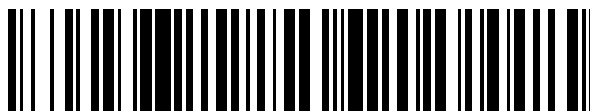


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 720 592**

51 Int. Cl.:

H04W 56/00

(2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.04.2008** **PCT/US2008/061926**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.11.2008** **WO08134682**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2008** **E 08747127 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019** **EP 2153571**

54 Título: **Principios de mantenimiento de sincronización de enlace ascendente en redes inalámbricas**

30 Prioridad:

30.04.2007 EP 07290536

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

23.07.2019

73 Titular/es:

**INTEL CORPORATION (100.0%)
2200 Mission College Boulevard
Santa Clara, CA 95054, US**

72 Inventor/es:

**BERTRAND, PIERRE;
MUHAREMOVIC, TARIK y
SHEN, ZUKANG**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 720 592 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

Principios de mantenimiento de sincronización de enlace ascendente en redes inalámbricas

Esta invención se refiere, en general, a comunicación celular inalámbrica y, en particular, a la utilización de un canal de solicitud de planificación sin contienda en sistemas de acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) y de portadora única (SC-FDMA).

Antecedentes

Las redes de comunicación celular inalámbrica incorporan una serie de UE móviles y una serie de nodosB. Un nodoB es generalmente una estación fija, y se puede denominar asimismo un sistema transceptor base (BTS, base transceiver system), un punto de acceso (AP, access point), una estación base (BS, base station) o alguna otra terminología equivalente. A medida que se realizan mejoras en las redes, la funcionalidad del nodoB evoluciona, de tal modo que un nodoB se denomina en ocasiones un nodoB evolucionado (eNB, evolved NodeB). En general, un hardware de nodoB, cuando está desplegado, es fijo y estacionario, mientras que el hardware de UE es portátil.

En contraste con el nodoB, el UE móvil puede comprender hardware portátil. Un equipo de usuario (UE, user equipment), también denominado usualmente terminal o estación móvil, puede ser un dispositivo fijo o móvil y puede ser un dispositivo inalámbrico, un teléfono celular, un asistente digital personal (PDA, personal digital assistant), una tarjeta de módem inalámbrico, etc. Comunicación de enlace ascendente (UL, uplink) se refiere a una comunicación desde el UE móvil al nodoB, mientras que enlace descendente (DL, downlink) se refiere a comunicación desde el nodoB al UE móvil. Cada nodoB contiene uno o varios transmisores de radio frecuencia y el receptor o receptores utilizados para comunicar directamente con los móviles, que se pueden mover libremente a su alrededor. Análogamente, cada UE móvil contiene uno o varios transmisores de radio frecuencia y el receptor o receptores utilizados para comunicar directamente con el nodoB. En las redes celulares, los móviles no pueden comunicar directamente entre sí, sino que tienen que comunicar con el NodoB.

Las redes inalámbricas de evolución a largo plazo (LTE, Long Term Evolution), conocidas asimismo como red de acceso radio terrestre universal evolucionada (E-UTRAN, Evolved Terrestrial Radio Access Network), están siendo estandarizadas por los grupos de trabajo (WG, working groups) 3GPP. Se eligieron esquemas de acceso OFDMA y SC-FDMA (FDMA de portadora única) para enlace descendente (DL) y el enlace ascendente (UL) de E-UTRAN, respectivamente. Sin pérdida de generalidad, los símbolos OFDMA y SC-FDMA se denominan en adelante "símbolos OFDM". Los equipos de usuario (UE) son multiplexados en tiempo y frecuencia sobre un canal físico compartido de enlace ascendente (PUSCH, physical uplink shared channel), y una sincronización fina de tiempo y frecuencia entre los UE garantiza una ortogonalidad óptima entre celdas. El UE mantiene automáticamente su sincronización de DL a partir de señales de sincronización de DL bien conocidas, difundidas por la estación base. La sincronización de UL requiere de la involucración de la estación base. En caso de que el UE no esté sincronizado en UL, utiliza un canal físico de acceso aleatorio no sincronizado (PRACH, Physical non-synchronized Random Access Channel), y la estación base (denominada asimismo eNodoB) proporciona de vuelta algún recurso de UL asignado e información de avance de temporización para permitir al UE transmitir en el PUSCH.

Acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA, Orthogonal Frequency Division Multiple Access) es una versión multiusuario del popular esquema de modulación digital de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM, popular Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). El acceso múltiple se consigue en OFDMA asignando subconjuntos de subportadoras a usuarios individuales. Esto permite una transmisión simultánea de baja velocidad de datos desde varios usuarios. Basándose en información de retroalimentación sobre las condiciones de canal, se puede conseguir una asignación adaptativa de usuario a subportadora. Si la asignación se realiza lo suficientemente rápido, esto mejora adicionalmente la robustez de OFDM frente a desvanecimiento rápido e interferencia cocanal de banda estrecha, y posibilita conseguir una eficiencia espectral del sistema aún mejor. Se puede asignar un número diferente de subportadoras a diferentes usuarios, con vistas a soportar una calidad del servicio (QoS, Quality of Service) diferenciada, es decir, controlar individualmente para cada usuario la velocidad de datos y la probabilidad de errores.

Se transmiten bits de información de control, por ejemplo, en el enlace ascendente (UL), con varios propósitos. Por ejemplo, la solicitud de repetición automática híbrida (HARQ, Hybrid Automatic Repeat ReQuest) de enlace descendente requiere por lo menos un bit de información transmitida de ACK/NACK en el enlace ascendente, que indica una o varias comprobaciones de redundancia cíclica (CRC, circular redundancy check) satisfactorias o fallidas. Además, es necesario transmitir un indicador de la calidad de canal de enlace descendente (CQI, downlink channel quality) en el enlace ascendente para soportar planificación de UE móvil en el enlace descendente. Mientras que CQI se puede transmitir basándose en un mecanismo periódico o desencadenado, ACK/NACK tiene que ser transmitido de manera puntual para soportar la operación HARQ. Se debe observar que ACK/NACK se denomina en ocasiones ACKNAK o simplemente ACK, o mediante cualquier otro término equivalente. Tal como se ve a partir de este ejemplo, algunos elementos de la información de control deberían recibir protección adicional, comparados con otra información. Por ejemplo, habitualmente se requiere que la información ACKNAK sea muy fiable con el fin de soportar una operación de HARQ apropiada y precisa. Esta información de control de enlace ascendente se transmite habitualmente utilizando el canal físico de control de enlace ascendente (PUCCH, physical uplink control channel), tal como se define mediante los grupos de trabajo (WG) de 3GPP, para acceso radio terrestre universal

evolucionado (EUTRA, evolved universal terrestrial radio access). En ocasiones EUTRA se denomina asimismo evolución a largo plazo de 3GPP (3GPP LTE). La estructura del PUCCH está diseñada para proporcionar una fiabilidad de transmisión lo suficientemente alta.

Además de PUCCH, el estándar EUTRA define asimismo un canal físico compartido de enlace ascendente (PUSCH), destinado a la transmisión de datos de usuario de enlace ascendente. El canal físico compartido de enlace ascendente (PUSCH) se puede planificar dinámicamente. Esto significa que se asignan recursos de tiempo-frecuencia de PUSCH en cada subtrama. Esta (re)asignación se comunica al UE móvil utilizando el canal físico de control de enlace descendente (PDCCH, Physical Downlink Control Channel). Alternativamente, se pueden asignar recursos de PUSCH de manera semi-estática, por medio del mecanismo de planificación persistente. Por lo tanto, cualquier recurso PUSCH de tiempo-frecuencia determinado puede posiblemente ser utilizado por cualquier UE móvil, en función de la asignación del planificador. El canal físico de control de enlace ascendente (PUCCH) es diferente del PUSCH, y el PUCCH se utiliza para la transmisión de información de control de enlace ascendente (UCI, uplink control information). Los recursos de frecuencia que son asignados para el PUCCH se encuentran en los dos bordes extremos del espectro de frecuencia de enlace ascendente. En cambio, los recursos de frecuencia que son utilizados para el PUSCH están entre aquellos. Dado que el PUSCH está diseñado para la transmisión de datos de usuario, son posibles las retransmisiones, y se espera que el PUSCH se pueda planificar generalmente con menos fiabilidad de subtrama independiente que el PUCCH. El funcionamiento general de los canales físicos se describe en las especificaciones EUTRA, por ejemplo: "3GPP TS 36.321 v8.2.0, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release 8)".

