, de acuerdo con una realización preferida;
- 40 - La Figura 16 ilustra la operación de un dispositivo terminal, cuando se conoce su ubicación, de acuerdo con una realización preferida;
- La Figura 17a ilustra un método de búsqueda de exploración por tramas de frecuencia conocido;
- 45 - La Figura 17b ilustra un método de búsqueda de exploración por tramas de frecuencia de acuerdo con una realización preferida;
- La Figura 18 ilustra la operación de un dispositivo terminal, cuando no se conoce su ubicación, de acuerdo con una realización preferida;
- 50 - Las Figuras 19a y 19b ilustran la alineación de temporización de una transmisión de enlace ascendente (a) sin avance de temporización y (b) con avance de temporización de acuerdo con una realización preferida;
- 55 - La Figura 20 ilustra una situación de ejemplo de la operación del sistema de acuerdo con una realización.

Descripción detallada

- 60 Esta sección describe aspectos en detalle adicional basándose en realizaciones preferidas y en las figuras. Las figuras no limitan el alcance. A menos que se indique lo contrario, los conceptos similares se hace referencia mediante números similares a través de las realizaciones. Por ejemplo, cada una de las referencias 100, 200, 300 y 400 se refiere a una red de comunicación de datos celular no terrestre, de acuerdo con una primera, segunda tercera y cuarta realizaciones.
- 65 Se propone un conjunto de modificaciones funcionales y arquitectónicas para posibilitar que la tecnología inalámbrica celular opere a través de redes no terrestres. Las realizaciones desveladas están relacionadas en general con el

campo de las comunicaciones inalámbricas celulares, en particular, para su operación a través de una constelación o un grupo de estaciones base no terrestres, que incluyen, pero sin limitación, drones, aviones, estación de plataforma de gran altitud, HAPS y sistemas de satélites.

5 A modo de ejemplo no limitante, la norma celular de 3GPP está diseñada para operar usando redes terrestres.

En el desarrollo de cualquier norma terrestre, siempre se supone que las redes de radio y de núcleo nunca carecen de recursos en términos tanto de capacidad de procesador como de requisitos de potencia. Sin embargo, para que una norma de este tipo opere a través de redes no terrestres, además de las restricciones de potencia y las limitaciones de capacidad del procesador, el modelo de canal, la pérdida de trayectoria y otras condiciones funcionales para operaciones tales como Doppler y retardo de propagación se añaden a la complejidad del diseño del sistema.

Por lo tanto, la presente divulgación ofrece una solución al problema proponiendo un conjunto de modificaciones funcionales y arquitectónicas al sistema que permitirán la operación exitosa y eficiente de protocolos de comunicación inalámbrica celular a través de redes no terrestres. Aunque los métodos propuestos pueden ser útiles por sí mismos, también pueden combinarse entre sí para proporcionar un método mejorado global que permite una comunicación eficiente en una red de comunicación de datos celular no terrestre.

Normas de comunicación existentes

La interfaz de radio para la versión 13 de LTE/NB-IoT de 3GPP cubre la interfaz entre el equipo de usuario, UE, y la red. El documento de normas correspondiente está disponible públicamente, por ejemplo, a partir de https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136104/13.04.00_60/ts_136104v130400p.pdf, y su contenido se incorpora en el presente documento por referencia en su totalidad. La interfaz de radio está compuesta por la capa 1, 2 y 3. La serie TS 36.200 describe las especificaciones de la capa 1 (capa física). Las capas 2 y 3 se describen en la serie 36.300.

La Figura 1 muestra la arquitectura de protocolo de interfaz de radio de E-UTRA alrededor de la capa física (capa 1). La capa física interconecta la subcapa de control de acceso al medio, MAC, de la capa 2 y la capa de control de recursos de radio, RRC, de la capa 3. Los círculos entre diferentes capas/subcapas indican puntos de acceso de servicio, SAP. La capa física ofrece un canal de transporte a MAC. El canal de transporte se caracteriza por cómo se transfiere la información a través de la interfaz de radio. MAC ofrece diferentes canales lógicos a la subcapa de control de enlace de radio, RLC, de la capa 2. Un canal lógico se caracteriza por el tipo de información que se transfiere, en lugar de características físicas del canal.

La secuencia de protocolo 3GPP 4G LTE/NB-IoT, como se muestra en la Figura 2, se clasifica ampliamente como:

1. Sincronización
2. Transmisión de información de difusión y sistema
3. Acceso aleatorio
4. Señalización de RRC
5. Transmisión de datos de usuario
6. Liberación de conexión

Aunque esta nomenclatura es específica de la norma de 4G, los principios son similares en todos los protocolos celulares. La arquitectura de dispositivo conocida correspondiente que habilita la conectividad se muestra como referencia en la Figura 3.

En general, una ejecución de un método de posicionamiento conocido, independientemente de que el método esté basado en señales de radio por satélite o móvil, consiste en tres etapas:

1. Proporcionar asistencia inicial e información para la estimación de la posición.
2. Ejecución de ciertas mediciones y notificación de resultados de medición.
3. Estimación de posición basada en resultados de medición.

Los métodos de posicionamiento soportados en servicios de posicionamiento celulares se basan en una arquitectura de red de alto nivel mostrada. Por ejemplo, como uno de los objetivos de diseño para LTE/NB-IoT era descentralizar todo, la arquitectura de red se ha definido de modo que sea generalmente independiente de la red subyacente. Hay tres elementos principales implicados en el proceso, el cliente de servicio de ubicación, LCS, el servidor de LCS, LS, y el objetivo de LCS. Un cliente, es decir, el servicio solicitante, está en la mayoría de los casos instalado o disponible en el objetivo de LCS. Este servicio obtiene la información de ubicación enviando una solicitud al servidor. El servidor de ubicación es una entidad física o lógica que recopila mediciones y otra información de ubicación del dispositivo y la estación base y ayuda al dispositivo con mediciones y estimación de su posición. El servidor procesa básicamente la solicitud del cliente y proporciona al cliente la información solicitada y, opcionalmente, información de velocidad.

En general, hay dos posibilidades diferentes de cómo el dispositivo (cliente) puede comunicarse con el servidor de

ubicación. Existe la opción de hacer esto sobre el plano de usuario (plano U), usando una conexión de datos convencional, o a través del plano de control (plano C). En el plano de control, el E-SMLC (centro de ubicación móvil de servicio evolucionado) es de relevancia como servidor de ubicación, donde para el plano de usuario esto es manejado por la plataforma de ubicación SUPL. SUPL significa ubicación de plano de usuario seguro y es un protocolo de posicionamiento de propósito general definido por la alianza móvil abierta (OMA). Tanto el E-SMLC como el SLP son únicamente entidades lógicas y pueden ubicarse en un servidor físico.

Un mecanismo de este tipo es la técnica de diferencia de tiempo observada de llegada, OTDOA. En esta técnica, el UE usa un método de multilateración para medir el tiempo de llegadas, TOA, de una señal de referencia particular, la señal de referencia de posicionamiento, PRS, desde múltiples estaciones base. El UE usa una estación base como la estación base de referencia y resta el TOA de la PRS de la misma de las varias estaciones base vecinas.

Geoméricamente, cada diferencia de tiempo (o alcance) determina una hipérbola, y el punto en el que se intersecan las hipérbolas es la ubicación de UE deseada. Esto se ilustra en la Figura 4. Se necesitan al menos tres mediciones de temporización desde estaciones base geográficamente dispersas con buena geometría para resolver dos coordenadas (x, y o latitud/longitud) del UE.

Para esto, en el caso de LTE (Evolución a Largo Plazo), se sigue un conjunto de procedimientos en la LTE en un nivel de protocolo conocido que se ilustra en la Figura 5. Esto es como sigue:

1a. O bien: el UE solicita algún servicio de ubicación (por ejemplo, posicionamiento o entrega de datos de asistencia) a la MME de servicio en el nivel de NAS.

1b. O: alguna entidad en el EPC (núcleo de paquetes evolucionado) (por ejemplo, GMLC) solicita algún servicio de ubicación (por ejemplo, posicionamiento) para un UE objetivo a la MME de servicio.

1c. O: la MME de servicio para un UE objetivo determina la necesidad de algún servicio de ubicación (por ejemplo, para ubicar el UE para una llamada de emergencia).

2. La MME transfiere la solicitud de servicio de ubicación a un E-SMLC.

3a. El E-SMLC inicia procedimientos de ubicación con el eNodo B de servicio para el UE, por ejemplo, para obtener mediciones de posicionamiento o datos de asistencia.

3b. Además de la etapa 3a o en lugar de la etapa 3a, para posicionamiento de enlace descendente, el E-SMLC instiga procedimientos de ubicación con el UE - por ejemplo, para obtener una estimación de ubicación o mediciones de posicionamiento o para transferir datos de asistencia de ubicación al UE.

3c. Para posicionamiento de enlace ascendente (por ejemplo, UTDOA), además de realizar la etapa 3a, el E-SMLC instiga procedimientos de ubicación con múltiples LMU para el UE objetivo - por ejemplo, para obtener mediciones de posicionamiento.

4. El E-SMLC proporciona una respuesta de servicio de ubicación a la MME e incluye cualquier resultado necesario - por ejemplo, indicación de éxito o fallo y, si se solicita y se obtiene, una estimación de ubicación para el UE.

5a. Si se realizó la etapa 1a, la MME devuelve una respuesta de servicio de ubicación a la entidad de UE e incluye cualquier resultado necesario - por ejemplo, una estimación de ubicación para el UE.

5b. Si se realizó la etapa 1b, la MME devuelve una respuesta de servicio de ubicación a la entidad de EPC en la etapa 1b e incluye cualquier resultado necesario - por ejemplo, una estimación de ubicación para el UE.

5c. Si se produjo la etapa 1c, la MME usa la respuesta de servicio de ubicación recibida en la etapa 4 para ayudar al servicio que activó esto en la etapa 1c (por ejemplo, puede proporcionar una estimación de ubicación asociada con una llamada de emergencia a un GMLC).

Como una parte de la respuesta de servicio de ubicación, las estimaciones de ubicación de los UE se proporcionan por la red.

Esta arquitectura conocida no es adecuada para su uso con redes no terrestres para conectividad directa porque:

1. El UE puede programarse únicamente manualmente para reactivarse en momentos específicos o reactivarse aleatoriamente para transmitir. Esto es ineficiente en términos de gestión de potencia de dispositivo para un caso de uso no terrestre.

2. El mecanismo de sincronización actual en el protocolo no puede corregir más de 7,5 KHz de Doppler

inherentemente.

3. No hay transmisión de información de ubicación de la estación base que sería necesaria para predecir el tiempo de reactivación del UE y posiblemente una estimación y corrección Doppler alta.

4. El protocolo actual puede manejar compensaciones de temporización de menos de 1 ms únicamente (hasta 266,67 μ s para NB-IoT y 666,67 μ s para LTE) que es equivalente a la longitud de prefijo cíclico de los símbolos de OFDM y SCFDMA usados en la norma. Esto sería mayor para redes no terrestres, especialmente para satélites.

5. Para el servicio de ubicación celular, el UE necesita estar a la vista de al menos 3 estaciones base, que pueden o no ser la situación para redes no terrestres.

Método y arquitectura propuestos

La Figura 1 ilustra las etapas principales de un método de acuerdo con una realización preferida. En una red de comunicación de datos celular no terrestre 100, al menos una estación base aerotransportada o espacial se mueve a lo largo de una trayectoria de vuelo a una altura dada h sobre el suelo, en donde h puede estar en el alcance de unos pocos a unos pocos cientos de kilómetros. El método comprende las siguientes etapas principales:

a) proporcionar datos de trayectoria de vuelo 122' para dicha estación base 120, es decir, datos que describen la trayectoria de vuelo 122 de la estación base 120, en un elemento de memoria de un dispositivo terminal terrestre 110;

b) proporcionar datos de ubicación de terminal 112 en un elemento de memoria de dicho dispositivo terminal 110; los datos de ubicación de terminal comprenden una indicación de la posición del dispositivo terminal en el suelo, es decir, en coordenadas absolutas. Esta indicación puede obtenerse por cualquier medio de geoposicionamiento adecuado, incluyendo, pero sin limitación, un sistema de geoposicionamiento basado en satélite.

c) usar una unidad de procesamiento de datos, determinar al menos una ranura de tiempo durante el que se estima que está disponible un canal de comunicación inalámbrica 130 entre dicho dispositivo terminal 110 y dicha estación base 120, basándose en dichos datos de trayectoria de vuelo 122 y en dichos datos de ubicación de terminal 112; Basándose en los datos de trayectoria de vuelo 122, por ejemplo, la unidad de procesamiento puede extrapolar los datos para calcular futuras posiciones estimadas, velocidades, etc. de la estación base. Además, puede estimarse que un canal está disponible si la elevación de la estación base 120, como puede observarse desde el dispositivo terminal 110, está por encima de un valor umbral dado y predeterminado.

d) usar una unidad de procesamiento de datos, planificar una recepción o transmisión de datos entre dicho dispositivo terminal y dicha estación base durante la ranura de tiempo determinada.

El método corresponde a un método cognitivo de red celular no terrestre para reactivar el dispositivo terminal que, de este modo, reduce su consumo de energía. A continuación, se describen detalles adicionales de varias realizaciones.

Puede entenderse que, un sistema celular no terrestre 100 incluye una constelación o grupo global o local de objetos voladores no terrestres 120, tales como aviones, drones, HAPS y/o satélites que pueden ubicarse a una distancia de unos pocos kilómetros por encima de la superficie terrestre hasta la órbita terrestre baja, LEO, la órbita terrestre media, MEO o la órbita geoestacionaria, GEO. Cada uno de estos objetos voladores aloja idealmente una carga útil regenerativa, que puede ejecutar una solución de red de estación base + central completa, y otros subsistemas aliados. Todo el sistema de una red celular no terrestre se compone, por ejemplo, de una multitud de tales cargas útiles no terrestres, puertas de enlace de estación terrestre, GW, red de acceso de radio no terrestre, NT-RAN, centros de datos, operadores de red móvil no terrestre, SMNO, y equipo o equipos de usuario móviles o fijos no terrestres, UE.

Cada objeto no terrestre o estación base 120 en la flota o constelación vuela una carga útil (junto con otros subsistemas necesarios tales como el subsistema de telemetría, de rastreo y control, subsistema de potencia, subsistema de control térmico, subsistema de determinación de actitud y control, de ordenador de a bordo, etc.) que es una red completa en una solución de caja basada en arquitectura de radio definida por software, SDR.

Cada una de estas cargas útiles puede comprender un sistema transceptor base, posiblemente con funcionalidad de red central adicional (tal como MME, S-GW, AUTH, etc., como se denomina en la norma 3GPP 4G LTE/NB-IoT o su equivalente a 2G, 3G o normas 5G de 3GPP) dependiendo de la arquitectura. La carga útil puede ejecutar todas las capas (PHY, MAC, RLC, PDCP, RRC/IP) de la pila de protocolo celular de 3GPP con y sin modificaciones para casos de uso tanto no terrestres como terrestres. Estos aspectos son conocidos en la técnica como tales y su función no se describirá con ningún detalle en el contexto de esta descripción. La descripción se centra en los conceptos que son más relevantes para comprender la presente divulgación.

En 4G LTE/NB-IoT celular, por ejemplo, un eNB es un controlador de un grupo de células. Un sitio de célula típico tendrá un único eNB que controla 3 sectores (o células) con un único enlace S1 de vuelta al núcleo de paquetes

evolucionado, EPC. Este es un nivel conveniente de abstracción ya que permite que un único sistema de procesamiento centralizado acoplado con muchas cabeceras de radio remotas, RRH, implemente los sectores. Si toda la planificación se realiza en una ubicación, a continuación, esto permite esquemas de mitigaciones de interferencia espontáneas sin tener que intercambiar información con nodos distantes (y los retardos inherentes implicados en la red de retorno de estos mensajes).

El sistema celular no terrestre 100 amplía este principio en que una única estación base 129 controla muchas células y estas se implementan tan 'suavemente' como sea posible para permitir flexibilidad y escalabilidad. En LTE/NB-IoT de 3GPP, el número máximo de células que un eNB puede controlar es 256, debido a que el id de célula es una cantidad de 8 bits. Se supone que esto será suficiente para la aplicación celular no terrestre.

La arquitectura de sistema en la que se ponen en uso los métodos puede implementarse en una de las tres formas como se muestra en la Figura 8-10.

La Figura 8 es la arquitectura de almacenamiento y reenvío de una red celular no terrestre 200. Si el enlace con la puerta de enlace no es permanente y el enlace entre la estación base 220 y la red central (interfaz S1 como se denomina en la norma 3GPP 4G o su equivalente para otras normas tales como 2G, 3G o 5G) no está siempre disponible, a continuación, algunas de las funcionalidades de red central deben incorporarse en cada carga útil no terrestre 220 para compensar la falta de conectividad con la puerta de enlace. En este punto, elementos tales como la puerta de enlace de red de datos por paquetes (PDN-GW; la GW de servicio/GW de paquetes como se denomina en la norma 4G) y el centro de autenticación deben estar ubicados en la carga útil no terrestre y actualizarse a través de algún procedimiento de operación y mantenimiento, OAM. De manera similar, cualquier dato de usuario debe ponerse en cola en la estación base no terrestre 220 e intercambiarse con la puerta de enlace cuando el enlace terrestre está disponible. Esta es la arquitectura de almacenamiento y reenvío.

Cada carga útil no terrestre actúa eficazmente como una estación base 220 y componente de red central y el sistema es escalable añadiendo nuevas cargas útiles, al igual que una red terrestre añadiría una nueva estación base. La escalabilidad también se puede lograr aumentando el ancho de banda disponible para la operación.

El enlace con la puerta de enlace es propietario (podría ser con el enlace de TT&C para los satélites o tecnología equivalente para otras plataformas) y debe proporcionar la siguiente funcionalidad: el enlace debe ser bidireccional. Puede estar listo para usar, tal como un enlace de microondas punto a punto. La capa de transporte puede basarse en cualquier tecnología de transporte fiable, tal como IP. Un protocolo sencillo para transferir datagramas de usuario almacenados entre la carga útil no terrestre y la conexión de red central subyacente (que se supone que es IP). Un protocolo de OAM (operaciones, administraciones, gestión) para el mantenimiento de las entidades de software en el contexto no terrestre. Un ejemplo de esto son los registros de abonado de añadir/modificar/borrar en el servicio de abonado doméstico, HSS, de modo que la autenticación y admisión de usuarios puede realizarse incluso cuando el enlace con la red central no está disponible.

En este caso, los enlaces inter-carga útil adicionales (interfaz X2 como se denomina en la norma 4G LTE/NB-IoT) deberán habilitar la interfaz entre múltiples estaciones base no terrestres para lograr operaciones en tiempo real. Por ejemplo, esto podría ser a través de inter satélite para cargas útiles alojadas en satélites.

La Figura 9 es la arquitectura alternativa de una red celular no terrestre 300 con interfaz S1 permanente. Si S1 está siempre disponible y es fiable, a continuación, la puerta de enlace de IP y la red central están ubicadas en tierra y pueden compartirse entre todas las estaciones base no terrestres 320. Esta es la arquitectura preferida para una mayor escalabilidad ya que cada carga útil no terrestre actúa simplemente como estación base y hay una red de núcleo central. El enlace con la puerta de enlace está normalizado y puede implementarse en términos de cualquier enlace punto a punto convencional a través de IP. Sin embargo, esto requiere una alta complejidad ya que se requieren enlaces inter-satélite y una mayor cobertura de estación terrestre para garantizar una visibilidad continua.

La interfaz X2 es una interfaz 3GPP 4G opcional que permite que los eNB 320 se comuniquen directamente entre sí casi en tiempo real. Se usa en LTE para habilitar características tales como reenvío de datos de contextos de RRC durante traspaso, coordinación de interferencia y equilibrio de carga y se incluye en este punto para completar. Si S1 es una interfaz permanente, a continuación, X2 estará disponible también, ya que puede usar la misma capa de transporte. En NB-IoT celular, X2 también se usa para transferir contextos de RRC entre eNB en el esquema de optimización de plano de usuario. En redes terrestres, todas las estaciones base son estacionarias. Esto significa que, la interfaz X2 de una estación base se define con respecto a sus estaciones base vecinas fijas para el intercambio de información entre estaciones base dentro de la misma red central.

Sin embargo, en una red de datos celular no terrestre, las estaciones base se mueven y son dinámicas en sus trayectorias. Desde una perspectiva de constelación, esto significa que el conjunto de vecinos de una estación base no es fijo, sino cambiante. Por lo tanto, cada estación base usa preferentemente su propia información de ubicación y trayectoria, y la información de ubicación y trayectoria de las otras estaciones base en la constelación/flota (que, tras su expiración, puede refrescarse constantemente por la red central) para actualizar constantemente sus vecinos y las definiciones respectivas de la interfaz X2 con estas estaciones base vecinas actualizadas.

En el caso de redes terrestres, esta interfaz X2 se establece mediante enlaces de microondas, ópticos u otros enlaces fiables. En la red no terrestre, NTN, esta puede establecerse a través del enlace inter-estaciones base, en el caso de satélites es el enlace inter-satélite.

5 La Figura 10 es una arquitectura de femtocélula alternativa para una red de comunicación celular no terrestre 400. Se ha propuesto que, en lugar de usar un enlace celular directamente como enlace entre la plataforma no terrestre 420 y los UE, a continuación, se despliegue una red de agregadores/puertas de enlace celulares terrestres (denominados femtocélulas en las normas 4G) y que, en su lugar, se realice una red de retorno a través de cargas útiles no terrestres.

10 Las femtocélulas se pueden implementar dentro de edificios para cobertura dentro de edificios. Las femtocélulas pueden actuar como concentradores para grupos de terminales celulares, en lugar de intentar conectar cada terminal directamente a una constelación no terrestre.

15 Los enlaces de radio más cortos entre terminales y femtocélulas permitirán una mejor cobertura (o despliegue en entornos de radio más hostiles). Las femtocélulas presentan algoritmos de gestión de recursos de radio extensos para despliegues ad-hoc. Si aún se usa la frecuencia disponible para red de retorno no terrestre, a continuación, la antena de femtocélula 410 aún necesitará estar en línea de visión, LOS, con la carga útil no terrestre 420 que implica la necesidad de alimentadores e instalación personalizada. La femtocélula podría operar en frecuencias más adecuadas para la cobertura dentro de edificios. Si se usan bandas con licencia, a continuación, claramente se requerirá una licencia de operación, y esto variará entre territorios.

20 Para poner en red de retorno la interfaz de red central desde las femtocélulas a la carga útil no terrestre se requiere un nuevo esquema de acceso de radio de alta disponibilidad en tiempo real para este enlace. Un retransmisor 4G/5G podría ser una opción, pero está sujeto a restricciones técnicas similares en la capa física.

25 Las femtocélulas necesitarán una fuente de alimentación permanente, ya que el amplificador de potencia necesitará estar operando permanentemente para generar los canales de control de enlace descendente para la sincronización del UE. La tecnología puede implementarse tanto en bandas de frecuencia con licencia como sin licencia.

30 Para acomodar la entrega de datos no IP para la arquitectura de almacenamiento y reenvío de las Figuras 8-10, función de exposición de capacidad de servicio, SCEF, los componentes deberán ser una parte del EPC del sistema celular no terrestre. Esta conexión entre la SCEF y los servidores de aplicación es, en una red celular terrestre, una conexión permanente.

35 Se propone que las funciones de SCEF (función de exposición de capacidad de servicio) se modifiquen para acomodar, pero sin limitarse a las funciones de, almacenamiento en memoria intermedia de datos de usuario no de IP en SCEF de múltiples usuarios, imitando la conexión entre SCEF y servidores de aplicación en la estación terrestre en ausencia de un enlace inter-satélite (inter-estación base). En presencia de un enlace disponible, el enlace entre la SCEF y los servidores de aplicación puede hacerse permanente e implementarse según se recomienda por la norma celular de 3GPP.

40 La estación base no terrestre aerotransportada o espacial 120, 220, 320, 420 puede tener haces puntuales únicos o múltiples en el enlace ascendente y el enlace descendente para dividir la tara de radio y procesamiento espacialmente y proporcionar métodos de reutilización de frecuencia. El diseño real del haz no terrestre debería tener en cuenta que sea lo más flexible posible en el diseño de MAC y PHY. Los haces pueden cubrir la misma área de célula o diferentes áreas de célula. Esto es válido tanto para operaciones de duplexación por división de frecuencia, FDD, como de duplexación por división de tiempo, TDD, del sistema celular no terrestre. El sistema puede tener capacidades de portadora única o de múltiples portadoras y usar diferentes técnicas de modulación tales como GMSK, QPSK, QAM, etc., o cualquier variante equivalente de estos esquemas. El esquema de acceso puede ser TDMA, CDMA, FDMA, OFDM,

45 OFDMA, etc., o cualquier otro esquema equivalente. Las capas superiores del protocolo pueden o no ser agnósticas del esquema de duplexación empleado en la carga útil y la operación de UE del sistema celular no terrestre.

55 **Transmisión de datos de trayectoria de vuelo**

Una adición novedosa a un sistema de este tipo para permitir el despliegue no terrestre sería la introducción de la transmisión continua o periódica de un conjunto de datos enriquecido por la estación base aerotransportada o espacial 120, 220, 320, 420. Por ejemplo, el elemento de dos líneas, TLE, para satélites o equivalente para otras realizaciones de estación base no terrestres relacionadas con su información de trayectoria en el enlace descendente del protocolo celular como una parte de su difusión de información de sistema.

60 Este conjunto de datos 122' puede usarse por los respectivos dispositivos terminales 110, 210, 310, 410, tales como UE/puertas de enlace en combinación con su conocimiento de su propia ubicación 112 para predecir el estado de la estación base 110, 210, 310, 410, tal como su posición y posiblemente velocidad, Doppler y retardo, etc., usando un

algoritmo de propagador adecuado (tal como el SGP4 disponible en http://help.agi.com/stk/index.htm#stk/vehSat_orbitProp_msgp4.htm propagador para satélites y propagadores equivalentes para otras realizaciones de estaciones base no terrestres) o un período definido en el futuro con una precisión válida. Esta información calculada puede usarse además por los UE/puertas de enlace 110, 210, 310, 410 para reactivar, sincronizar, realizar Doppler y precompensación de retardo y conectarse ellos mismos a la red 100, 200, 300, 400.

Esta información de la ubicación de UE y la ubicación de estación base se usa por el propagador (en este ejemplo un propagador SGP4) para estimar los tiempos de reactivación de UE y Doppler y predicción de retardo en la capa de aplicación y gestión. La entrada del algoritmo SGP4, mostrada en la figura 11, es un elemento de dos líneas (TLE) producido por NORAD. El TLE es una descripción de los elementos orbitales actuales de un satélite. A partir del TLE, el algoritmo SGP4 puede calcular los vectores de estado orbital inercial de un satélite en cualquier punto T en el futuro (o en el pasado) con cierta precisión. Las salidas sin procesar del SGP4 son la posición y el vector de velocidad del satélite en un marco de referencia inercial (ECI) denominado ecuador verdadero, equinoccio medio (TEME).

El TLE en este ejemplo es un formato de datos que codifica los parámetros orbitales medios de un satélite para un punto de tiempo dado. En este punto, hay un ejemplo en su formato convencional:

```
1 43132U 18004X 19215.41404522 .00000829 00000-0 37553-4 0 9992
2 43132 97.4860 283.1384 0011471 94.2701 265.9847 15.23639096 86464
```

La primera línea incluye los siguientes elementos de izquierda a derecha:

- Número de línea
- Número de satélite
- Designador internacional
- Año de época y fracción de día juliano
- 1ª derivada del movimiento medio o coeficiente balístico
- 2ª derivada del movimiento medio, normalmente en blanco
- Término de arrastre o coeficiente de presión de radiación
- Tipo de efemérides
- Número de elemento y suma de comprobación

La segunda línea incluye los siguientes elementos de izquierda a derecha:

- Número de línea
- Número de satélite
- Inclinación
- Ascensión recta del nodo ascendente
- Excentricidad
- Argumento del perigeo
- Anomalía media
- Movimiento medio
- Número de revolución y suma de comprobación

Este formato convencional se puede personalizar a las necesidades específicas de la aplicación.

Al conocer la posición y la velocidad de la estación base y el terminal de usuario, es posible calcular cuándo el terminal de usuario necesita reactivarse, pero también el desplazamiento Doppler y el retardo de propagación en cualquier punto T en el futuro con cierta precisión.

Una forma de predecir los tiempos de reactivación es calcular la elevación de las estaciones base por encima de cada terminal de usuario. El terminal de usuario se reactivará cuando la elevación de una estación base sea mayor que un umbral predefinido (mín_elev en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 12).

Una forma de disminuir los recursos necesarios para calcular la tabla de reactivación es usar un paso dinámico en lugar de uno fijo. Pueden usarse varias técnicas como aumentar el tamaño de paso después de que la elevación del satélite sea mayor que la elevación mínima requerida para tener una conectividad satisfactoria. El tamaño de paso también puede aumentarse o disminuirse en función de la distancia entre la estación base y el terminal de usuario. El tamaño de paso también se puede cambiar en función de la derivada en el tiempo de la distancia entre la estación base y el terminal de usuario, siempre que la estación base se aleje del terminal de usuario, el tamaño de paso puede ser grande, mientras que, cuando la distancia se está reduciendo y está más cerca que un umbral, el tamaño de paso debe ser pequeño para evitar perder una estación base en el campo de visión.