Una señal de referencia (RS, reference signal) es una señal predefinida, conocida previamente tanto por el transmisor como por el receptor. En general, se puede considerar que la RS es determinista desde el punto de vista tanto del transmisor como del receptor. La RS se transmite habitualmente para que el receptor estime el medio de propagación de la señal. Este proceso se conoce como "estimación de canal". Por lo tanto, se puede transmitir una RS para facilitar la estimación de canal. Tras obtenerse las estimaciones de canal, estas estimaciones se utilizan para la desmodulación de información transmitida. Este tipo de RS se denomina en ocasiones una RS de desmodulación o DM RS. Se debe observar que RS se puede transmitir asimismo con otros propósitos, tal como sondeo de canal (SRS) en apoyo de adaptación de enlace y/o planificación selectiva en frecuencias de UL. En ese caso, ocupa habitualmente un ancho de banda mayor que la DM RS, confinada al ancho de banda de datos planificado del UE, y desempeña para el UL la misma función que desempeña para el DL el informe CQI mencionado anteriormente. Como resultado, dicha RS de UL se denomina asimismo la CQI-RS. Se debe observar asimismo que la señal de referencia (RS) se puede denominar en ocasiones la señal piloto, o la señal de entrenamiento o cualquier otro término equivalente.

El documento de TEXAS INSTRUMENTS, "UL synchronization Management in LTE_ACTIVE", borrador 3GPP; R1-071478_ULSYNC, proyecto de asociación de tercera generación (3GPP), centro de competencia móvil; ROUTE DES LUCIOLES, 650; F-06921 SOPHIA-ANTIPOLIS CEDEX; Francia, volumen RAN WG1, número St. Julian; se refiere a la gestión de sincronización de UL en la capa física en LTE_ACTIVE. El objetivo es permitir mantener la sincronización de UL de los UE críticos con el tiempo, proporcionando al mismo tiempo medios para que dichos UE envíen solicitudes de planificación (SR, scheduling requests) de manera más eficiente que con el canal de acceso aleatorio no sincronizado (NSRA), cuyo diseño está optimizado para UE no sincronizados en UL.

El documento TSG RAN WG2, "LS on maintenance of UL Synchronisation", borrador 3GPP; R2-071602, proyecto de asociación de tercera generación (3GPP), centro de competencia móvil; ROUTE DES LUCIOLES, 650; F-06921 SOPHIA-ANTIPOLIS CEDEX; Francia, volumen RAN WG2, número St. Julian; se refiere al mantenimiento de sincronización de enlace ascendente en LTE.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán realizaciones particulares de acuerdo con la invención, solamente a modo de ejemplo, y haciendo referencia a los dibujos adjuntos:

la figura 1 es un gráfico de una red de telecomunicaciones ilustrativa que soporta transmisión de símbolos sync-RS para mantener la sincronización de un UE no planificado;

la figura 2 es un gráfico que muestra típicos periodos de ajuste de temporización correspondientes a varias fuentes de error, en base a la velocidad del UE en el interior de la celda;

la figura 3A es un gráfico de frecuencia frente a tiempo que muestra una secuencia de subtramas que pueden contener sync-RS periódicas multiplexadas en un símbolo OFDM específico, utilizadas para la sincronización de UE no planificados;

la figura 3B es un gráfico de frecuencia frente a tiempo que muestra una secuencia de subtramas que puede contener sync-RS periódicas, utilizadas para la sincronización de UE no planificados, multiplexadas con las CQI-RS de otros UE en un símbolo OFDM SRS genérico;

la figura 4 es un diagrama de flujo que muestra la utilización de sync-RS para mantener la sincronización de UE no planificados;

la figura 5 es un gráfico que muestra la sobrecarga resultante de la utilización del canal de acceso aleatorio frente a la velocidad de UE para enviar solicitudes de TA para varias cantidades de UE;

5 la figura 6 es un diagrama de pimpón que muestra un procedimiento de solicitud de TA basado en SRI;

la figura 7A es un gráfico que muestra la sobrecarga resultante del procedimiento de solicitud de TA basado en SRI de la figura 6;

la figura 7B es un gráfico que muestra la sobrecarga resultante del procedimiento de solicitud de TA de SRI con SRS basada en contienda;

10 la figura 8 es un diagrama de bloques de un transmisor ilustrativo para transmitir una sync-RS;

la figura 9 es un diagrama de bloques de un nodo B y un equipo de usuario para utilizar en el sistema de red de la figura 1; y

la figura 10 es un diagrama de bloques de un teléfono móvil para utilizar en la red de la figura 1.

Descripción detallada de realizaciones de ejemplo

15 La invención se define en las reivindicaciones independientes. Se presentan realizaciones ventajosas en las reivindicaciones dependientes.

A cada dispositivo de usuario, denominado asimismo equipo de usuario (UE), en el estado sincronizado de enlace ascendente se le asignan recursos de enlace ascendente de una estación base y se le asigna, sobre su identificador de 16 bits de control de recursos radioeléctricos/control de acceso al medio (RRC/MAC, radio resource control/medium access control) (C-RNTI), un único identificador de capa física de enlace ascendente para garantizar temporalmente transmisiones de enlace ascendente sin contienda por medio de un canal de comunicación compartido o de un canal de solicitud de planificación. Al grupo de dispositivos de usuario en el estado no sincronizado de enlace ascendente no se les asigna ningún identificador de capa física adicional y, por lo tanto, se puede reducir el número total de bits requeridos para el identificador de capa física de enlace ascendente en el estado sincronizado de enlace ascendente, con el fin de mejorar la eficiencia del esquema de señalización de control. Por lo menos en algunas realizaciones, cada dispositivo de usuario en el estado no sincronizado de enlace ascendente puede monitorizar y recibir transmisiones de enlace descendente pero no puede enviar transmisiones de enlace ascendente hasta que solicite satisfactoriamente recursos de enlace ascendente y sincronización de enlace ascendente desde la estación base. En adelante, el estado sincronizado de enlace ascendente se denomina "estado sincronizado", y en adelante el estado no sincronizado de enlace ascendente se denomina "estado no sincronizado" o "no sincronizado" y aplica solamente al enlace ascendente. Asimismo, el identificador de capa física de enlace ascendente se denomina en adelante un "identificador reducido" o un "identificador único". Por lo tanto, se debe observar que las realizaciones descritas por estos términos no se limitan a sincronización de enlace ascendente o a identificadores únicos de capa física de enlace ascendente. Cuando un UE entra en una celda y establece contacto con la estación base que da servicio a la celda, se pone en modo "conectado" y se realiza un seguimiento del mismo mientras este sigue activo en la celda.

El mantenimiento de la sincronización de UL se lleva a cabo generalmente por medio de las transmisiones convencionales planificadas de UL para los UE con concesiones de planificación, señales de referencia asignadas periódicamente, tales como CQI-RS, o por medio del mecanismo de acceso aleatorio no síncrono (RACH) para los UE sin concesiones de planificación. Sin embargo, tal como se explicará en mayor detalle a continuación, la reutilización de las CQI-RS planificadas, en apoyo de planificación selectiva de frecuencia de UL y/o adaptación de enlace invalida soportar, individualmente, un número suficientemente grande de UE en el estado sincronizado y el mecanismo RACH requiere demasiada sobrecarga, por lo que se requiere un mecanismo adicional para mantener la sincronización de un gran número de UE.

Se prevé que se mantengan varios cientos de UE en modo conectado en una celda para permitir un acceso rápido a transmisión/recepción. Sin embargo, un UE no sincronizado, en modo conectado, sufrirá la latencia del procedimiento de acceso aleatorio (RA, Random Access) basado en contienda cuando, por ejemplo, se reactive desde un periodo inactivo; mientras que los UE sincronizados en UL pueden acceder más rápido al espectro por medio de un procedimiento sin contienda proporcionado por el indicador de solicitud de planificación (SRI, scheduling request indicator) (sincronizada). Como resultado, cuanto mayor es el número de UE que mantienen su sincronización de UL, menor es la latencia global para transmitir/recibir nuevos datos. Por otra parte, si el recurso necesario para mantener la sincronización de UL tiene como resultado demasiada sobrecarga, la penalización en la eficiencia espectral contrarresta las ganancias en latencia. El número de UE en el estado sincronizado en UL no puede superar el número de recursos de UL sin contienda proporcionados por el procedimiento de solicitud de planificación (SR). Las realizaciones de la presente invención dan a conocer una solución eficiente para mantener la sincronización de UL de un gran número de UE en E-UTRAN con baja sobrecarga.