El conjunto de datos 122' de cada estación base 120 puede tener preferentemente un periodo de expiración. Por

ejemplo, el TLE incluye elementos orbitales medios y para compensar fuerzas no conservativas variables a lo largo del tiempo que impactan en la órbita del satélite como el arrastre atmosférico o la radiación solar, debe actualizarse regularmente. Esto significa que el conjunto de datos 122' debe actualizarse de forma regular para que el UE 110 pueda hacer predicciones precisas. Las actualizaciones de TLE pueden transmitirse por cada estación base (en el caso de una constelación de satélites, por cada satélite) como parte de la información de difusión y del sistema de forma continua o periódica (por ejemplo, en el caso de LTE/NB-IoT, el bloque-16 de información de sistema (SIB16) que es un mensaje de RRC). Esto se recibe por el UE desde todas las estaciones base no terrestres 120 y se actualiza regularmente antes de la expiración del conjunto de datos actual. Como alternativa, si se usa una flota o constelación de estaciones base aerotransportadas/espaciales, una estación base puede transmitir, preferentemente a través de difusión, un conjunto de datos 122' relacionado con una pluralidad de estaciones base, preferentemente de todas las estaciones base, dentro de la flota o constelación.

Los tiempos de reactivación del UE se planifican por aplicación y capa de gestión para transmisión planificada o para actualizar su almanaque de conjunto de datos en un elemento de almacenamiento o memoria.

Para que el protocolo celular funcione en una situación no terrestre, la secuencia de protocolo conocida como se muestra en la Figura 2 se modifica, por lo tanto, para transmitir la información de ubicación de estación base (por ejemplo, información de TLE de satélite a través del SIB 16 del protocolo de NB-IoT/LTE) que deberá usarse por el UE para reactivación y ventajosamente también para predicción de compensación y precompensación como se muestra en la Figura 13.

En el nivel de dispositivo terminal 110 (UE, GW), se añaden las siguientes funcionalidades a la arquitectura existente como se muestra en la Figura 14:

1. Recepción de información de ubicación de estación base (por ejemplo, TLE para satélites o equivalente para HAPS, drones y aviones)
2. Un propagador para predecir visibilidades futuras de la estación base no terrestre para la reactivación de UE, Doppler y predicción de retardo
3. realimentación de Doppler previsto y retardo para precompensar transmisiones de UE
4. Planificación preventiva en la capa de MAC para compensar el retardo de ida y vuelta fijo

Ninguna de las tecnologías de red celular actualmente conocidas proporciona esta característica, ya que no era necesaria para despliegues terrestres. Esto se debe a que, en los despliegues terrestres las estaciones base son fijas e inamovibles como se prevé en el estado de la técnica. Pero para redes no terrestres, la inclusión de esta información como parte de su transmisión de enlace descendente, permite que los UE/puertas de enlace optimicen sus mecanismos de ahorro de energía planificando sus procedimientos de reactivación, optimicen su sincronización y permitan Doppler y retardo (provocados por las situaciones de alta velocidad y gran altitud de las situaciones de despliegue de red no terrestre) estimación, corrección y precompensaciones para sus correspondientes transmisiones de enlace ascendente.

Estimación de la ubicación de un dispositivo terminal

Un dispositivo terminal terrestre 110 o UE puede conocer su ubicación debido a su naturaleza fija, o a partir de GPS/GNSS o un sistema de posicionamiento equivalente, o es capaz de triangularse a sí mismo. Si el UE no conoce su propia ubicación, deberá poder triangularse a sí mismo usando servicios de ubicación celulares tales como el uso de diferencia de tiempo de llegada observada de enlace descendente, OTDOA, o diferencia de tiempo de llegada de enlace ascendente, UTDOA, ID de célula mejorado según se mencionan en las normas celulares de 3GPP u otras técnicas equivalentes asistidas por múltiples estaciones base no terrestres en una única pasada o en múltiples pasadas.

Si la ubicación del UE es desconocida y no tiene un dispositivo de posicionamiento como parte de su arquitectura, puede iniciar un procedimiento de ubicación celular. Aunque pueden usarse otros algoritmos de posicionamiento, se proporciona el siguiente procedimiento a modo de ejemplo. Permite que la red triángule la ubicación del UE 110 e informe de vuelta al UE una estimación de ubicación 112. Para esto, el UE realiza en primer lugar una reactivación aleatoria y una adquisición ciega de la portadora que está disponible por la estación base celular aerotransportada/espacial, y usa estimaciones de compensación del enlace descendente más recientes para precompensar sus transmisiones de enlace ascendente para conectarse a sí mismo a la red. Una vez que se conecta con éxito a la red a través de una de las estaciones base, deberá iniciar el procedimiento de ubicación. Esto puede hacerse instantáneamente si hay al menos 4 estaciones base no terrestres simultáneamente visibles para el UE o a través de múltiples pasadas si al menos 2 de tales estaciones base no terrestres son visibles para el UE en cualquier momento dado.

Si el UE 110 no tiene conocimiento de su propia ubicación (Figura 16, etapa 1000, donde NTN indica la red no terrestre, es decir, estación base aerotransportada/espacial) por su naturaleza fija o a través de un dispositivo de posicionamiento tal como GPS/GNSS, se reactivará en momentos aleatorios para adquirir inicialmente una portadora que está disponible por la estación base aerotransportada/espacial, y sincronizarse a sí misma con la red. Esto puede

hacerse mediante procedimientos de sincronización convencionales de la norma 3GPP, por ejemplo. Sin embargo, si el error de frecuencia real entre la estación base y el UE puede ser mayor que la ventana de detección prescrita, a continuación, el UE debe realizar varias pasadas en la detección, ya sea resintonizando su oscilador de referencia de acuerdo con algún esquema de exploración por tramas o pre-rotando las muestras recibidas para simular un cambio en la frecuencia portadora de enlace descendente. Por lo tanto, tomando múltiples pasadas y agrupando en frecuencia los resultados, el espacio de frecuencia de enlace descendente factible puede buscarse de manera efectiva.

Por ejemplo, con una constelación de satélites LEO para servicio de NB-IoT, suponiendo que se encuentra un error Doppler máximo hipotético de 135 KHz cuando los satélites están a una elevación baja. En este caso, a modo de ejemplo:

- El UE debería realizar muchas búsquedas agrupadas en frecuencia de acuerdo con algún esquema de exploración por tramas. Incluso si la ventana de detección de NPSS/NSSS es tan grande como 5 kHz, a continuación, esto es $135/5 = 27$ búsquedas en una trama de 5 kHz para cubrir solo una frecuencia de enlace descendente potencial desde un satélite. Si el UE no tiene conocimiento previo de qué frecuencias están en uso, a continuación, toda la banda de frecuencia de enlace descendente debe explorarse exhaustivamente para adquirir el sistema. Esto será muy largo y provocará un consumo grave de recursos para dispositivos alimentados a batería.

- El error de frecuencia Doppler máximo de 135 kHz es ambiguo en el esquema de asignación de frecuencia de portadora de EUTRA, que usa una trama de 100 kHz. Si se detectan NPSS/NSSS, ¿pertencen a la portadora N, N-1 o N+1 en presencia del peor caso de error Doppler? De manera evidente, esto puede resolverse observando el UE el cambio de frecuencia en NPSS/NSS durante un período predeterminado para ver si converge (a medida que el satélite se acerca al cenit) o codificando la frecuencia de enlace descendente real EARFCN en algún lugar de la información del sistema, pero esto es una extensión no convencional que debe añadirse al procedimiento de búsqueda de los UE, tal como modificar la ventana de trama.

Por ejemplo, la trama de canal en NB-IoT terrestre convencional es 100 KHz. Esto significa que, la ventana de búsqueda del receptor únicamente puede escanear y detectar un ancho de banda de 100 KHz a la vez y, a continuación, se mueve a la siguiente ventana de búsqueda de 100 KHz si no encuentra ninguna frecuencia portadora operativa. En primer lugar, considere el ángulo de elevación de 70°. Para capturar todos los desplazamientos Doppler, proponemos una trama de canal reducida de menos de 100 kHz y, específicamente, por ejemplo, 50 kHz a un ángulo de elevación de 70°, sin estar limitada a este tamaño de trama. Usando una ventana de detección de 70 KHz y una búsqueda de exploración por tramas de 50 KHz podrá detectar portadoras desplazadas por cualquier Doppler. El funcionamiento de la trama de 50 KHz se ilustra en las Figuras 17a y 17b. La figura ilustra la frecuencia esperada F_0 , como se indica, por ejemplo, por una señal de sincronización recibida desde la estación base, y la frecuencia real F_d , a la que de hecho se recibió la señal, provocada por un desplazamiento Doppler. La Figura 17a muestra la 1ª búsqueda de exploración por tramas en la que se pierde un Doppler de 45 KHz, por ejemplo, porque cae fuera del alcance de la ventana de detección (que es ± 35 KHz). En la 2ª búsqueda, ilustrada por la Figura 17b, la trama de canal se desplaza 50 KHz en lugar de 100 KHz. Por lo tanto, la portadora se detecta en este punto. De la misma manera, también pueden detectarse desplazamientos Doppler más altos con búsquedas posteriores.

Una vez que esto tiene éxito, el UE/puerta de enlace 110 puede solicitar un servicio de ubicación de la red a través de la estación base aerotransportada/espacial 120 que está dentro de la línea de visión de este dispositivo terminal. Una vez que la red 100, a través de sus servicios centrales, proporciona de vuelta los datos de asistencia, el UE/puerta de enlace puede realizar e informar de vuelta las mediciones de RSTD. Esto deberá usarse por la red para proporcionar de vuelta una estimación de ubicación 112 al UE/puerta de enlace.

Con referencia a la figura 16, por lo tanto, el método propuesto puede resumirse como sigue. En la etapa 1100, el dispositivo terminal realiza una adquisición ciega de la portadora de señal proporcionada por una de las estaciones base. Si se sincroniza con una estación base (1100), a continuación, en la etapa 1112 puede descargar únicamente información de asistencia de sincronización limitada desde esa estación base.

Esto se itera para acumular información de asistencia de sincronización a lo largo del tiempo. Si en la etapa 1100 se sincroniza con un par de estaciones base, a continuación, adquiere su ubicación a través de triangulación celular sucesiva y descarga información de asistencia de sincronización desde las estaciones base en la etapa 1122. A continuación, el dispositivo terminal puede usar ranuras de reactivación predeterminadas, información de ubicación y sincronización, así como Doppler y compensación de retardo en la etapa 1124. Si el dispositivo terminal pierde el canal proporcionado por la estación base debido a un cambio de ubicación en la etapa 1126, vuelve a la etapa 1100. Si después de la etapa 1100 la estación base tiene éxito con la sincronización con múltiples estaciones base en la etapa, en la etapa 1130, pasa a la etapa 1132 de acuerdo con la que puede adquirir su ubicación a través de triangulación celular directa, y puede descargar información de asistencia de sincronización de estación base.

Debe observarse que, ahora, para una red no terrestre, puede o no ser posible que el UE tenga vista de 4 estaciones base aerotransportadas o espaciales en todo momento. Por lo tanto, se propone un procedimiento de medición modificado. En este caso, únicamente se requiere que una o dos estaciones base estén a la vista del dispositivo terminal, ya sea un equipo de usuario o una puerta de enlace. El UE/puerta de enlace iniciará una solicitud de servicio de ubicación cuando su ubicación sea desconocida para una de las estaciones base aerotransportadas/espaciales visibles, que deberá usarse como la estación base de referencia. Esta solicitud se reenvía al servidor de ubicación en

la red a través del enlace inter-estación base. La red central dirigirá todas las estaciones base que se espera que sean visibles para el UE para preparar de manera preventiva los datos de asistencia de ubicación que se transmitirán al UE cuando sean visibles, esto se debe a que la red central conoce las rutas, trayectorias y ubicación instantánea de cada estación base aerotransportada/espacial dentro de la red celular no terrestre.

5 Si únicamente una estación base aerotransportada o espacial está disponible para el dispositivo terminal en cualquier momento, el hecho de que la posición de la estación base con respecto al dispositivo terminal evolucione constantemente a lo largo de la trayectoria de la estación base puede usarse preferentemente para acumular múltiples mediciones de la señal de referencia de posicionamiento, PRS, que se ha transmitido desde dicha misma estación base, pero en diferentes posiciones a lo largo de su trayectoria, y en instantes de tiempo correspondientemente diferentes.

15 Si un par de estaciones base es visible para el dispositivo terminal, este último realiza un primer conjunto de mediciones de las señales de referencia de posicionamiento, PRS, para el par de estaciones base visibles y almacena el resultado en un elemento de memoria. Una vez que las siguientes dos estaciones base están a la vista, en un momento posterior, el UE realiza el segundo conjunto de mediciones y así sucesivamente. De tal manera, el UE/puerta de enlace puede acumular múltiples conjuntos de medición de diferencia de tiempo de señal de referencia, RSTD, para el propósito de precisión tridimensional (al menos 3 conjuntos de mediciones de RSTD) a través de pasadas consecutivas y notificarlas de vuelta a la red central.

20 De manera similar, si 3 o más estaciones base son visibles al mismo tiempo, estas mediciones pueden realizarse simultáneamente y en tiempo real y notificarse de vuelta a la red central. La red central usa ahora estos conjuntos de información para calcular y proporcionar de vuelta una estimación de ubicación al UE a través de la siguiente estación base visible al UE/puerta de enlace. El servidor de ubicación en la red central asumirá las ubicaciones originales de las estaciones base en el momento cuando se enviaron las respectivas señales de PRS, incluso si la ubicación ha cambiado debido al movimiento continuado de las estaciones base.

25 El UE/puerta de enlace 110 puede usar esta estimación de ubicación 112 como su propia ubicación en combinación con el TLE 122' recibido de los satélites y actualizar sus planificaciones de reactivación, búsqueda de portadora adicional, procedimientos de sincronización, Doppler y estimación de retardo y precompensaciones.

Sincronización de tiempo y frecuencia

35 La operación de sistema, en una situación no terrestre, es decir, la comunicación entre un dispositivo terminal terrestre 110 (equipo de usuario o puerta de enlace) y una estación base celular aerotransportada/espacial 120, tiene que tratar con errores de frecuencia y tiempo para adquirir, sincronizar y establecer conectividad.

El error de frecuencia f_{err} en el sistema puede ser provocado principalmente por:

- 40 1. Desplazamiento Doppler f_d a través de la pasada debido al movimiento no terrestre de la estación base 120
- 2. Error de compensación de cristal del oscilador local f_{LO}
- 3. Desviación en el desplazamiento Doppler debido a las latencias de planificación

45 En el contexto de la presente descripción, el desplazamiento Doppler y la desviación Doppler (derivada del desplazamiento Doppler en el tiempo) se caracterizan por sus valores normalizados. El uso de valores normalizados mantiene los valores independientes de la frecuencia portadora usada. El desplazamiento Doppler normalizado es el desplazamiento Doppler dividido por su frecuencia portadora. La desviación Doppler normalizada es la desviación Doppler dividida por su frecuencia portadora.

50 Suponiendo, por ejemplo, una pasada aérea de una estación base de satélite 120 en la órbita LEO a 600 km de 60° a 60° de elevación sobre un dispositivo terminal terrestre 110, la Tabla I muestra la variación de desplazamiento Doppler y el retardo de propagación con respecto al ángulo de elevación. Por lo tanto, el sistema experimentaría un Doppler normalizado máximo de hasta 1,17e-05 y una desviación Doppler normalizada máxima de hasta 2,00e-03.

Elevación	Tiempo [s]	Desplazamiento Doppler normalizado	Desviación Doppler normalizada[s ⁻¹]	Retardo de propagación [s]	Desviación de retardo de prop	RTD [s]
60	0,00	1,17 E-05	-2,02 E-07	2,28 E-03	-1,16 E-05	4,56 E-03
60,5	0,87	1.15E-05	-2,05 E-07	2,27 E-03	-1,14 E-05	4,54 E-03
61	1,74	1,13 E-05	-2,08 E-07	2,26 E-03	-1,12 E-05	4,52 E-03

ES 2 973 036 T3

(continuación)

Elevación	Tiempo [s]	Desplazamiento Doppler normalizado	Desviación Doppler normalizada[s ⁻¹]	Retardo de propagación [s]	Desviación de retardo de prop	RTD [s]
61,5	2,60	1,11 E-05	-2,11 E-07	2,25 E-03	-1,10 E-05	4,50 E-03
62	3,45	1,09 E-05	-2,13 E-07	2,24 E-03	-1,09 E-05	4,48 E-03
62,5	4,29	1,08 E-05	-2,16 E-07	2,23 E-03	-1,07 E-05	4,46 E-03
63	5,13	1,06 E-05	-2,18 E-07	2,22 E-03	-1,05 E-05	4,44 E-03
63,5	5,96	1,04 E-05	-2,21 E-07	2,21 E-03	-1,03 E-05	4,43 E-03
64	6,79	1,02 E-05	-2,24 E-07	2,20 E-03	-1,01 E-05	4,41 E-03
64,5	7,61	1,00 E-05	-2,26 E-07	2,20 E-03	-9,95 E-06	4,39 E-03
65	8,42	9,85 E-06	-2,29 E-07	2,19 E-03	-9,76 E-06	4,38 E-03
65,5	9,23	9,67 E-06	-2,31 E-07	2,18 E-03	-9,58 E-06	4,36 E-03
66	10,04	9,48 E-06	-2,33 E-07	2,17 E-03	-9,39 E-06	4,34 E-03
66,5	10,83	9,30 E-06	-2,36 E-07	2,16 E-03	-9,20 E-06	4,33 E-03
67	11,63	9,11 E-06	-2,38 E-07	2,16 E-03	-9,02 E-06	4,32 E-03
67,5	12,41	8,92 E-06	-2,41 E-07	2,15 E-03	-8,83 E-06	4,30 E-03
68	13,20	8,74 E-06	-2,43 E-07	2,14 E-03	-8,64 E-06	4,29 E-03
68,5	13,97	8,55 E-06	-2,45 E-07	2,14 E-03	-8,45 E-06	4,27 E-03
69	14,75	8,36 E-06	-2,47 E-07	2,13 E-03	-8,26 E-06	4,26 E-03
69,5	15,52	8,17 E-06	-2,50 E-07	2,12 E-03	-8,07 E-06	4,25 E-03
70	16,28	7,98 E-06	-2,52 E-07	2,12 E-03	-7,88 E-06	4,24 E-03
70,5	17,04	7,78 E-06	-2,54 E-07	2,11 E-03	-7,69 E-06	4,22 E-03
71	17,80	7,59 E-06	-2,56 E-07	2,11 E-03	-7,50 E-06	4,21 E-03
71,5	18,55	7,40 E-06	-2,58 E-07	2,10 E-03	-7,30 E-06	4,20 E-03
72	19,30	7,21 E-06	-2,60 E-07	2,09 E-03	-7,11 E-06	4,19 E-03
72,5	20,05	7,01 E-06	-2,62 E-07	2,09 E-03	-6,92 E-06	4,18 E-03
73	20,79	6,82 E-06	-2,64 E-07	2,08 E-03	-6,72 E-06	4,17 E-03
73,5	21,53	6,62 E-06	-2,66 E-07	2,08 E-03	-6,53 E-06	4,16 E-03
74	22,26	6,43 E-06	-2,68 E-07	2,07 E-03	-6,33 E-06	4,15 E-03
74,5	22,99	6,23 E-06	-2,69 E-07	2,07 E-03	-6,13 E-06	4,14 E-03
75	23,72	6,04 E-06	-2,71 E-07	2,07 E-03	-5,94 E-06	4,13 E-03
75,5	24,45	5,84 E-06	-2,73 E-07	2,06 E-03	-5,74 E-06	4,12 E-03
76	25,17	5,64 E-06	-2,74 E-07	2,06 E-03	-5,54 E-06	4,11 E-03

(continuación)

Elevación	Tiempo [s]	Desplazamiento Doppler normalizado	Desviación Doppler normalizada[s ⁻¹]	Retardo de propagación [s]	Desviación de retardo de prop	RTD [s]
76,5	25,89	5,44 E-06	-2,76 E-07	2,05 E-03	-5,34 E-06	4,11 E-03
77	26,61	5,25 E-06	-2,78 E-07	2,05 E-03	-5,15 E-06	4,10 E-03
77,5	27,32	5,05 E-06	-2,79 E-07	2,05 E-03	-4,95 E-06	4,09 E-03
78	28,04	4,85 E-06	-2,80 E-07	2,04 E-03	-4,75 E-06	4,08 E-03
78,5	28,75	4,65 E-06	-2,82 E-07	2,04 E-03	-4,55 E-06	4,08 E-03
79	29,45	4,45 E-06	-2,83 E-07	2,04 E-03	-4,35 E-06	4,07 E-03
79,5	30,16	4,25 E-06	-2,84 E-07	2,03 E-03	-4,15 E-06	4,06 E-03
80	30,86	4,05 E-06	-2,86 E-07	2,03 E-03	-3,95 E-06	4,06 E-03
80,5	31,57	3,85 E-06	-2,87 E-07	2,03 E-03	-3,75 E-06	4,05 E-03
81	32,27	3,65 E-06	-2,88 E-07	2,02 E-03	-3,55 E-06	4,05 E-03
81,5	32,97	3,45 E-06	-2,89 E-07	2,02 E-03	-3,35 E-06	4,04 E-03
82	33,66	3,25 E-06	-2,90 E-07	2,02 E-03	-3,14 E-06	4,04 E-03
82,5	34,36	3,04 E-06	-2,91 E-07	2,02 E-03	-2,94 E-06	4,03 E-03
83	35,05	2,84 E-06	-2,92 E-07	2,02 E-03	-2,74 E-06	4,03 E-03
83,5	35,75	2,64 E-06	-2,92 E-07	2,01 E-03	-2,54 E-06	4,03 E-03
84	36,44	2,44 E-06	-2,93 E-07	2,01 E-03	-2,34 E-06	4,02 E-03
84,5	37,13	2,23 E-06	-2,94 E-07	2,01 E-03	-2,13 E-06	4,02 E-03
85	37,82	2,03 E-06	-2,94 E-07	2,01 E-03	-1,93 E-06	4,02 E-03
85,5	38,51	1,83 E-06	-2,95 E-07	2,01 E-03	-1,73 E-06	4,01 E-03
86	39,19	1,63 E-06	-2,96 E-07	2,01 E-03	-1,53 E-06	4,01 E-03
86,5	39,88	1,42 E-06	-2,96 E-07	2,00 E-03	-1,32 E-06	4,01 E-03
87	40,57	1,22 E-06	-2,96 E-07	2,00 E-03	-1,12 E-06	4,01 E-03
87,5	41,25	1,02 E-06	-2,97 E-07	2,00 E-03	-9,15 E-07	4,01 E-03
88	41,94	8,14 E-07	-2,97 E-07	2,00 E-03	-7,12 E-07	4,00 E-03
88,5	42,62	6,10 E-07	-2,97 E-07	2,00 E-03	-5,09 E-07	4,00 E-03
89	43,31	4,07 E-07	-2,97 E-07	2,00 E-03	-3,05 E-07	4,00 E-03
89,5	43,99	2,03 E-07	-2,97 E-07	2,00 E-03	-1,02 E-07	4,00 E-03
90	44,68	0,00 E+00		2,00 E-03		4,00 E-03

Tabla 1: Doppler y retardo de propagación

El error de temporización t_{err} en el sistema puede ser provocado principalmente por:

1. Retardo de propagación t_d a través del paso debido al movimiento no terrestre de la estación base 120

- 2. Error de reloj de oscilador local t_{LO}
- 3. Variación del retardo de propagación provocado por el cambio en la posición de la estación base durante el paso debido a las latencias de planificación

5 La Tabla 2 representa la variación del retardo de ida y vuelta (RTD) entre 30° de elevación a 90° de elevación para el mismo ejemplo.

Ángulo de elevación	Retardo de ida y vuelta (RTD) [ms]
30°	7,17
35°	6,45
40°	5,89
45°	5,44
50°	5,08
55°	4,79
60°	4,56
65°	4,38
70°	4,24
75°	4,13
80°	4,06
85°	4,02
90°	4,00

Tabla 2: Ángulo de elevación frente a retardo de ida y vuelta

10 Cabe señalar que, para un paso de elevación de 60° a 90°, todos los UE experimentan una parte integral constante del RTD de 4 ms. La parte fraccionaria varía entre 0,001 ms y 0,560 ms.

15 De acuerdo con una realización preferida, la operación de sistema global puede dividirse en 3 etapas funcionales, en concreto; Reactivación de UE, sincronización de frecuencia y tiempo y operación de protocolo. Para establecer conectividad, el UE debe poder reactivarse durante un paso de satélite disponible, adquirir la estimación de frecuencia de portadora y rastrear el desplazamiento relativo de frecuencia y retardo precompensado por el UE antes de cada transmisión de enlace ascendente.

20 La primera etapa es para la capacidad del UE de determinar cuándo debe reactivarse para establecer comunicación con la estación base. Para este fin, el UE debe tener el conjunto de datos enriquecido con respecto a la información de trayectoria de cada estación base (en este ejemplo, el TLE de satélite) y su propia ubicación geográfica. La operación de UE cuando se conoce su propia ubicación se muestra en la Figura 18, empezando en la etapa 2000. En la etapa 2100, el dispositivo terminal/UE realiza un procedimiento de adquisición ciega de un canal de portadora. En la etapa 2110, se sincroniza con una estación base aerotransportada/espacial, y descarga únicamente información de sincronización de estación base limitada en la etapa 2112 posterior, antes de iterar el proceso para acumular información de sincronización a lo largo del tiempo. Una vez que se ha acumulado suficiente información de asistencia, el dispositivo terminal calcula, en la etapa 2120, valores previstos o estimaciones para la posición de la estación base, experimenta compensación/desviación Doppler, retardo de temporización, etc... Esta información se usa a continuación en la etapa 2122 para reactivar de acuerdo con las ranuras de reactivación así calculadas, y para compensar los errores Doppler y de retardo en la portadora. Una vez que la información de trayectoria para una estación base dada expira en la etapa 2124, el bucle de adquisición se inicia de nuevo en la etapa 2110.

35 Usando este concepto, como un ejemplo, consideremos los procedimientos implicados para NB-IoT. La primera etapa para la sincronización es adquirir la trama y la temporización de símbolo y la frecuencia a partir de las señales de sincronización en la capa física. Esto se hace por el bloque de sincronización de temporización y frecuencia en la arquitectura de UE como se muestra en la Figura 14. Este bloque estima el Doppler y la compensación de la frecuencia.

Para la sincronización de frecuencia, el proceso implica:

• Estimación de frecuencia: Este es el proceso de estimación de los componentes de frecuencia complejos de una señal en presencia de ruido o degradaciones de canal.

• Compensación de frecuencia: Una vez que se estima la frecuencia, a continuación, se calcula la desviación de la frecuencia de reloj local con la frecuencia estimada y esta desviación de frecuencia calculada se compensa para decodificar los canales adicionales

• Rastreo de frecuencia: una vez que se estima la frecuencia y se calcula la desviación, a continuación, tiene que monitorizarse y rastrearse constantemente para mantener la desviación por debajo de un cierto límite.

• Precompensación: La compensación de frecuencia estimada y el error de temporización se usan como entrada para accionar el extremo frontal analógico para precompensar la transmisión de enlace ascendente.

La temporización y frecuencia adquiridas del enlace descendente permite que el UE se sincronice inicialmente con respecto a la carga útil no terrestre, decodifique el canal de difusión y otras transmisiones de enlace descendente.

Esta compensación de frecuencia estimada también se introduce en el bloque de control de temporización y frecuencia que se usa para precompensar y corregir el desplazamiento Doppler y los errores de frecuencia y temporización del oscilador local durante la transmisión de enlace ascendente. A tal efecto, puede añadirse un valor de compensación de tiempo a la temporización de una transmisión de datos planificada, y puede añadirse un valor de compensación de frecuencia a la frecuencia de transmisión de una transmisión de datos planificada a la estación base. Como alternativa, esta compensación de frecuencia estimada y la desviación Doppler media/mediana/mínima/real prevista también se introducen en el bloque de control de temporización y frecuencia que se usa para precompensar y corregir el desplazamiento Doppler, la desviación Doppler y los errores de frecuencia y temporización del oscilador local durante la transmisión de enlace ascendente. De hecho, como se detalla en la Tabla 1, la desviación Doppler siempre es negativa y está comprendida dentro de un alcance predefinido. Precompensar el enlace ascendente usando la compensación de frecuencia estimada y a continuación añadir la desviación Doppler mínima/mediana/real va a reducir la compensación de frecuencia residual durante la transmisión de enlace ascendente.

Como alternativa, el bloque de sincronización de temporización y frecuencia puede ser asistido por entradas externas del Doppler y el mapa de predicción de retardo calculado por la capa de aplicación y gestión para lograr la sincronización e implementar la precompensación. Por ejemplo, filtrar el retardo medido y Doppler usando los valores previstos puede aumentar la precisión.

Por ejemplo, conocer la posición del terminal de usuario y la estación base permite determinar el desplazamiento Doppler y el retardo de propagación.

\vec{r}_1 es la posición fija de Tierra centrada en la Tierra (ECEF) del terminal de usuario \vec{r}_2 es la posición de ECEF del satélite
 \vec{r}_3 es la posición relativa entre el terminal de usuario y el satélite = $\vec{r}_2 - \vec{r}_1$.

Es relativamente fácil calcular el desplazamiento Doppler y el retardo de propagación si todos los vectores de estado están en la misma trama que ECEF (trama centrada en la Tierra, fija en la Tierra). Los índices "sat" y "ue" son respectivamente el satélite y el terminal de usuario.

$$p_{sat} = [X_{sat}, Y_{sat}, Z_{sat}] = \vec{r}_2 \Rightarrow [m]$$

$$v_{sat} = [X_{sat}, Y_{sat}, Z_{sat}] \Rightarrow [m/s]$$

$$p_{ue} = [X_{sat}, Y_{sat}, Z_{sat}] = \vec{r}_1 \Rightarrow [m]$$

$$v_{ue} = [0; 0; 0]$$

$$c = \text{velocidad de una onda electromagnética} [m/s]$$

En este punto, la velocidad del terminal de usuario en ECEF se considera como cero.