Por lo menos en algunas realizaciones, la asignación de dispositivos de usuario al estado sincronizado y al estado no sincronizado es temporal. Por ejemplo, tras una solicitud satisfactoria de recursos de enlace ascendente (denominada asimismo concesión de planificación de enlace ascendente), un dispositivo de usuario no sincronizado se puede reasignar al estado sincronizado y recibe un identificador reducido para permitir transmisiones de enlace ascendente y solicitudes de planificación sin contienda. Por otra parte, si transcurre más de una cantidad de tiempo umbral sin una transmisión de enlace ascendente o un comando de ajuste de temporización (TA) desde la estación base, un dispositivo de usuario en el estado sincronizado puede ser reasignado al estado no sincronizado y se libera el identificador reducido correspondiente al dispositivo de usuario reasignado. El identificador reducido puede adoptar cualquier forma, por ejemplo explícita, o asimismo implícita en forma de un recurso físico único en el canal de solicitud de planificación sin contienda.

La premisa básica para gestionar la transición del estado sincronizado en UL al estado no sincronizado en UL es que se utiliza un temporizador en el UE para detectar la falta de sincronización. Dado que tanto el UE como el eNB implementan este tiempo de espera, no se requiere señalización explícita desde ninguno de los lados para monitorizar el estado de sincronización. Se ha propuesto (3GPP TSG RAN WG2 #57bis, R2-071300, "Uplink Synchronization") que el temporizador se restablezca cuando el UE reciba del eNB un nuevo comando de ajuste de temporización (TA). En este caso, el temporizador simplemente corresponde a la duración más allá de la cual el UE puede haberse alejado del tiempo del sistema de UL hasta el punto de que la transmisión de UL ya no es posible en el PUSCH/PUCCH. Esta solución da a conocer una manera simple para que el eNB controle el número de UE en el estado de sincronización de UL. Sin embargo, en celdas de baja velocidad donde el tiempo de espera puede ser grande, tal como se explica más adelante, una gestión más fina de la asignación de recursos de SR sin contienda puede requerir un comando explícito del eNB al UE para que salga del estado de sincronización de UL y, por lo tanto, libere su ID de UE reducido antes de la expiración del tiempo de espera.

Generalmente, es utilizado un indicador de solicitud de planificación (SRI) por los UE que están sincronizados en UL, no tienen concesiones de planificación y necesitan enviar una solicitud de planificación para que se les concedan recursos para utilizar en la transmisión de datos o información de control, tal como mediciones desencadenadas por evento. El SRI puede ser utilizado asimismo por UE que tienen ya una o varias concesiones de planificación pero necesitan más (o menos) recursos de UL y desean actualizar al eNB al respecto. El canal SRI señala una necesidad de solicitud de planificación y potencialmente proporciona alguna información preliminar pero no proporciona los detalles del contenido de la solicitud de planificación que está incluido en el mensaje de solicitud de planificación (SR) sobre el PUSCH.

Cuando un UE no tiene ninguna señal y/o canal que tenga que recibir o transmitir, puede pasar a un modo de baja potencia denominado recepción discontinua (DRX) y transmisión discontinua (DTX), respectivamente. Las redes de nueva generación utilizan el mecanismo de solicitud de retransmisión automática híbrida (HARQ), que requiere que las transmisiones de datos de enlace descendente y de enlace ascendente sean acusadas mediante indicadores HARQ (HI) (HARQ Indicators) de enlace ascendente y enlace descendente, respectivamente. Como resultado, cualquier actividad de enlace ascendente implica asimismo actividad de enlace descendente, y viceversa. Por lo tanto, DRX y DTX están acopladas en la práctica y, sin pérdida de generalidad, se denominan modo DRX. En este modo, se definen intervalos específicos en los que se realiza la transmisión para mantener la sincronización y/o notificar un estado de control solicitado periódico (por ejemplo, informes de medición periódicos), pero el UE no realiza ninguna transmisión durante intervalos silenciosos definidos. La duración del intervalo silencioso se puede configurar en base a la actividad global del UE.

La figura 1 muestra una red de telecomunicaciones inalámbricas 100 a modo de ejemplo. La red de telecomunicaciones ilustrativa incluye estaciones base representativas 101, 102 y 103; sin embargo, una red de telecomunicaciones incluye necesariamente muchas más estaciones base. Cada una de las estaciones base 101, 102 y 103 es operativa sobre una correspondiente área de cobertura 104, 105 y 106. Cada área de cobertura de estación base está además dividida en celdas. En la red mostrada, cada área de cobertura de estación base está dividida en tres celdas. Un microteléfono u otro UE 109 se muestra en la celda A 108, que está dentro del área de cobertura 104 de la estación base 101. La estación base 101 está transmitiendo al UE 109 y recibe transmisiones del mismo. Cuando el UE 109 sale de la celda A 108 y entra en la celda B 107, el UE 109 puede ser traspasado a la estación base 102. Dado que el UE 109 está sincronizado con la estación base 101, el UE 109 tiene que utilizar acceso aleatorio no sincronizado para iniciar el traspaso a la estación base 102.

Mientras sigue en la celda A 108, el UE 109 utiliza asimismo solicitudes de planificación síncronas para solicitar asignación de recursos de código o de tiempo o de frecuencia de enlace ascendente 111. Si el UE 109 tiene datos preparados para transmisión, por ejemplo, datos de tráfico, informes de mediciones, etc., el UE 109 puede transmitir una señal de indicador de solicitud de planificación sobre el enlace ascendente 111. Si el SRI es en respuesta a datos preparados para transmitir, el SRI notifica a la estación base 101 que el UE 109 necesita recursos de enlace ascendente para transmitir los datos del UE. La estación base 101 responde transmitiendo al UE 109, por medio del enlace descendente 110, un mensaje que contiene los parámetros de los recursos asignados para la transmisión de enlace ascendente del UE 109 junto con una posible corrección del error de temporización. Después de recibir la asignación de recursos y un posible mensaje de ajuste de temporización transmitidos sobre el enlace descendente 110 mediante la estación base 101, el UE 109 ajusta (posiblemente) su temporización de transmisión y transmite los datos sobre el enlace ascendente 111 utilizando los recursos asignados durante el intervalo de tiempo prescrito.

Por otra parte, mientras sigue en la celda A 108, el UE 109 puede no tener necesidad de transmitir o recibir datos durante un periodo de tiempo y pasa al modo DRX para ahorrar energía. Tal como se describirá en mayor detalle a continuación, es beneficioso mantener la sincronización entre el UE 109 y el eNB 101 mientras el UE 109 está en modo DRX.

5 Tolerancia al error de temporización

La tolerancia al error de temporización está regida tanto por el comportamiento de la tasa de error de bloque (BLER) en el PUSCH como por la capacidad de multiplexación desplazamiento cíclico de la CQI-RS. Los resultados de simulaciones en el documento de 3GPP TSG RAN WG1 #49bis, R1-072841, "Simulation of Uplink Timing Error Impact on PUSCH" muestran que un error de temporización de aproximadamente $\pm 0.5 \mu\text{sec}$ conduce, en un escenario del peor caso posible donde los UE adyacentes experimentan errores de temporización opuestos, a una pérdida de menos de 0,5 dB en el comportamiento de la BLER de enlace ascendente en un punto de 10% BLER, y que se puede soportar una multiplexación completa de CQI-RS de 12 usuarios por símbolo sin degradación aparente en la BLER planificada en frecuencia de enlace ascendente.

Periodo de ajuste de temporización

Existen tres factores que contribuyen a la pérdida de sincronización: 1) deriva de tiempo debida a que el UE se mueve acercándose/alejándose del eNodeB; 2) proceso de nacimiento-muerte de multitrayecto; y 3) deriva de reloj. Dado un error de temporización máximo permitido t_{err} , el movimiento del UE conduce a una pérdida de sincronización, en el enlace descendente (DL), después de un tiempo transcurrido.

$$\Delta t = \frac{3,6 \times c \times t_{err}}{v}$$

donde c es la velocidad de la luz (m/s) y v es la velocidad del UE (km/h). En el enlace ascendente (UL), el máximo tiempo transcurrido es $\Delta t / 2$ debido al retardo de ida y vuelta.

El proceso de nacimiento-muerte de multitrayecto se analiza en el documento de H.M. El-Sallabi, H.L. Bertoni, P. Vainikainen, "Experimental Evaluation of Rake Finger Life Distance for CDMA Systems", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, volumen 1, 2002. Este análisis proporciona mediciones de la distancia vital del primer, segundo, etc. trayectos más fuertes del perfil de retardo de un UE en un entorno urbano. Los resultados demuestran que el primer trayecto se mantiene estacionario a través de los diversos caminos utilizados, mientras que las distancias vitales del segundo y el tercer trayecto varían desde unos pocos metros hasta unas pocas decenas de metros, lo que no debería afectar a la temporización de UL del UE. Siendo conservadores, los autores consideran una distancia vital promedio del primer trayecto de 100 m. El perfil del retardo multitrayecto (suponiendo desvanecimiento rápido promediado) es el mismo en UL que en DL. Por lo tanto, la frecuencia de ajuste de temporización debida al proceso de nacimiento-muerte de multitrayecto es la misma en UL y DL. Sin embargo, para los UE de baja velocidad, promediar el desvanecimiento tendría como resultado un intervalo de integración muy largo, lo que no es posible si se desea rastrear también otras (y más rápidas) fuentes de error de temporización. Por lo tanto, la variación en el perfil de multitrayecto puede conducir a diferentes correcciones de temporización en UL y DL a bajas velocidades.

Las cadenas tanto de recepción como de transmisión del UE están gobernadas por el reloj del UE, que se supone está bloqueado a la señal recibida de DL con una precisión de 0,1 ppm, tal como en W-CDMA. La integración en el tiempo del error de frecuencia se traduce en la misma deriva de tiempo en UL y DL: por lo menos 0,1 μs por segundo. Se debe observar que la deriva de tiempo resultante de la deriva de reloj es compensada automáticamente en UL cuando se compensa en DL, suponiendo que la temporización de UL está bloqueada en la temporización de DL. Por lo tanto, la correspondiente frecuencia de TA es solamente para DL.

La figura 2 es un gráfico que muestra periodos típicos de ajuste de temporización correspondientes a varias fuentes de error en base a la velocidad del UE en el interior de la celda. Para cada caso, el periodo de TA se ajusta a 1/3 del periodo de tiempo después del cual el error de temporización del UE supera $t_{err} = 0,5 \mu\text{s}$. En esta magnitud error se considera que el UE está no sincronizado. Tal como se puede observar, la deriva de reloj es el principal actor para los comandos de ajuste de temporización (DL) (TA) a bajas velocidades (por debajo de 60 km/h); a velocidades mayores, la variación de ida y vuelta debida al movimiento del UE requiere un periodo de TA de UL menor, de 0,25 s a una velocidad de 360 km/h. Sin embargo, incluso a baja velocidad, es una hipótesis segura mantener un periodo de TA de UL mínimo en el intervalo de 2 s. A continuación, el mínimo del periodo de TA de todas las fuentes de error de temporización se utiliza con propósitos de dimensionamiento.

Mantenimiento de la sincronización de UL

Sería práctico que el UE pudiera utilizar la deriva observada en la temporización de transmisión de DL para corregir su temporización de enlace ascendente. La ventaja principal de este enfoque es que no se tiene que transmitir al eNB ninguna señal de UL particular. Sin embargo, tal como se ha explicado anteriormente, la variación del perfil del retardo de multitrayecto puede conducir a diferentes correcciones de temporización en UL y DL a bajas velocidades.

Además, diferentes fuentes de error requieren diferentes correcciones de UL; por ejemplo, la deriva del tiempo resultante de la deriva de reloj no requiere una corrección adicional sobre la corrección de DL en UL. Sin embargo, las derivas de tiempo resultantes de que el UE se desplaza acercándose o alejándose del eNB requieren el doble de compensación en UL (ida y vuelta) en comparación con el enlace descendente (solamente ida). Dado que el UE no puede conocer la fuente de la deriva de tiempo, no puede obtener de manera autónoma la corrección apropiada de UL. Por lo tanto, el ajuste de temporización de UL solamente puede ser estimado por el eNB en base a la transmisión de UL del UE. Tal como se explica a continuación, tanto el eNB como el UE pueden controlar estas transmisiones de UL. En el primer caso, el eNB utiliza transmisiones planificadas de UL conocidas para estimar la temporización de UL del UE. En el segundo caso, el UE envía autónomamente solicitudes de TA desencadenadas por evento.

Transmisiones de UL controladas por el nodoB, para estimación de TA

El nodo B puede mantener la sincronización de UL a través de los canales disponibles de banda ancha de UL: la CQI-RS y la señal de referencia de sincronización (sync-RS) existentes. Un número limitado de UE se pueden mantener en sincronización utilizando las CQI-RS existentes ya planificadas en apoyo de planificación selectiva de frecuencia (FSS, frequency selective scheduling) y adaptación de enlace. Basándose en la distribución de las CQI-RS sobre tres posibles anchos de banda (1,25, 5, 10MHz) en función de la geometría del UE, el número de CQI-RS ortogonales por cada 4 ms es de 48 en un ancho de banda del sistema de 10 MHz. El número total de UE multiplexados en CQI-RS se puede mejorar, considerando que una fracción de los UE necesitan transmitir su CQI-RS a una frecuencia menor (por ejemplo, cada 12 ms para planificación distribuida/persistente) o que se podría conseguir una multiplexación con desplazamiento cíclico más ajustada en base al seguimiento de la dispersión del retardo de cada UE. Sin embargo, esto conseguiría un número de UE multiplexados en CQI-RS de menos de cien en 10 MHz, lo que podría ser suficiente para el grupo de UE en el rango del planificador, pero no para todos los demás UE que se prevé estén en modo conectado en la celda. Otro análisis sugiere que puede haber de 800 a 1300 UE por cada 10 MHz. Como resultado, aquellos otros UE que no pueden depender de una CQI-RS asignada existente tienen que tener otra manera de mantener su sincronización de UL.

Las figuras 3A y 3B son gráficos de frecuencia frente a tiempo, que muestran una secuencia de subtramas 302 que pueden contener una sync-RS periódica utilizada para la sincronización de UE no planificados. Cada subtrama incluye un símbolo CQI-RS 306, dos símbolos DM RS 308 y once símbolos de datos 310. Para los UE sin una CQI-RS existente, el eNB asigna una RS periódica, sync-RS 312, con el objetivo del mantenimiento de la sincronización de UL. Para proporcionar una precisión suficiente de la estimación de temporización, el ancho de banda de sync-RS tiene que ocupar por lo menos seis bloques de recurso (RB) = 1,08 MHz. Dado que el propósito principal de la sync-RS es la sincronización de UL, su ancho de banda se puede limitar para proporcionar solamente la precisión de TA objetivo. Por lo tanto, para una precisión de $\pm 0,5 \mu s$, es suficiente un ancho de banda de aproximadamente 1 MHz. Esto es una diferencia con el CQI-RS cuyo requisito de ancho de banda está gobernado por el ancho de banda de planificación, que habitualmente es mayor. Esto permite la multiplexación de frecuencia de más sync-RS que CQI-RS.

La figura 3A muestra un símbolo utilizado para CQI-RS 306 en cada subtrama y un símbolo diferente utilizado para sync-RS 312 en cada subtrama n-ésima. Sin embargo, tal como se explicará en mayor detalle a continuación, tanto CQI-RS como sync-RS son construidas y multiplexadas del mismo modo y se diferencian solamente en su utilización, con el resultado de un periodo y un ancho de banda potencialmente diferentes. Por lo tanto, se pueden multiplexar conjuntamente en el mismo símbolo OFDM, también denominado normalmente símbolo de señal de referencia de sondeo (SRS). Como resultado, en otra realización, una parte del espacio de multiplexación de la SRS 306 se podría utilizar para proporcionar una o varias sync-RS en el mismo símbolo, dado que cada sync-RS requiere solamente seis RB.

La figura 3A muestra CQI-RS planificada en el primer símbolo de una subtrama. En otra realización, el símbolo utilizado para transmisión de CQI-RS y/o de sync-RS puede ser el último símbolo de la subtrama. La figura 3B muestra CQI-RS 306-1 y sync-RS 312 multiplexadas juntas en el mismo símbolo (SRS), que es el último símbolo OFDM de la subtrama.