Esto significa que el terminal de usuario no se está moviendo.

El retardo de propagación es simplemente la distancia entre el terminal de usuario y el satélite (el alcance) dividida por la velocidad de una onda electromagnética (c) como se muestra en

$$\text{retardo}_{prop} = \frac{(\|p_{sat} - p_{ue}\|)}{c} = \frac{\|\vec{r}_3\|}{c} \Rightarrow \frac{[m]}{[m/s]} \Rightarrow [s]$$

El desplazamiento Doppler es el producto escalar entre el vector de velocidad del satélite y el vector de alcance normalizado

$$5 \quad doppler_{desplazamiento} = \left(\frac{\vec{v}_{sat} \cdot \vec{r}_3}{||\vec{r}_3||} \right) * \frac{frecuencia}{c} \Rightarrow \left(\left[\frac{m}{s} \right] * \left[\frac{m}{m} \right] \right) * \frac{[Hz]}{[m/s]} \Rightarrow [Hz]$$

10 Cabe señalar que, en la capa física, únicamente se corrigen y precompensan los errores de temporización del LO para la transmisión de enlace ascendente, pero el desplazamiento en el tiempo de llegada, TOA, debido al retardo de propagación no se corrige por este bloque. De esto se encarga el comando de avance de temporización que se emite por el Enodo B como una parte del mensaje de capa de MAC al UE. Esto se describe en la siguiente sección.

15 Cabe señalar que, como se analiza en la Tabla II, los UE experimentan un retardo de ida y vuelta, RTD, de al menos 4 ms que siempre puede tenerse en cuenta e ignorarse por el planificador (del eNodo B) para la recepción de enlace ascendente o por medio de asignación de recursos preventiva por el controlador de MAC de UE considerando la parte fija de RTD.

20 Para la parte fraccionaria del RTD, a 70° de elevación, la variación es de 0,240 ms, que puede comunicarse mediante el comando de avance de temporización desde la capa de MAC del Enodo B como parte del mensaje de respuesta de acceso aleatorio (para NPRACH) o el elemento de control de MAC (CE de MAC) para el NPUSCH. El concepto de avance de temporización se representa en las Figuras 19a y 19b.

25 Después de que un UE 110 haya sincronizado en primer lugar su receptor con las transmisiones de enlace descendente recibidas desde el Enodo B 120, se establece el avance de temporización inicial por medio del procedimiento de acceso aleatorio. Esto implica que el UE transmita un preámbulo de acceso aleatorio en el enlace ascendente a partir del cual el eNodo B estima la compensación de temporización de enlace ascendente inicial. El Enodo B responde con un comando de avance de temporización inicial de 11 bits contenido dentro de la respuesta de acceso aleatorio (RAR) que es un mensaje de capa de MAC. Este valor de avance de temporización se usa por el UE para alinearse así mismo en el tiempo para la transmisión de enlace ascendente consecutiva.

30 Para describir la operación del sistema, se considera la situación de ejemplo en la Figura 20.

35 Una vez que el UE 110 se reactiva en T_0 y lleva T_1 ms para adquirir las señales de sincronización de enlace descendente (NPSS y NSSS) y lograr la sincronización de trama y tiempo en relación con el Enodo B de satélite 120, después de lo que puede decodificar las señales de difusión en T_2 ms mientras rastrea el enlace descendente (desplazamiento de frecuencia y desplazamiento de retardo). Puede estimar el desplazamiento de frecuencia y retardo en el enlace descendente hasta T_2 ms. El UE espera la siguiente ventana de acceso aleatorio disponible y transmite el preámbulo de acceso aleatorio en T_3 ms. Sin embargo, el UE no puede estimar el desplazamiento en la frecuencia y el retardo durante este período de latencia de acceso aleatorio (tiempo de procesamiento de UE para la preparación y transmisión del preámbulo) de $T_3 - T_2$ ms. El UE deberá transmitir el preámbulo de acceso aleatorio en T_3 después de precompensar este desplazamiento en el retardo y la frecuencia estimada en T_2 . Una alternativa sería añadir la media, la mediana, el mínimo o el Doppler previsto y la desviación de tiempo a la estimación de retardo y frecuencia como sigue:

45 Para la compensación de frecuencia usando la desviación Doppler media: $F_{global} = F_{DLestim} + F_{media-desviación} * t_{DL-latencia}$.

Para la compensación de frecuencia usando la desviación Doppler de mediana: $F_{global} = F_{DLestim} + F_{mediana-desviación} * t_{DL-latencia}$.

Para la compensación de frecuencia usando la desviación Doppler mínima: $F_{global} = F_{DLestim} + F_{min-desviación} * t_{DL-latencia}$. Pueden usarse otros métodos de filtrado.

50 Sin embargo, una vez que ha transmitido el preámbulo de acceso aleatorio, el UE conmuta al modo de recepción y puede rastrear el enlace descendente de nuevo usando los símbolos de referencia en el enlace descendente y el prefijo cíclico de los mensajes de enlace descendente recibidos.

55 La estación base 120 recibe el preámbulo en T_4 ms, estima el desplazamiento en el retardo del preámbulo provocado durante $T_4 - T_2$ ms para la demodulación del preámbulo y prepara la respuesta de acceso aleatorio (RAR) y la transmite dentro del período de latencia de RAR mínimo (que es configurable por el planificador y tiene en cuenta la parte entera del retardo de propagación para preplanificar el RAR) en T_5 ms. La estación base también puede comunicar el desplazamiento relativo (parte fraccionaria del RTD) en el tiempo real de llegada del preámbulo frente al tiempo de llegada esperado en el comando de avance de temporización.

60 Mientras el UE 110 está escuchando el enlace descendente para su RAR correspondiente, puede mantener la sincronización y estima el desplazamiento en frecuencia y el retardo en la capa física hasta que recibe su RAR en T_6 ms.

65

- Esto se toma como entrada por el controlador de MAC del UE para preparar y precompensar la transmisión de canal compartido de enlace ascendente en T_7 ms. Sin embargo, el UE no puede rastrear el desplazamiento de frecuencia y retardo durante el período de latencia de canal compartido de enlace ascendente de $T_7 - T_6$ ms y transmite el paquete de canal compartido de enlace ascendente sin precompensar los desplazamientos durante este período. Una alternativa sería añadir la media, la mediana, el mínimo o el Doppler previsto y la desviación de tiempo a la estimación de retardo y frecuencia como sigue para la compensación de frecuencia usando la desviación Doppler media: $F_{\text{global}} = F_{\text{DLestim}} + F_{\text{media-desviación}} * t_{\text{DL-UL}}$ latencia. Una vez que finaliza la transmisión, el UE puede reanudar el rastreo del enlace descendente desde T_7 ms hasta T_{12} ms.
- 5
- 10 La estación base recibe el paquete de canal compartido de enlace ascendente con el desplazamiento de frecuencia y retardo no compensado por el UE para el periodo de latencia de canal compartido de enlace ascendente (procesamiento de UE para preparación de paquetes) y decodifica el canal compartido de enlace ascendente. La eficiencia de este estimador de desplazamiento de frecuencia y retardo en la estación base es un factor determinista sobre la tolerancia del error en la precompensación por el UE para el enlace ascendente debido a los períodos de latencia entre el tiempo de recepción del último enlace descendente a la correspondiente transmisión de enlace ascendente.
- 15
- Esta secuencia es válida para todas las transmisiones de enlace ascendente y enlace descendente consecutivas para toda la secuencia de protocolo siempre que el estimador se realice con la tolerancia aceptable. De lo contrario, si en algún límite el error del estimador supera la tolerancia, se requiere una resincronización.
- 20
- Los aspectos descritos de acuerdo con las realizaciones pueden usarse como métodos distintos (para ubicación de UE, para precompensación Doppler/tiempo en el enlace ascendente, etc.) o pueden combinarse entre sí a menos que se indique específicamente lo contrario.
- 25
- Basándose en la descripción y las figuras que se han proporcionado, un experto en la materia podrá desarrollar un programa informático para implementar los métodos descritos sin una carga indebida.
- 30
- El alcance de protección se define mediante el siguiente conjunto de reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método de control para un dispositivo terminal (110, 210, 310, 410) en una red de comunicación de datos celular no terrestre (100, 200, 300, 400), comprendiendo la red al menos una estación base aerotransportada o espacial (120, 220, 320, 420) que se mueve a lo largo de una trayectoria de vuelo (122), para conectar el dispositivo terminal a dicha red, comprendiendo el método las siguientes etapas:
- 5 proporcionar datos de trayectoria de vuelo (122') para dicha estación base (120) en un elemento de memoria de dicho dispositivo terminal (110);
proporcionar datos de ubicación de terminal (112) en un elemento de memoria de dicho dispositivo terminal (110);
10 determinar, usando una unidad de procesamiento de datos, ranuras de tiempo, durante las que se estima que está disponible un canal de comunicación inalámbrica (130) entre dicho dispositivo terminal (110, 210, 310, 410) y dicha estación base (120, 220, 320, 420), basándose en dichos datos de trayectoria de vuelo (122') y en dichos datos de ubicación de terminal (112);
planificar, usando una unidad de procesamiento de datos, una recepción o transmisión de datos entre dicho dispositivo terminal y dicha estación base durante una ranura de tiempo de dichas ranuras de tiempo determinadas,
15 estando caracterizado el método por:
recibir durante dicha ranura de tiempo planificada en dicho dispositivo terminal (110, 210, 310, 410) una señal de sincronización desde dicha estación base (120, 220, 320, 420), llevando la señal de sincronización datos que indican información de temporización y frecuencia de transmisión;
20 calcular, usando una unidad de procesamiento de datos, un desplazamiento de tiempo observado basándose en el tiempo de recepción de dicha señal de sincronización y en la información de temporización indicada en la misma; y
compensar de manera preventiva el tiempo planificado de transmisión por un valor de compensación de tiempo durante una transmisión de datos posterior a dicha estación base (120, 220, 320, 420), teniendo en cuenta dicho valor de compensación de tiempo dicho desplazamiento de tiempo observado.
- 25
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que calcula, además, por dicho dispositivo terminal (110, 210, 310, 410) usando dicha unidad de procesamiento de datos y basándose en dichos datos de trayectoria de vuelo (122'), valores de estimación para dicha estación base, comprendiendo los valores de estimación uno o más de una posición futura, elevación, velocidad, desplazamiento Doppler, desviación Doppler, retardo de propagación, derivadas de dicho desplazamiento Doppler o retardo de propagación, y almacenar estos valores de estimación en un elemento de memoria.
- 30
3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicho valor de compensación de tiempo tiene en cuenta además una compensación de temporización constante que es una función de la posición de la estación base.
- 35
4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, que calcula, además, por el dispositivo terminal (110, 210, 310, 410) y usando una unidad de procesamiento de datos, un desplazamiento Doppler observado basándose en una frecuencia de recepción para dicha señal de sincronización y en la frecuencia de transmisión indicada en la misma, y compensando además de manera preventiva, por el dispositivo terminal, dicha frecuencia de transmisión por un valor de compensación de frecuencia durante una transmisión de datos posterior a dicha estación base (120, 220, 320, 420), teniendo en cuenta dicho valor de compensación de frecuencia dicho desplazamiento Doppler observado.
- 40
5. El método de acuerdo con las reivindicaciones 2 y 4, en donde dicho valor de compensación de frecuencia tiene además en cuenta cualquiera de dichos valores de desplazamiento Doppler estimados, desviación Doppler, una derivada del desplazamiento Doppler observado, en el momento de dicha transmisión de datos posterior.
- 45
6. Un dispositivo terminal (110, 210, 310, 410) para una red de comunicación de datos celular no terrestre (100, 200, 300, 400), comprendiendo el dispositivo terminal:
una unidad de transmisión de datos,
una unidad de recepción de datos,
un elemento de memoria para almacenar datos de trayectoria de vuelo de una estación base aerotransportada o espacial de dicha red,
un elemento de memoria para almacenar datos de ubicación de terminal, y
55 una unidad de procesamiento, en donde la unidad de procesamiento está configurada para:
determinar ranuras de tiempo,
durante las que se estima que está disponible un canal de comunicación inalámbrica entre dicho dispositivo terminal y dicha estación base, basándose en dichos datos de trayectoria de vuelo y en dichos datos de ubicación de terminal, y para planificar una recepción o transmisión de datos entre dicho dispositivo terminal y dicha estación base durante una ranura de tiempo de dichas ranuras de tiempo determinadas,
60 una ranura de tiempo de dichas ranuras de tiempo determinadas,
caracterizado por que:
la unidad de recepción de datos está configurada para recibir durante dicha ranura de tiempo planificada una señal de sincronización desde dicha estación base (120, 220, 320, 420), llevando la señal de sincronización datos que indican información de temporización y frecuencia de transmisión; y
65 dicha unidad de procesamiento de datos está configurada para calcular un desplazamiento de tiempo observado basándose en el tiempo de recepción de dicha señal de sincronización y en la información de temporización indicada

en la misma, y para compensar de manera preventiva el tiempo de transmisión planificado en un valor de compensación de tiempo durante una transmisión de datos posterior a dicha estación base (120, 220, 320, 420), teniendo en cuenta dicho valor de compensación de tiempo dicho desplazamiento de tiempo observado.

- 5 7. El dispositivo terminal de acuerdo con la reivindicación 6, en donde dicho dispositivo terminal es un equipo de usuario o un nodo de puerta de enlace terrestre que da servicio a una pluralidad de equipos de usuario.
8. El dispositivo terminal de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, en donde la unidad de procesamiento está configurada además para implementar las etapas de método basadas en dispositivo terminal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5.
- 10
9. Un sistema de comunicación de datos celular no terrestre (100, 200, 300, 400) que comprende al menos un dispositivo terminal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, y al menos una estación base aerotransportada o espacial (120, 220, 320, 420) para una red de comunicación de datos celular no terrestre.
- 15
10. El sistema de comunicación de datos celular no terrestre de acuerdo con la reivindicación 9, en donde la al menos una estación base aerotransportada o espacial (120, 220, 320, 420) comprende:
una unidad de transmisión de datos,
una unidad de recepción de datos,
un elemento de memoria, y
una unidad de procesamiento de datos, en donde la unidad de procesamiento de datos está configurada para transmitir datos que describen una trayectoria de vuelo proyectada o real de la estación base y para transmitir una señal de sincronización que lleva datos que indican información de temporización y frecuencia de transmisión.
- 20
11. Un programa informático que comprende medios de código legible por ordenador, que cuando se ejecuta en un ordenador, hace que el ordenador lleve a cabo el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.
- 25
12. Un producto de programa informático que comprende un medio legible por ordenador en el que se almacena el programa informático de acuerdo con la reivindicación 11.