El actual estándar 3GPP especifica seis RB para el ancho de banda de preámbulo del PRACH, por lo que utilizar seis RB para la sync-RS es de implementación práctica. Un enfoque simple consiste en ajustar el periodo de sync-RS a la frecuencia de TA máxima prevista en esta celda. Las sync-RS son planificadas en un símbolo no utilizado por una RS de desmodulación cada n subtramas, tal como se indica en 314. Las sync-RS 312-1, 312-2...312-n y, potencialmente, las CQI-RS 306 son multiplexadas ortogonalmente en un símbolo de SRS. Sin pérdida de generalidad, se denomina recurso SRS a un recurso físico asignado a cualquier sync-RS o CQI-RS en el esquema de multiplexación de un símbolo de SRS. La multiplexación ortogonal de SRS se realiza en CDM y en FDM. La multiplexación FDM se puede conseguir a través de anchos de banda separados o de subportadoras separadas, o de una combinación de ambos. La multiplexación FDM por subportadora se denomina asimismo FDM entrelazada (IFDM) y se puede generar, por ejemplo, mediante repetición de señales en el tiempo antes de la precodificación DFT o mediante mapeo directo de subportadoras en el dominio de frecuencia. La señal resultante en el dominio de frecuencia ocupa una subportadora cada n subportadoras, donde n es el factor de repetición (RPF) en el dominio del tiempo. La multiplexación CDM se obtiene desplazando cíclicamente una secuencia de amplitud constante y

autocorrelación cero (CAZAC, constant amplitude zero autocorrelation) o, tal como se explica en mayor detalle a continuación, una secuencia de tipo CAZAC generada, por ejemplo, por medio de una extensión cíclica de una secuencia CAZAC. En una realización, se asignan cuatro RB para el canal físico de control de enlace ascendente (PUCCH) 304a, 304b. Por lo tanto, suponiendo que $RPF = 1$, se pueden multiplexar en frecuencia siete sync-RS en 10 MHz (50 RB). La capacidad de multiplexación resultante es de 12 [desplazamientos cíclicos] x 7 [cajas de frecuencia] = 84 por cada símbolo sync-RS de 10 MHz.

En esta realización, cada subtrama n-ésima contiene un símbolo sync-RS a través de todo el ancho de banda. Un símbolo OFDM de datos es perforado para la sync-RS. La sobrecarga adicional resultante, con respecto a los once restantes símbolos OFDM de datos disponibles por subtrama, depende de la frecuencia de planificación de las sync-RS y se presenta en la tabla. Tal como se puede ver, incluso a la velocidad superior de 360 km/h solamente se incurre en una sobrecarga del 0,58% para mantener 1344 UE en sincronización con el eNB.

Velocidad del UE (km/h)	periodo de actualización (s)	Nb de UE (10 MHz)								
		588	672	756	840	924	1008	1092	1260	1344
	1,67	0,04%	0,04%	0,05%	0,05%	0,06%	0,07%	0,07%	0,08%	0,09%
0	1,50	0,04%	0,05%	0,05%	0,06%	0,07%	0,07%	0,08%	0,09%	0,10%
20	0,75	0,08%	0,10%	0,11%	0,12%	0,13%	0,15%	0,16%	0,18%	0,19%
50	0,36	0,18%	0,20%	0,23%	0,25%	0,28%	0,30%	0,33%	0,38%	0,40%
60	0,25	0,25%	0,29%	0,33%	0,36%	0,40%	0,44%	0,47%	0,55%	0,58%

Tabla 1: sobrecarga de sync-RS

Para mantener la sincronización, el eNB recibe la sync-RS desde cada UE y determina un error de temporización. Si el error de temporización supera un umbral, entonces el comando TA es enviado al UE que está presentando el error de temporización. En respuesta, el UE añadirá o eliminará a continuación una muestra por cada símbolo OFDM hasta que alcance la temporización correcta. La adición se puede realizar repitiendo una muestra antes del filtrado de Tx.

La figura 4 es un diagrama de flujo que muestra la utilización de símbolos sync-RS para mantener la sincronización de UE no planificados. Tal como se ha explicado anteriormente, el eNB de servicio de una celda realiza un seguimiento 402 de los UE planificados y no planificados. Los UE se mueven del grupo no planificado al grupo planificado cuando se recibe una solicitud de planificación. Si transcurre un periodo de tiempo, que supera un límite acordado, sin recibir la solicitud de planificación desde el UE con necesidades de planificación no conocidas, el UE se mueve entonces del grupo planificado al grupo no planificado.

Para los UE dentro del grupo planificado, la sincronización se mantiene 404 enviando un TA cuando es necesario en respuesta a una transmisión planificada desde cada UE. La transmisión planificada puede ser una CQI-RS, o cualquier clase de transmisión del canal de control o de datos, por ejemplo.

Para los UE dentro del grupo no planificado, el eNB asigna 406 un recurso de SRS a cada UE correspondiente para transmitir una sync-RS periódica al eNB. En respuesta, el eNB envía un comando de TA al UE si el error de temporización resultante supera un umbral. En respuesta, el UE añadirá o eliminará a continuación una muestra por cada símbolo OFDM hasta que alcance la temporización correcta. La adición se puede realizar repitiendo una muestra antes del filtrado de Tx. La sync-RS no se transmite en un intervalo de símbolo utilizado para la RS de desmodulación (DM RS), con el fin de evitar interferir con la DM RS transmitida. Análogamente, no se combina con datos en un símbolo de datos. Sin embargo, tal como se ha explicado anteriormente, algunas realizaciones pueden reutilizar una parte de algún símbolo SRS para uno o varios símbolos sync-RS. Multiplexando ortogonalmente la sync-RS en multiplexación por división de código (CDM, code division multiplexing) y multiplexación por división de frecuencia (FDM), se puede soportar un gran número de sync-RS sin contienda con una baja cantidad de sobrecarga.

El periodo utilizado para enviar la sync-RS periódica se puede determinar de varias maneras. Por ejemplo, se puede determinar 408 una frecuencia de TA máxima que se prevé para la celda basándose en las velocidades previstas de los UE dentro de la celda, tal como se ha explicado haciendo referencia a la figura 2. En otra realización, el eNB mantiene un seguimiento de la velocidad de cada UE individualmente, y ajusta en consecuencia el periodo de sync-RS de cada UE.

El ancho de banda utilizado para enviar la sync-RS se puede determinar mediante la precisión de TA requerida 410. El ancho de banda de sync-RS se ajusta entonces para igualar aproximadamente la inversa del objetivo de precisión de TA máxima.

Solicitudes de TA desencadenadas por evento

Tal como se ha mencionado anteriormente, existe una correlación obvia entre la frecuencia de los ajustes de temporización de DL y la frecuencia de los ajustes de temporización de UL debidos al movimiento del UE, debido a la deriva de tiempo y al proceso de nacimiento-muerte de multitrayecto. Por lo tanto, en celdas con altas velocidades donde estas causas son los factores principales de la deriva de tiempo, puede tener sentido desencadenar el TA de UL en base al TA de DL, por ejemplo el UE envía de manera autónoma una solicitud para ajuste de temporización (TA) al nodo B cuando la pérdida de sincronización observada en DL supera un umbral predefinido de error de temporización. En este caso, el UE envía solicitudes de actualización de TA "a petición". Estas se pueden enviar añadiéndose a las synch_RS planificadas periódicamente utilizadas para mantener la sincronización, o en algunas realizaciones las celdas con altas velocidades se pueden configurar para utilizar solamente solicitudes de actualización de TA autónomas. Este enfoque puede ser útil en celdas con bajas velocidades así como para rastrear variaciones súbitas del perfil del trayecto que se producen habitualmente en entornos urbanos (por ejemplo, cuando el UE dobla una esquina de un bloque).

El UE puede utilizar los canales siguientes para enviar solicitudes de TA: acceso aleatorio (PRACH), indicador de solicitud de planificación (SRI). El PRACH es un posible canal que un UE sincronizado en UL puede utilizar para enviar solicitudes de TA y su preámbulo proporciona medios para la estimación de TA. Asimismo, en la respuesta RA del procedimiento de RA está ya dispuesto un campo de TA. Sin embargo, existe un coste de sobrecarga asociado, debido al aumento resultante de la carga ofrecida. Suponiendo la actual probabilidad de colisión operativa

por UE utilizada en RAN2, $p_{coll}^{UE} = 1\%$, un intervalo de tiempo-frecuencia PRACH (64 firmas) por 10 ms por 5 MHz puede manejar una carga ofrecida de

$$G = -64 \ln(1 - p_{coll}^{UE}) = 0,6432 \text{ intentos de acceso aleatorio (RA) promedio, por intervalo PRACH,}$$

lo que se convierte en 128 intentos/s en 10 MHz. Esta carga corresponde a una carga de RA esperada "normal" cuando no se espera que se utilice el RA para mantener la sincronización de UL. Por lo tanto, las solicitudes de TA autónomas requerirán necesariamente intervalos PRACH adicionales. Como resultado, la sobrecarga de RA debida a las solicitudes de TA se cuantifica en UL tanto por los intervalos de tiempo-frecuencia PRACH adicionales

necesarios para mantener p_{coll}^{UE} como por el siguiente mensaje, requerido con propósitos de resolución de contienda. Suponiendo que este mensaje ocupa 1 RB/1 subtrama, la carga se puede obtener a partir del periodo de TA del peor caso de las diferentes fuentes de error de temporización, preparadas haciendo referencia a la figura 2. Para ser conservadores, no se tiene en cuenta el impacto de sobrecarga de las colisiones con el RA. La sobrecarga de RA resultante en 10 MHz se muestra en la figura 5A. Se puede observar que incluso para velocidades bajas a medias, el coste extra para mantener la sincronización de UL de cien usuarios es muy significativo.

El indicador de solicitud de planificación (SRI) es un canal sin contienda que permite a los UE transmitir solicitudes de planificación. Por ejemplo, el SRI definido en las especificaciones LTE, "3GPP TS 36.3211 v8.2.0, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release 8)", como formato PUCCH 1 en la sección 5.4.1, permite soportar 180 UE en un espectro de 5 MHz suponiendo un provisionamiento de SRI habitual donde un RB de frecuencia (180 kHz) está dedicado permanentemente a transmisiones de SRI y el periodo de SRI por UE es de 10 subtramas o 10 ms, con el fin de mantener el tiempo de espera promedio de una solicitud de planificación en 5 ms. Dado que un espectro de 5 MHz ocupa 25 RB, la sobrecarga constante resultante de esta asignación de SRI es de $1/25 = 4\%$.

El ancho de banda estrecho (1 RB) de la estructura de SRI mencionada anteriormente descarta que el eNB lleve a cabo una estimación de TA de una sola vez. Por lo tanto, el actual procedimiento SRI, diseñado para soportar el transporte de la nueva solicitud de planificación desde los UE, está aumentado como 600 en la figura 6 para permitir solicitar una transmisión de sync-RS en apoyo de una solicitud de TA. Como en el procedimiento de solicitud de planificación convencional, el UE envía un SRI sin contienda 601 para informar al eNB de que tiene una nueva solicitud de planificación. Tras la detección del SRI, el eNB asigna y transmite al UE en la respuesta a SRI 602 algún recurso de UL sobre el PUSCH para el mensaje de solicitud de planificación 603. El UE transmite el mensaje de solicitud de planificación 603 en el que informa al eNB de que en realidad necesita solamente una actualización de TA (solicitud de TA). Tras la decodificación de la solicitud de TA 603, el eNB asigna y transmite al UE un recurso de sync-RS en el mensaje 604. El UE envía en consecuencia el sync-RS 605, que el eNB utiliza para estimar la temporización de UL para el UE. El eNB devuelve además un ajuste de temporización (TA) 606 al UE, si procede.

La figura 7A muestra la sobrecarga resultante del procedimiento de solicitud de TA basado en SRI 600 mencionado anteriormente, donde la sobrecarga constante del 4 % del SRI se añade a la sobrecarga debida al mensaje de solicitud de TA 603 (1 RB / 1 subtrama) y a la siguiente sync-RS (6 RBs / 1 símbolo OFDM). Tal como se puede observar, el ahorro es significativo comparado con la sobrecarga de RA.

En otra realización, el SRI se envía junto con un SRS basado en contienda, que proporciona medios para estimación tanto de TA como de CQI. Se describe un ejemplo de la estructura de dicho SRI en la solicitud de patente USPTO # 11/866912 "An Efficient Scheduling Request Channel For Wireless Networks". El número de UE soportados en 5 MHz es de 512 o 256 dependiendo de si el procedimiento está o no optimizado en apoyo de solicitudes de TA. Igual que antes, y a diferencia del caso de RA, la naturaleza sin contienda del SRI hace innecesario asignar más intervalos de tiempo frecuencia SRI en apoyo de las solicitudes de TA. El único impacto de la carga adicional es el aumento de contienda en la SR de ancho de banda basado en contienda (o SRS). Por lo tanto, el aumento de la sobrecarga de SRI en apoyo de solicitudes de TA se puede calcular como sigue. Primero, se calcula el porcentaje de los UE con colisión de SRS en base a la carga de solicitud de TA añadido al de una carga ofrecida en curso asumida de 0,5, debida solamente a solicitudes de planificación. A continuación, se distingue entre procedimientos de señalización. Tal como se desarrolla en la solicitud de patente USPTO # 11/12050382 "Scheduling Request Usage In DRX Mode in Wireless Networks", en un procedimiento, se envía un SRI después de recibir recursos planificados se realiza una solicitud de ajuste de temporización. En un procedimiento optimizado alternativo, el SRI incluye un bit de información incorporado, para indicar cuándo se requiere solamente un TA. En este caso, el comando de ajuste de temporización es enviado por el eNB en respuesta al SRI codificado.

Para el primer procedimiento de señalización, el porcentaje de los UE sin colisión SRS enviarán un mensaje de solicitud de planificación (alias solicitud de TA) similar al mensaje 603 sobre 1 RB/1 subtrama y el porcentaje de los UE con colisión enviarán adicionalmente una SRS sobre un símbolo, 6 RB. Para el procedimiento optimizado para solicitudes de TA, el porcentaje de los UE sin colisión no consumirán ninguna sobrecarga adicional y el porcentaje de los UE con colisión enviarán adicionalmente una SRS sobre un símbolo, 6 RB. Se debe observar que todas las SRS adicionales resultantes de colisiones se tienen en cuenta por separado en la sobrecarga, y en la práctica se conseguiría una optimización adicional multiplexando en CDM y/o FDM algunas de estas SRS en el mismo símbolo de tiempo frecuencia. Sin embargo, los resultados de la sobrecarga muestran en la figura 7B que la sobrecarga de este SRI con SRS basada en contienda, comparada con la sobrecarga de RA, está dentro de intervalos mucho más aceptables, y es asimismo menor que la sobrecarga de SRI 600.

Como conclusión, se puede conseguir la sincronización de UL de un número mayor de UE por medio de transmisiones de UL controladas por eNB con baja sobrecarga. Además, para supervisar variaciones súbitas de perfiles de trayectos (por ejemplo, cuando el UE dobla una esquina en un bloque) o velocidades extremas, este esquema se puede complementar mediante solicitudes de TA autónomas desencadenadas en el UE a partir de variaciones observadas de temporización de DL. Tanto la estructura SRI convencional y simple y el procedimiento definido actualmente en las especificaciones LTE como los más avanzados descritos en las solicitudes de patente USPTO mencionadas anteriormente pueden servir de manera eficiente para este propósito.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 4, para celdas con alta velocidad 412 o en casos de cambio rápido en la dirección, el UE puede determinar el error de temporización en base a transmisiones recibidas del eNB en el enlace descendente. Si el error supera un umbral, entonces se envía autónomamente 414 una solicitud de TA al eNB para mantener la sincronización. El UE puede enviar de forma autónoma solicitudes de TA a una frecuencia mayor que la sync-RS periódica, para mantener mejor la sincronización con el eNB.

Secuencia de sync-RS

La secuencia de sync-RS se genera como cualquier otra secuencia de SRS, a partir de una secuencia compleja de amplitud constante y autocorrelación cero (CAZAC) asignada al UE entre un conjunto de R_s posibles secuencias. Estas secuencias se construyen a partir de desplazamientos cíclicos de una secuencia (o base) de raíz CAZAC común, configurada por el INB.

Ejemplos bien conocidos de secuencias CAZAC incluyen, de forma no limitativa: secuencias Chu, secuencias Frank-Zadoff, secuencias Zadoff - Chu (ZC) y secuencias de tipo Chirp generalizadas (GCL, Generalized Chirp-Like). Un conjunto conocido de secuencias con propiedad CAZAC son las secuencias Zadoff-Chu de longitud N , definidas como sigue

$$(1) \quad a_k = \exp \left[j2\pi \frac{M}{N} \left(\frac{k(k+1)}{2} + qk \right) \right]$$

donde M es coprimo con respecto a N , N es impar y q es cualquier entero.

La última limitación sobre N garantiza asimismo la correlación cruzada mínima y de magnitud constante $\sqrt{N}$ entre secuencias de longitud N con diferentes valores de M : M_1, M_2 tales que $(M_1 - M_2)$ es coprimo con respecto a N . Como resultado, elegir N como un número primo garantiza siempre esta propiedad para todos los valores de $M < N$, y por lo tanto maximiza el conjunto de secuencias adicionales, no ortogonales, pero con propiedad de correlación cruzada óptima. Estas secuencias adicionales están habitualmente previstas para ser utilizadas en celdas vecinas, con el fin de proporcionar una buena mitigación de la interferencia entre celdas.