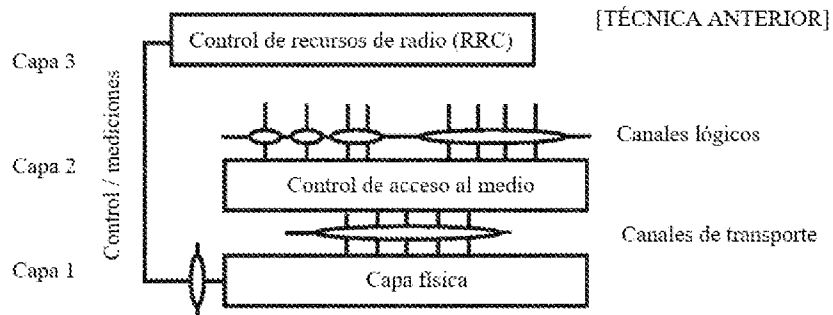


Fig. 1

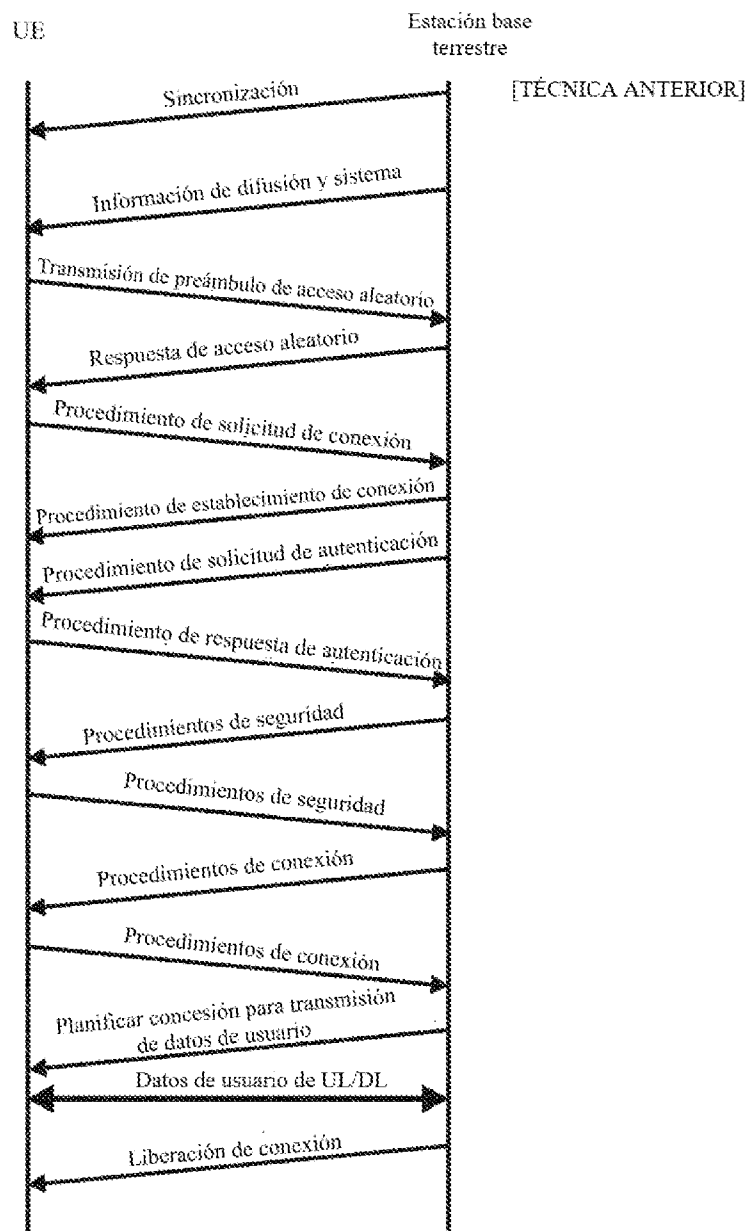
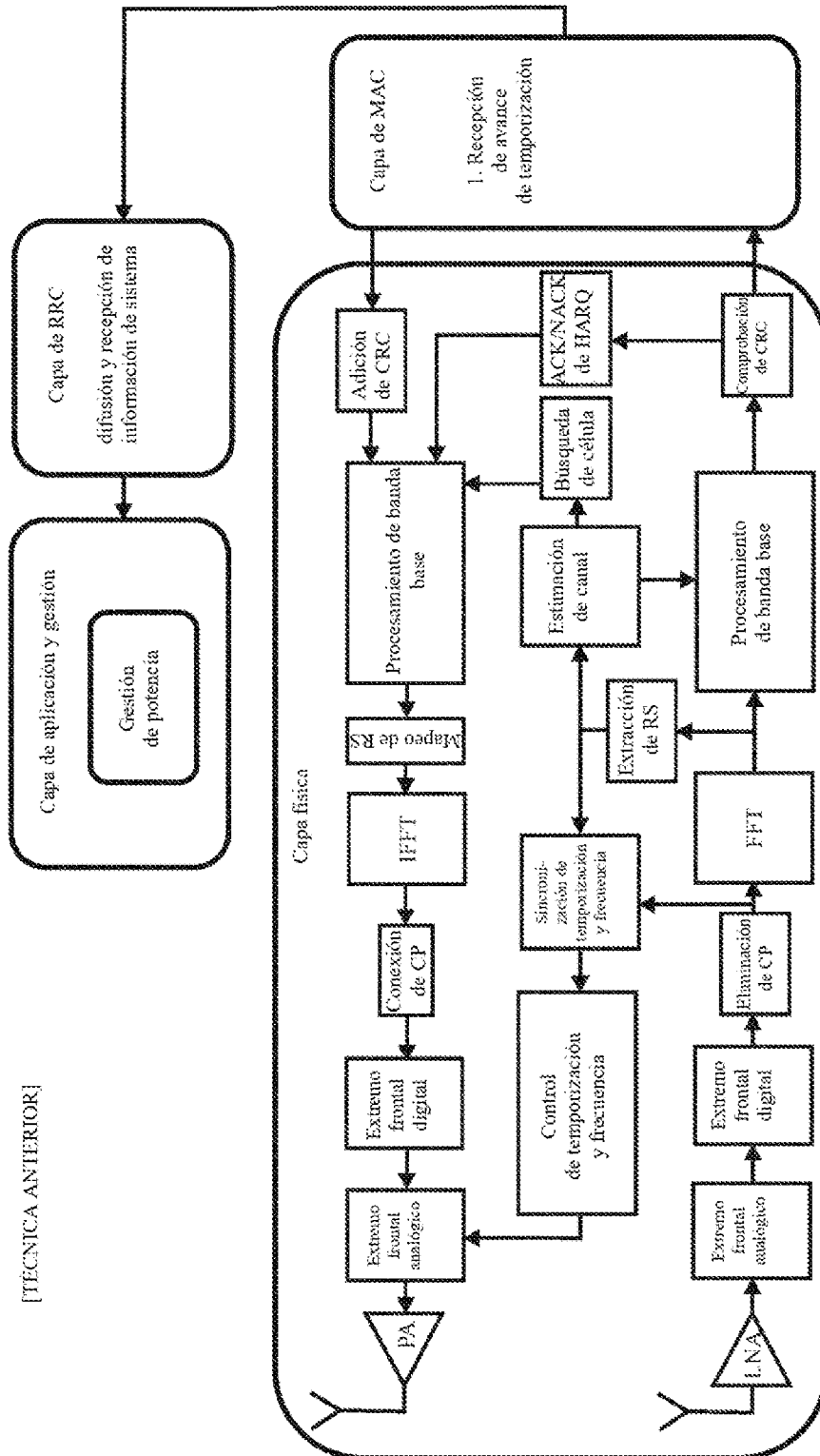


Fig. 2



[TÉCNICA ANTERIOR]