La limitación anterior sobre la longitud de la secuencia puede no corresponderse con el número N_{sc} de subportadoras correspondientes al ancho de banda asignado a la SRS. En tal caso, N se elige como el mayor número primo menor que N_{sc} y la secuencia de longitud N se extiende a una secuencia de longitud N_{sc} por medio de extensión cíclica. Dicha secuencia resultante se denomina la secuencia de tipo CAZAC.

- 5 Los recursos de SRS se multiplexan ortogonalmente a través de las dimensiones siguientes: tiempo (subtrama), bloques de recurso de frecuencia, subportadoras de frecuencia y desplazamiento cíclico de secuencia.

La figura 8 es un diagrama de bloques de un transmisor ilustrativo 800 para transmitir una sync-RS. Los elementos del transmisor se pueden implementar como componentes en un procesador fijo o programable, ejecutando instrucciones almacenadas en memoria. El transmisor 800 se utiliza para seleccionar y realizar la transmisión de sync-RS como sigue. El UE realiza la selección de una secuencia de base de tipo CAZAC (por ejemplo, ZC o ZC extendida o QPSK de autocorrelación cero generada por ordenador) utilizando el selector de secuencias raíz de tipo CAZAC 801. El UE genera la secuencia de tipo CAZAC (por ejemplo, ZC o ZC extendida o QPSK de autocorrelación cero generada por ordenador) utilizando el generador de secuencias de base 802. El eNB proporciona al UE una asignación de recursos SRS 803 que permite introducir el UE en la multiplexación de SRS. Este índice del recurso de SRS define directa o indirectamente 804 un valor de desplazamiento cíclico α . A continuación, la secuencia de base es desplazada mediante un desplazador cíclico 806 utilizando valores de desplazamiento proporcionados por el módulo de selección de desplazamiento cíclico 804.

La señal en el dominio de frecuencia resultante se mapea sobre un conjunto designado de tonos (subportadoras) utilizando el mapa de tonos 808. El mapa de tonos 808 realiza toda la multiplexación de frecuencias apropiada (nivel de tono así como nivel de RB) de acuerdo con la asignación de recursos de SRS 803. El UE realiza a continuación la IFFT de la señal mapeada utilizando la IFFT 710. Se crea y se suma un prefijo cíclico en el módulo 812 para formar una señal de enlace ascendente final formada totalmente 714.

La figura 9 es un diagrama de bloques que muestra el funcionamiento de un eNB y un UE móvil en el sistema de red de la figura 1. Tal como se muestra en la figura 9, el sistema de funcionamiento en red inalámbrico 900 comprende un dispositivo de UE móvil 901 en comunicación con un eNB 902. El dispositivo de UE móvil 901 puede representar cualquiera de diversos dispositivos tales como un servidor, un ordenador de sobremesa, un ordenador portátil, un teléfono móvil, un asistente digital personal (PDA, Personal Digital Assistant), un teléfono inteligente u otros dispositivos electrónicos. En algunas realizaciones, el dispositivo de UE móvil electrónico 901 comunica con el eNB 902 basándose en un protocolo LTE o E-UTRAN. Alternativamente, se puede utilizar otro protocolo de comunicación conocido actualmente o desarrollado más adelante.

Tal como se muestra, el dispositivo de UE móvil 901 comprende un procesador 903 acoplado a una memoria 907 y un transceptor 904. La memoria 907 almacena aplicaciones (software) 905 para ser ejecutadas por el procesador 903. Las aplicaciones 905 podrían comprender cualquier aplicación conocida o futura, útil para individuos u organizaciones. Como un ejemplo, dichas aplicaciones 905 se podrían categorizar como sistemas operativos (OS, operating systems), controladores de dispositivos, bases de datos, herramientas multimedia, herramientas de presentación, navegadores de internet, programas de correo electrónico, herramientas de voz sobre protocolo de internet (VOIP, Voice-Over-Internet Protocol), exploradores de archivos, cortafuegos, mensajería instantánea, herramientas financieras, juegos, procesadores de texto u otras categorías. Independientemente de la naturaleza exacta de las aplicaciones 905, por lo menos algunas de las aplicaciones 905 pueden dirigir el dispositivo de UE móvil 901 para transmitir señales de UL al eNB (estación base) 902 periódica o continuamente por medio del transceptor 904. Por lo menos en algunas realizaciones, el dispositivo de UE móvil 901 identifica un requisito de calidad de servicio (QoS) cuando solicita un recurso de enlace ascendente del eNB 902. En algunos casos, el requisito de QoS puede ser obtenido implícitamente por el eNB 902 a partir del tipo de tráfico soportado por el dispositivo de UE móvil 901. Como un ejemplo, las aplicaciones de VOIP y juegos involucran a menudo transmisiones de enlace ascendente (UL) de baja latencia mientras que el tráfico de alto caudal (HTP, High Throughput)/protocolo de transmisión de hipertexto (HTTP, Hypertext Transmission Protocol) puede involucrar transmisiones de enlace ascendente de alta latencia.

Tal como se muestra en la figura 9, el transceptor 904 comprende lógica de enlace ascendente 906. La lógica de enlace ascendente ejecuta instrucciones que controlan el funcionamiento del transceptor. Algunas de estas instrucciones se pueden almacenar en la memoria 907 y ejecutarse cuando sea necesario. Cuando no hay datos previstos para transmisión, la lógica de enlace ascendente pone el transceptor en un modo DRX de baja energía. Estando en el modo DRX, la lógica de enlace ascendente transmitirá periódicamente una sync-RS, tal como se ha explicado haciendo referencia a las figuras 2 a 4, para mantener la sincronización con el eNB 902. Tal como comprenderá un experto en la materia, los componentes de la lógica de enlace ascendente 906 pueden involucrar la capa física (PHY) y/o la capa de control de acceso al medio (MAC, Media Access Control) del transceptor 904.

Como se muestra en la figura 9, el eNB 902 comprende un procesador 909 acoplado a una memoria 913 y a un transceptor 910. La memoria 913 almacena aplicaciones 908 para ser ejecutadas por el procesador 909. Las aplicaciones 908 podrían comprender cualquier aplicación conocida o futura, útil para gestionar comunicaciones inalámbricas. Por lo menos algunas de las aplicaciones 908 pueden dirigir la estación base para gestionar transmisiones hacia, o desde el dispositivo de usuario 901.

El transceptor 910 comprende un gestor de recursos de enlace ascendente 912, que permite al eNB 902 asignar selectivamente recursos de PUSCH de enlace ascendente al dispositivo de usuario 901. Tal como comprenderá un experto en la materia, los componentes de la lógica de recursos de enlace ascendente 912 pueden involucrar la capa física (PHY) y/o la capa de control de acceso al medio (MAC, Media Access Control) del transceptor 910. El transceptor 910 incluye un receptor 911 para recibir transmisiones desde varios UE dentro del alcance del eNB.

El gestor de recursos de enlace ascendente 912 ejecuta instrucciones que controlan el funcionamiento del transceptor 910. Algunas de estas instrucciones pueden estar localizadas en la memoria 913 y ejecutarse cuando sea necesario. El gestor de recursos 912 controla recursos de transmisión asignados a cada UE que está siendo servido por el eNB 902, y difunde información de control por medio del canal físico de control de enlace descendente PDCCH. Un UE que está en modo DRX puede ignorar la información de control de enlace descendente, y el eNB no espera recibir transmisiones de un UE en modo DRX. Sin embargo, si un UE en modo DRX transmite una sync-RS sobre el PUSCH, el gestor de recursos 912 realiza entonces un análisis de temporización de la sync-RS y si es necesario envía de vuelta al UE un TA para mantener la sincronización. Si el eNB está dando servicio a una celda con UE de alta velocidad o sometidos a variaciones rápidas de canal, tal como, por ejemplo, entornos urbanos (calles estrechas y profundas), entonces las solicitudes de TA autónomas pueden recibirse desde el UE a una mayor frecuencia que la sync-RS periódica, tal como se ha explicado haciendo referencia a las figuras 4 a 8.