Fig. 3

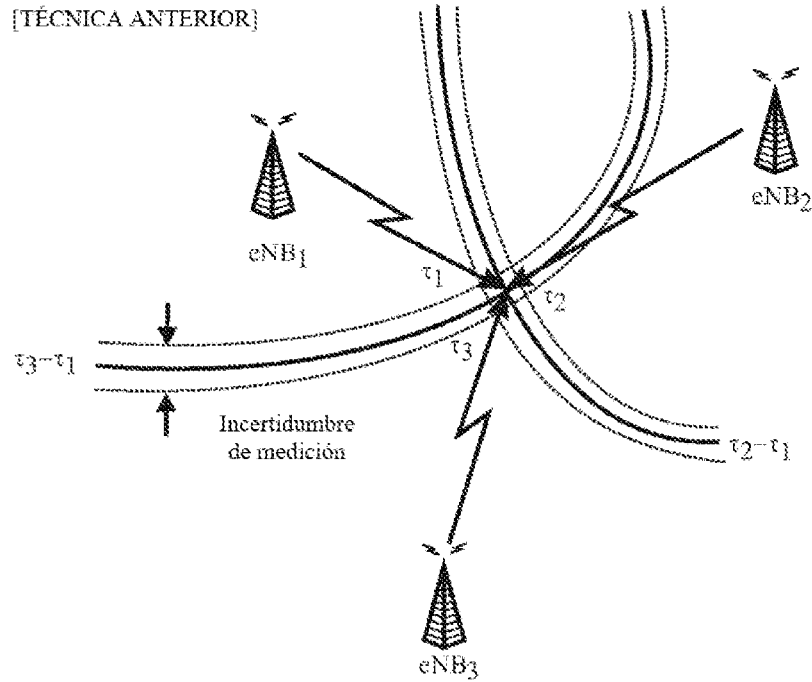


Fig. 4

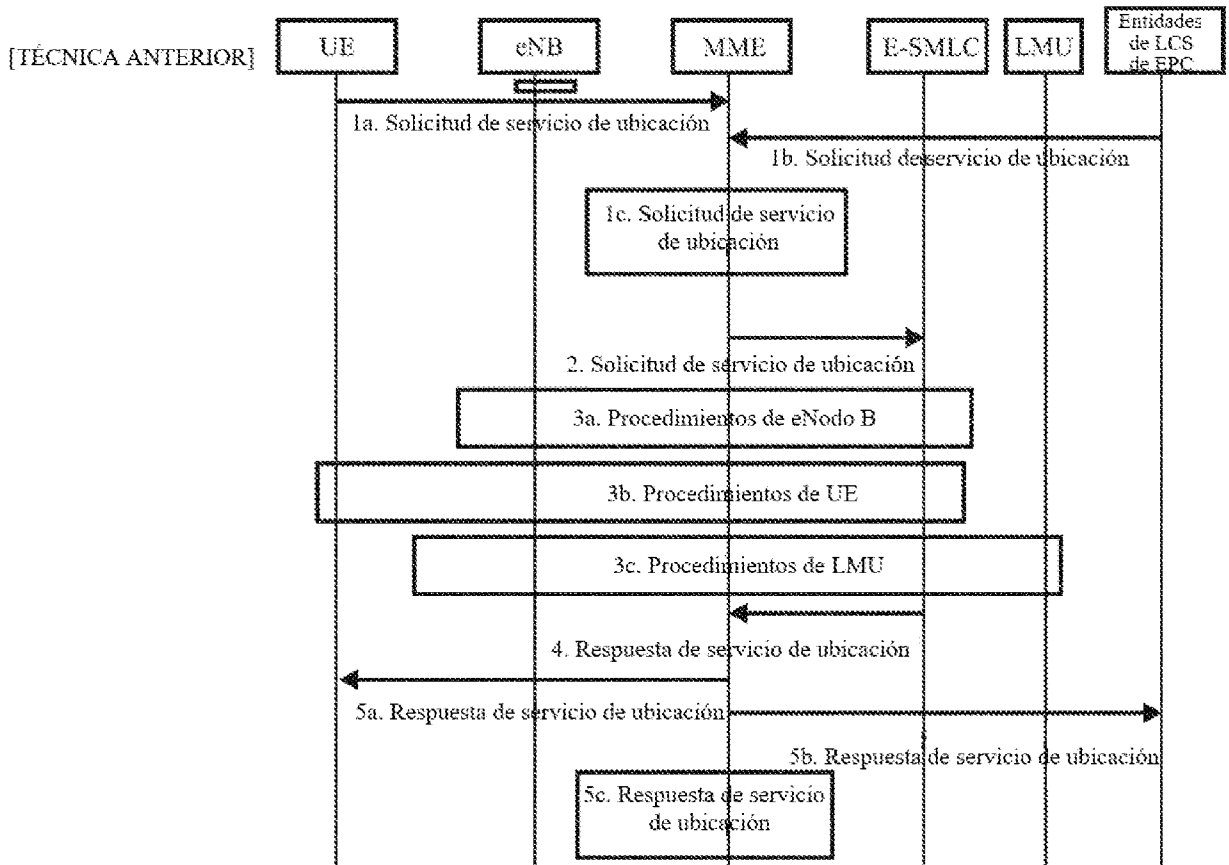


Fig. 5



Fig. 6

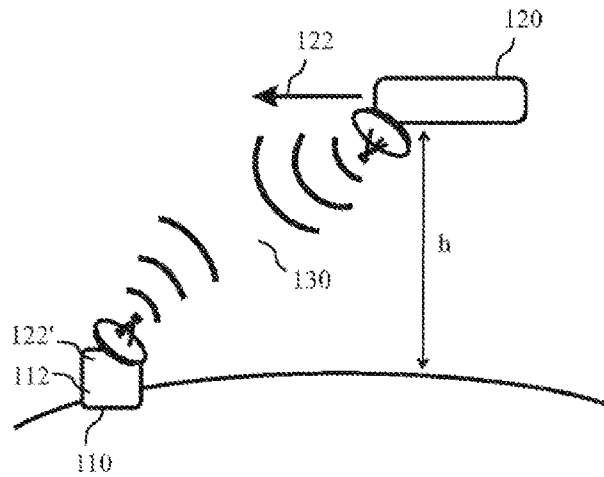


Fig. 7

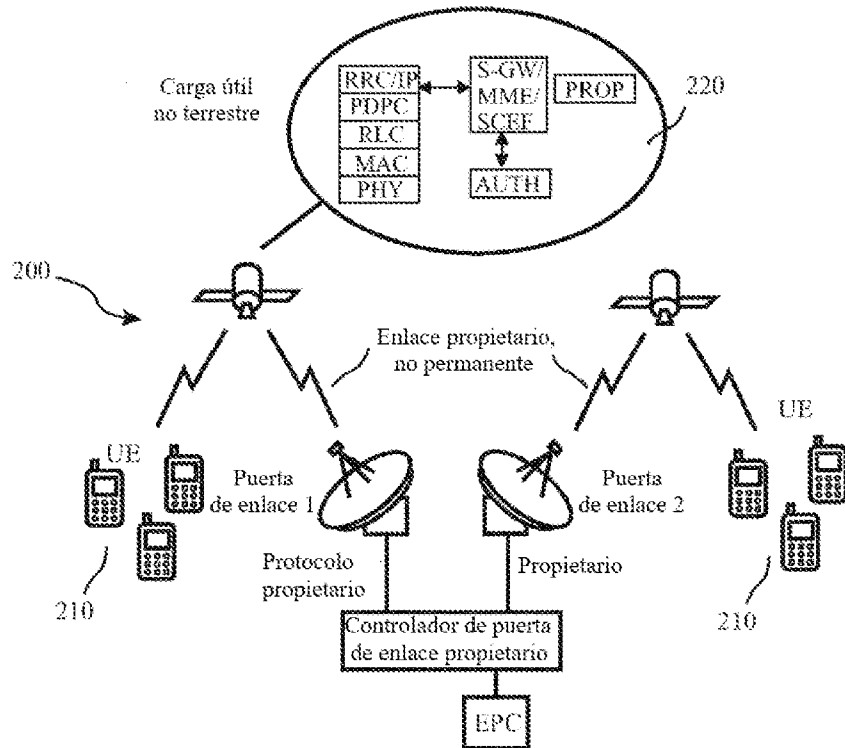


Fig. 8

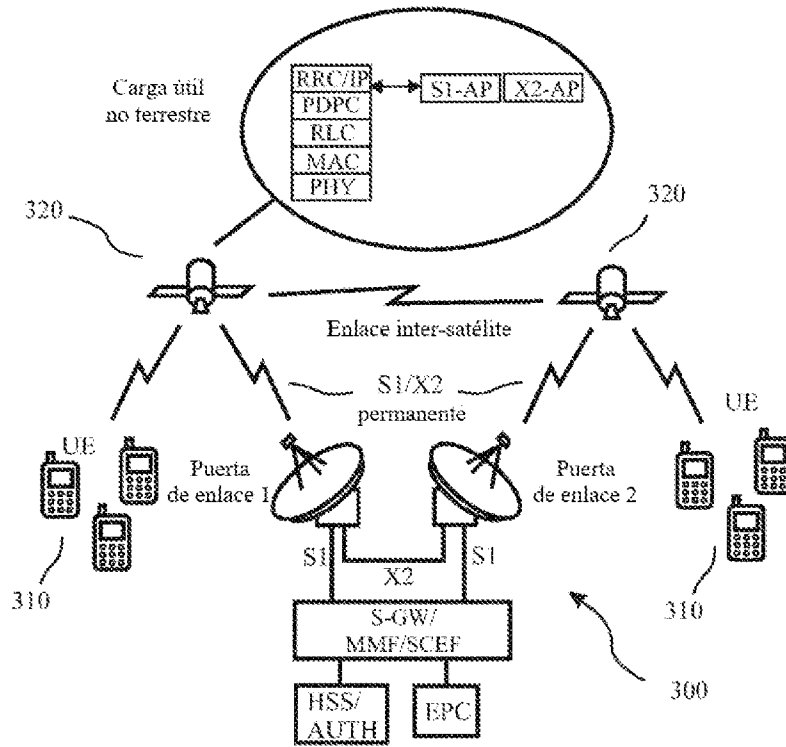


Fig. 9

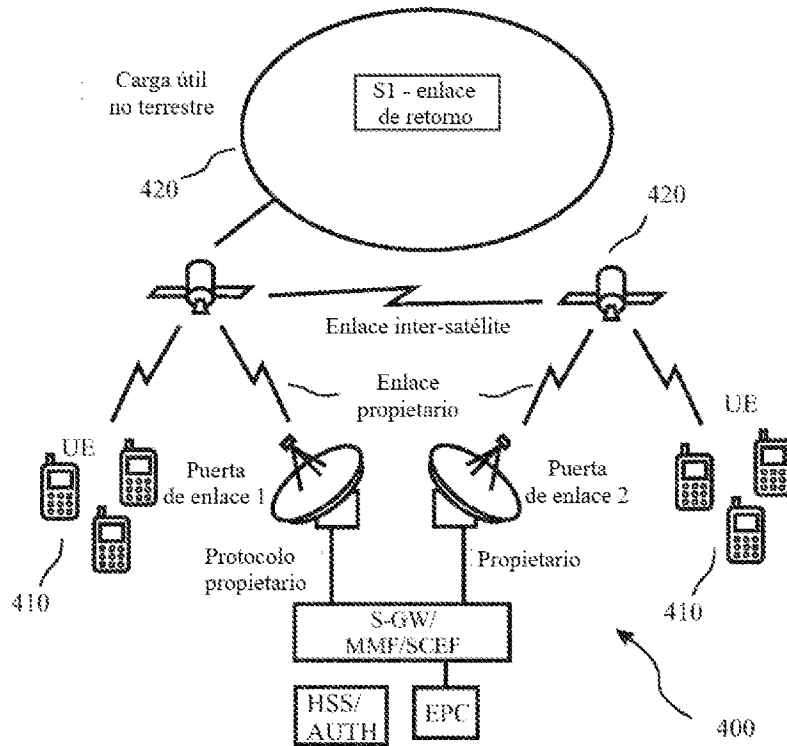


Fig. 10

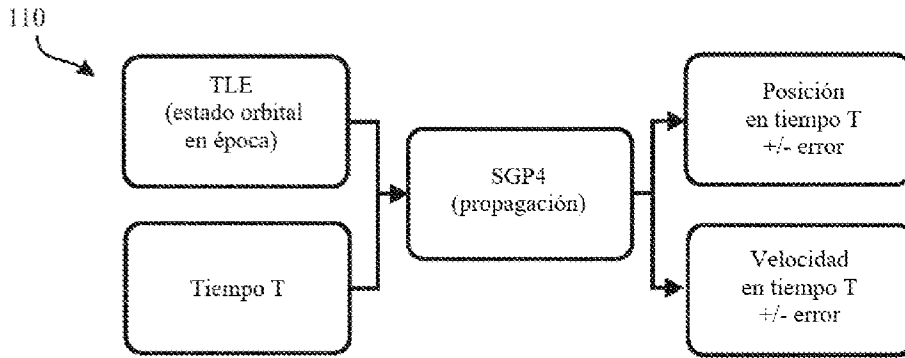


Fig. 11

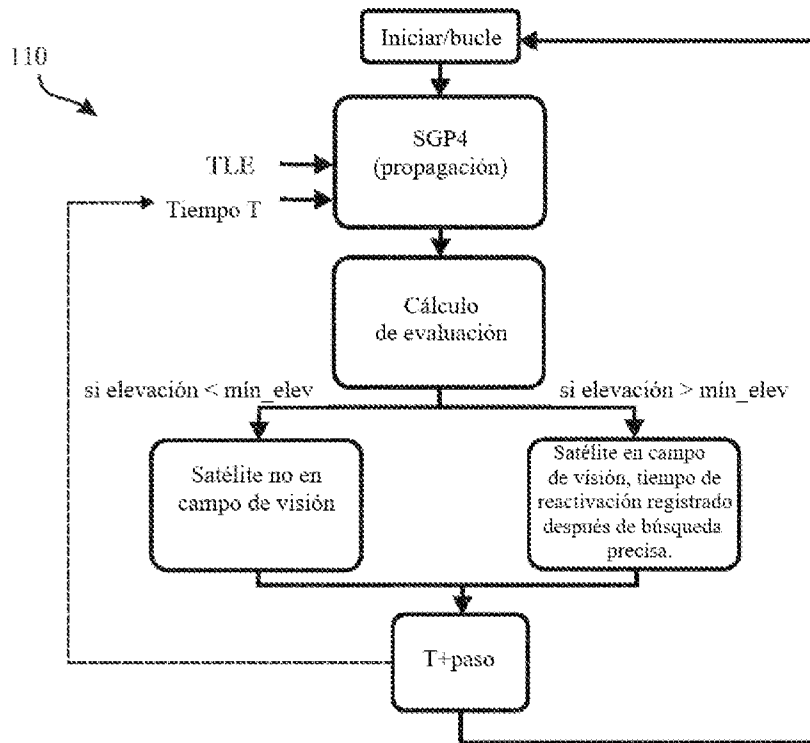


Fig. 12

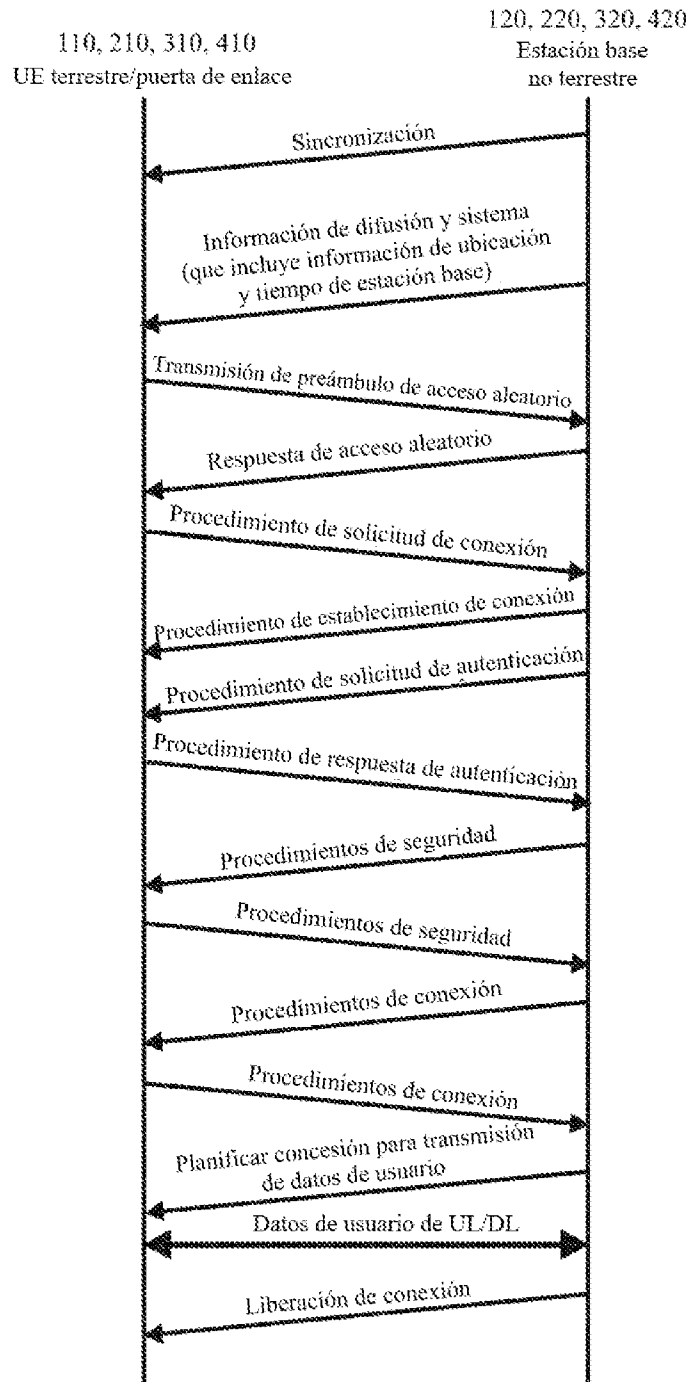


Fig. 13

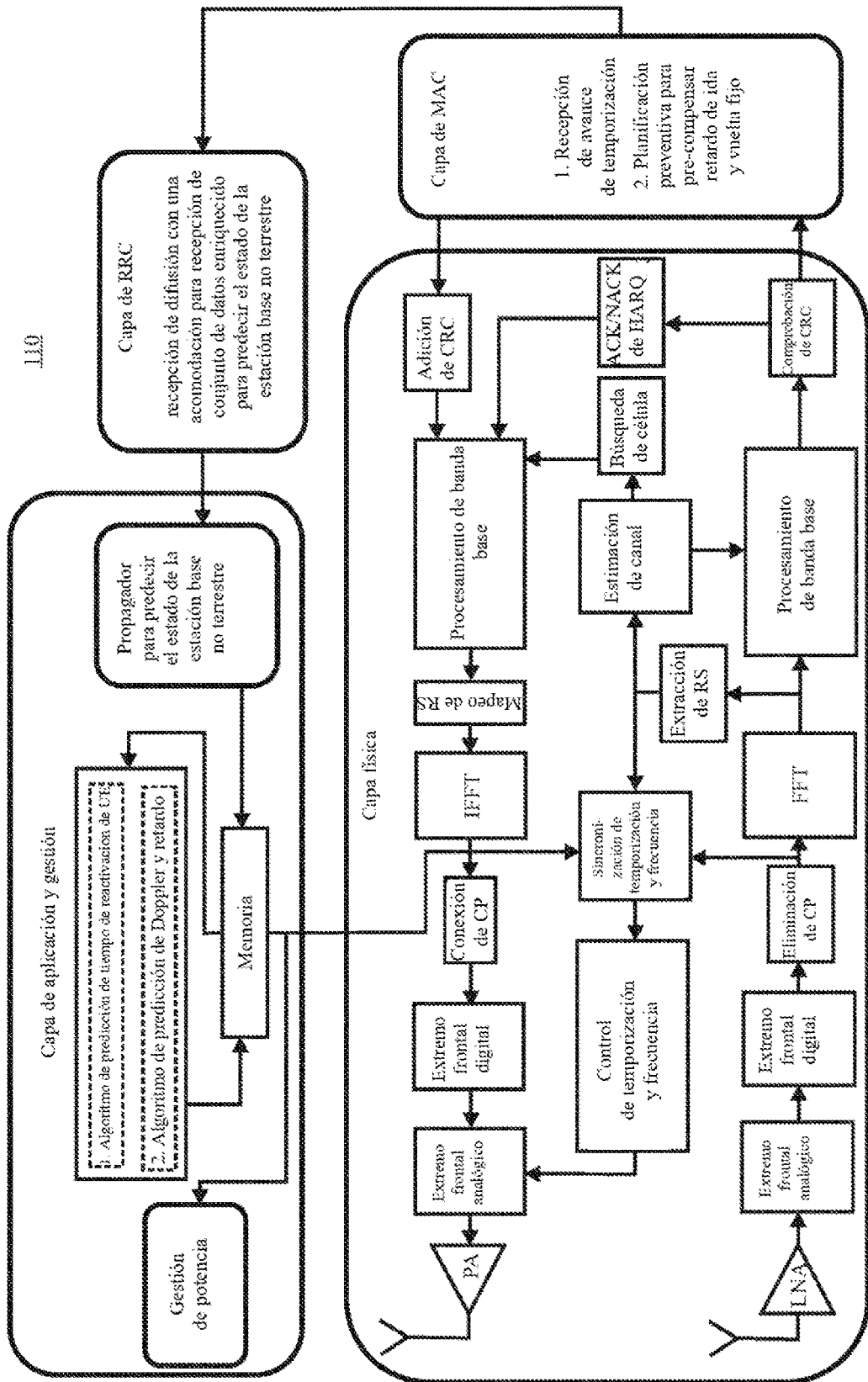


Fig. 14

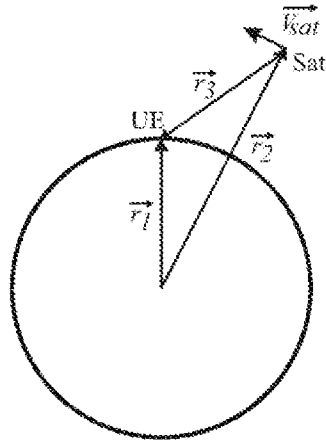


Fig. 15

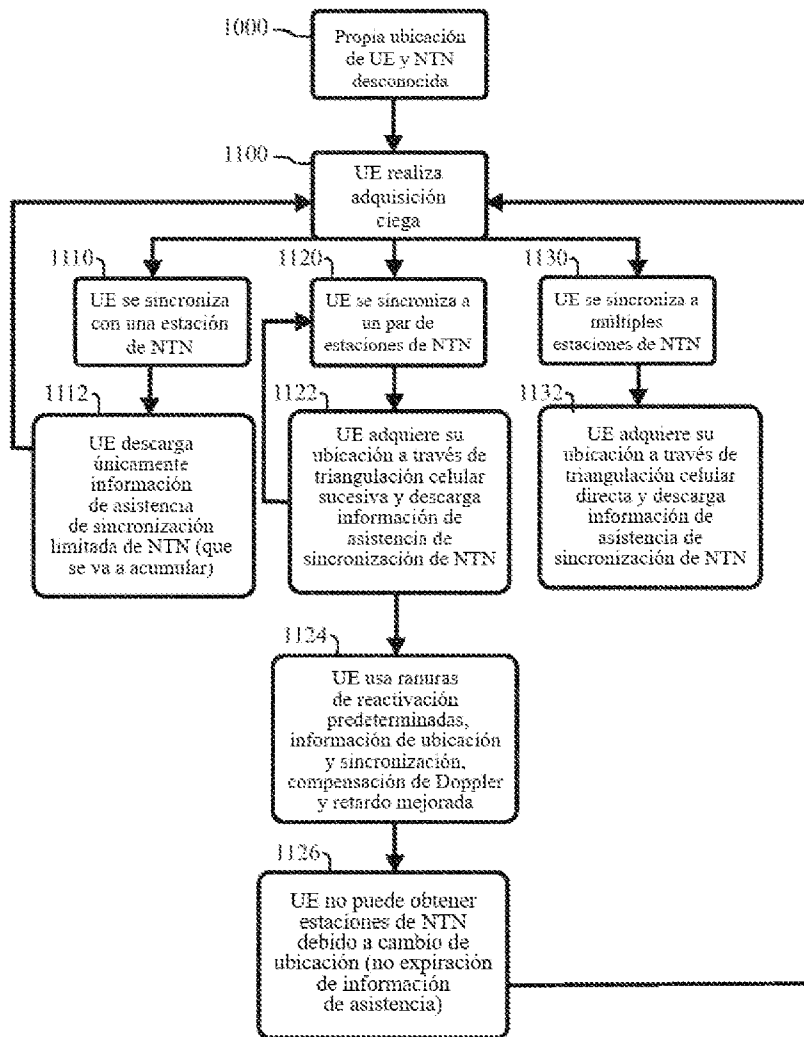


Fig. 16

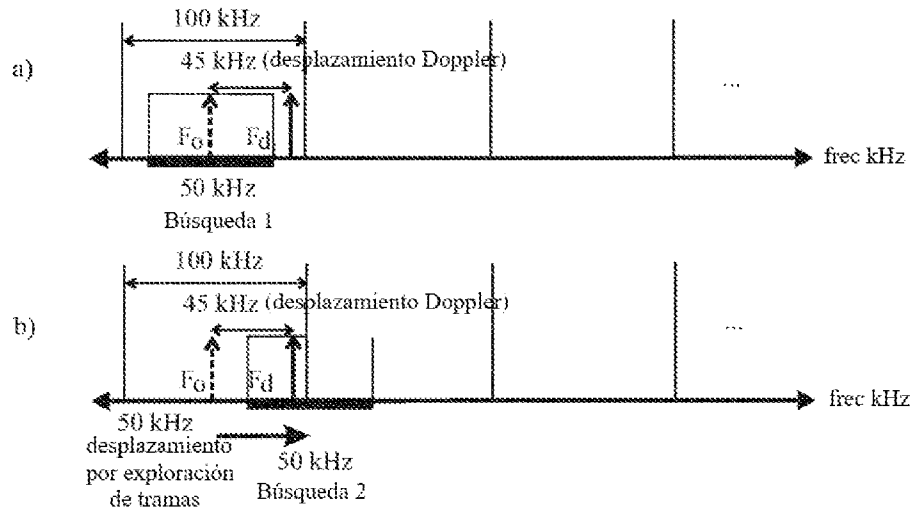


Fig. 17

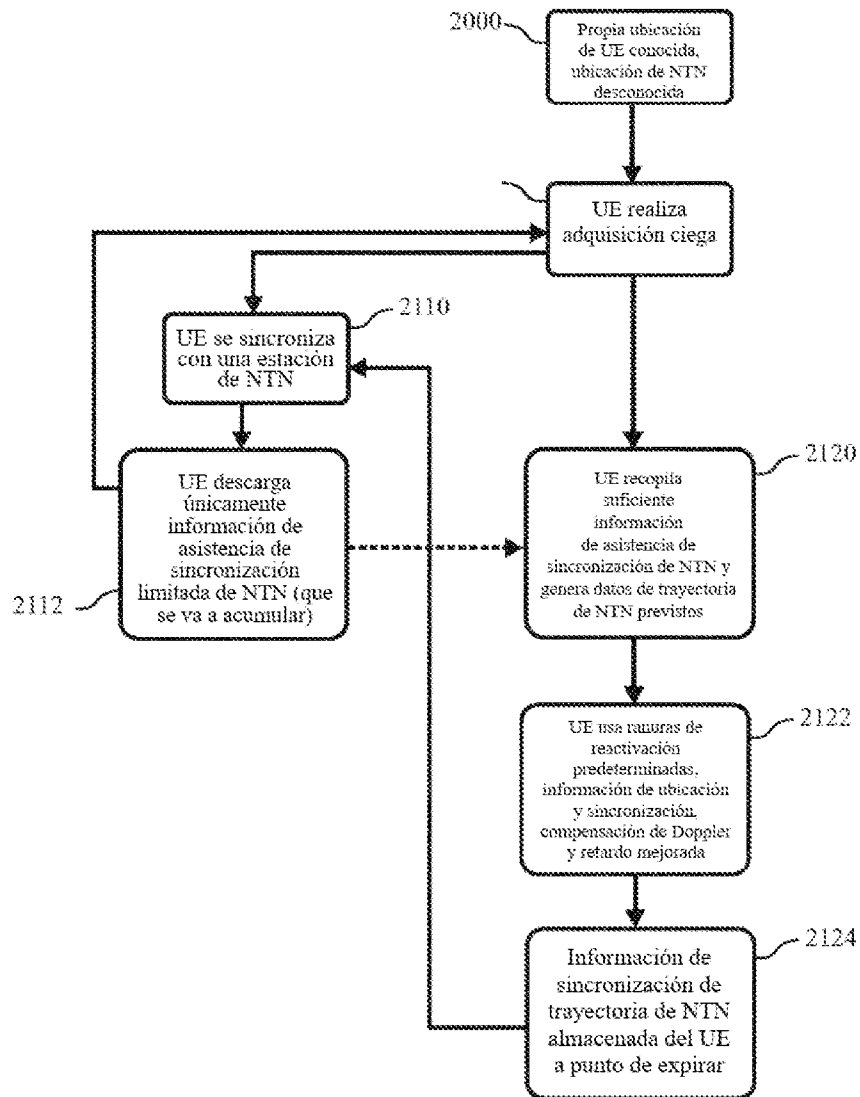


Fig. 18

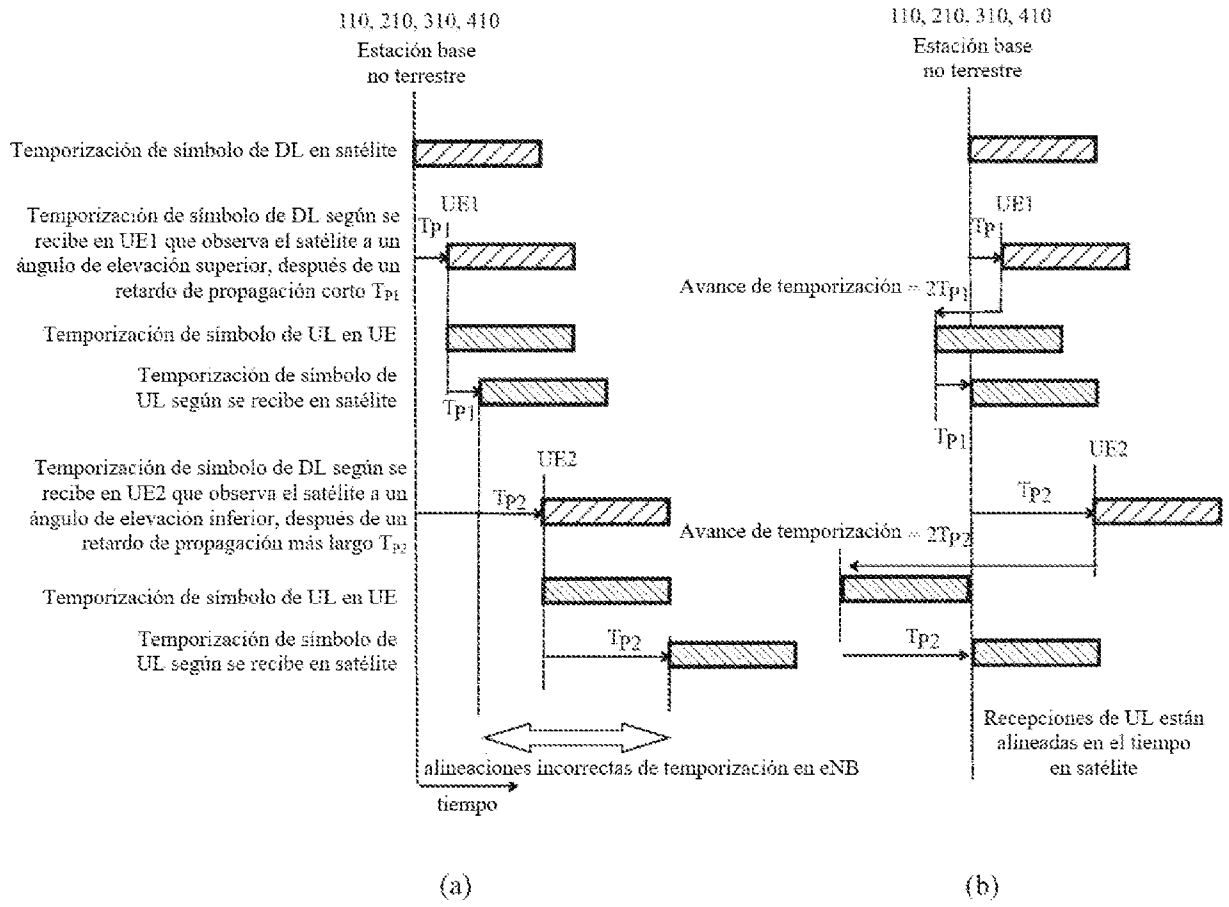


Fig. 19

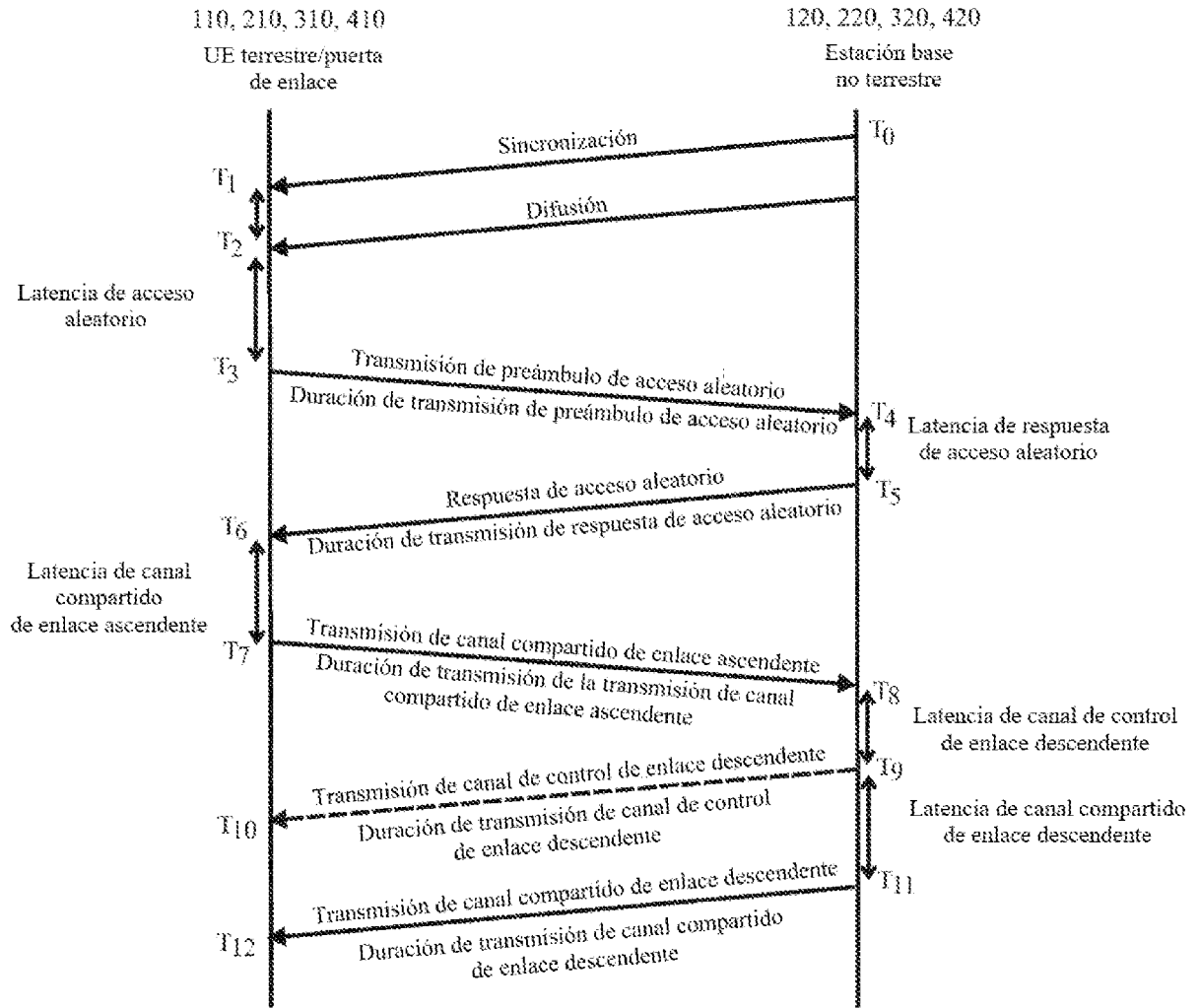


Fig. 20