La figura 10 es un diagrama de bloques de un teléfono celular móvil 1000 para utilizar en la red de la figura 1. La unidad de banda base digital (DBB, digital baseband) 1002 puede incluir un sistema de procesador de procesamiento digital (DSP) que incluye memoria y características de seguridad incorporadas. Una unidad de procesamiento de estímulos (SP, Stimulus Processing) 1004 recibe un flujo de datos de voz desde un micrófono del microteléfono 1013a y envía un flujo de datos de voz a un altavoz mono del microteléfono 1013b. La unidad SP 1004 recibe asimismo un flujo de datos de voz del micrófono 1014a y envía un flujo de datos de voz a un auricular mono 1014b. Normalmente, SP y DBB son IC independientes. En la mayoría de las realizaciones, SP no incorpora un núcleo de procesador programable, sino que realiza el procesamiento basándose en la configuración de trayectos de audio, filtros, ganancias, etc. que son configurados por software que se ejecuta en la DBB. En una realización alternativa, el procesamiento SP se realiza sobre el mismo procesador que realiza el procesamiento de DBB. En otra realización, un DSP independiente u otro tipo de procesador realiza el procesamiento de SP.

Un transceptor de RF 1006 incluye un receptor para recibir un flujo de tramas de datos codificados y comandos procedentes de una estación base celular por medio de la antena 1007, y un transmisor para transmitir un flujo de tramas de datos codificados a la estación base del celular por medio de la antena 1007. La transmisión de datos PUSCH es realizada por el transceptor utilizando los recursos PUSCH designados por el eNB de servicio. En algunas realizaciones, pueden intervenir saldos de frecuencia utilizando dos o más bandas, bajo las órdenes del eNB de servicio. En esta realización un único transceptor puede soportar funcionamiento multi-estándar (tal como EUTRA y otros estándares), pero otras realizaciones pueden utilizar múltiples transceptores para diferentes estándares de transmisión. Otras realizaciones pueden tener transceptores para un estándar de transmisión desarrollado más adelante, con la configuración apropiada. El transceptor de RF 1006 está conectado a la DBB 1002 que proporciona procesamiento de las tramas de datos codificados que están siendo recibidos y transmitidos por la unidad de UE móvil 1000.

El EUTRA define SC-FDMA (por medio de OFDMA expandido en DFT) como la modulación de enlace ascendente. La radio SC-FDMA DSP básica puede incluir transformada de Fourier discreta (DFT, discrete Fourier transform), mapeo de recursos (es decir, tono) e IFFT (implementación rápida de IDFT) para formar un flujo de datos para transmisión. Para recibir el flujo de datos de la señal recibida, la radio SC-FDMA puede incluir DFT, desmapeo de recursos e IFFT. Las operaciones de DFT, IFFT y mapeo/desmapeo de recursos pueden ser realizadas mediante instrucciones almacenadas en la memoria 1012 y ejecutadas por la DBB 1002 en respuesta a señales recibidas por el transceptor 1006.

Cuando no se esperan datos para transmisión, la DBB pone el transceptor 1006 en modo DRX de baja energía. Estando en modo DRX, no se requiere que el transceptor monitorice un mensaje de control de enlace descendente procedente de un eNB de servicio, ni que lo envíe al eNB. Estando en modo DRX, la DBB enviará periódicamente una sync-RS al eNB para mantener la sincronización, tal como se ha descrito anteriormente haciendo referencia a las figuras 2 a 4. Asimismo, para celdas que se ha determinado son celdas con altas velocidades o celdas urbanas donde se prevén variaciones rápidas de canal, el UE puede enviar autónomamente solicitudes de TA a una frecuencia mayor que la sync-RS periódica con el fin de mantener mejor la sincronización con el eNB.

La unidad de DBB 1002 puede enviar o recibir datos a varios dispositivos conectados a un puerto de bus en serie universal (USB, universal serial bus) 1026. La DBB 1002 puede estar conectada a una tarjeta de módulo de identidad de abonado (SIM, subscriber identity module) 1010, y almacena y recupera información utilizada para realizar llamadas por medio del sistema celular. La DBB 1002 puede asimismo estar conectada a una memoria 1012 que aumenta la memoria incorporada y se utiliza para diversas necesidades de procesamiento. La DBB 1002 puede estar conectada a una unidad de banda base Bluetooth 1030 para una conexión inalámbrica con un micrófono 1032a y un auricular 1032b para enviar y recibir datos de voz. La DBB 1002 puede asimismo estar conectada a una pantalla 1020 y puede enviar información a esta para la interacción con un usuario del móvil UE 1000 durante un proceso de llamada. La pantalla 1020 puede asimismo visualizar imágenes recibidas de la red, de una cámara local

1026 o de otras fuentes, tal como USB 1026. La DBB 1002 puede asimismo enviar un flujo de video a la pantalla 1020, que se recibe desde varias fuentes, tales como la red celular por medio del transceptor de RF 1006 o la cámara 1026. La DBB 1002 puede asimismo enviar un flujo de video a una unidad externa de visualización de video por medio del codificador 1022 sobre un terminal de salida compuesto 1024. La unidad de codificador 1022 puede proporcionar codificación de acuerdo con estándares de video PAL/SECAM/NTSC.

5

Tal como se utilizan en la presente memoria, los términos "aplicado", "acoplado", "conectado" y "conexión" significan conectado eléctricamente, que incluye cuando puede haber elementos adicionales en el trayecto de conexión eléctrica. "Asociado" significa una relación de control, tal como un recurso de memoria que es controlado por un puerto asociado. Los términos afirmar, afirmación, no afirmar, no afirmación, negar y negación se utilizan para evitar confusión cuando se trata con una mezcla de señales activas altas y activas bajas. Afirmar y afirmación se utilizan para indicar que una señal se hace activa, o lógicamente verdadera. No afirmar, no afirmación, negar y negación se utilizan para indicar que una señal se hace inactiva, o lógicamente falsa.

10

En otra realización, la sync-RS puede utilizar más, o posiblemente menos bloques de recursos, para una mayor o menor precisión, respectivamente. Se pueden utilizar diversos escenarios para determinar un periodo para la planificación de sync-RS periódica, diferentes a los propuestos en la presente memoria.

15

Los expertos en la materia a la que pertenece la invención apreciarán que son posibles muchas otras realizaciones y variaciones de realizaciones, dentro del alcance de la invención según se define mediante las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento en una estación base, eNB, (101) que da servicio a una celda (108), para mantener la sincronización en una red celular entre una serie de equipos de usuario, UE, (109) en la celda (108) y el eNB (101), que comprende:
 - 5 realizar un seguimiento de la serie de UE (109) como un grupo planificado y un grupo no planificado, en el que el UE (109) se incluye en el grupo planificado en respuesta a recibir una solicitud de planificación del UE (109);
mantener la sincronización de cada UE (109) en el grupo planificado con el eNB (101), enviando un comando (606) de ajuste de temporización, TA, si es necesario, en respuesta a recibir una transmisión planificada desde cada respectivo UE (109) en el grupo planificado; y
 - 10 mantener la sincronización de cada UE (109) en el grupo no planificado con el eNB (101), asignando una señal de referencia periódica, sync-RS, (605) a cada UE (109) en el grupo no planificado y enviando un respectivo comando de TA (606) si es necesario, en respuesta a una respectiva sync-RS (605) recibida desde cada UE (109) en el grupo no planificado, en el que
cada sync-RS (605) es asignada cada n subtramas en un intervalo de símbolo no utilizado por una señal de referencia de desmodulación DMRS ni por transmisión de datos.
 - 15
2. Un procedimiento para mantener la sincronización en una red celular entre un equipo de usuario, UE (109) en una celda (108) y una estación base, eNB, (101) que da servicio a la celda (108), que comprende:
poner el UE (109) en un modo de recepción discontinua, DRX, mientras el UE (109) no tiene datos para transmitir;
recibir, mediante el UE, una asignación (604) para una señal de referencia periódica, sync-RS;
20 transmitir, mediante el UE, la sync-RS (605) al eNB (101) periódicamente estando en modo DRX; y
recibir, mediante el UE, un comando de ajuste de temporización, TA, (606), si es necesario, desde el eNB (101) en respuesta a la sync-RS (605), en el que
cada sync-RS (605) es asignada por la estación base cada n subtramas en un intervalo de símbolo no utilizado por una señal de referencia de desmodulación DMRS ni por transmisión de datos.
- 25
3. El procedimiento según la reivindicación 1 o 2, que comprende además determinar una frecuencia de TA máxima prevista para la celda (108), y en el que el período de sync-RS es configurado por el eNB (101) para ser aproximadamente igual a la frecuencia de TA máxima prevista en la celda (108).
4. El procedimiento según la reivindicación 1 o 2, que comprende además determinar una precisión de TA máxima objetivo en la celda (108), y en el que el ancho de banda de sync-RS es configurado por el eNB (101) para ser aproximadamente igual a la inversa de la precisión de TA máxima objetivo en la celda (108).
- 30
5. El procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que las sync-RS (605) son multiplexadas ortogonalmente en multiplexación por división de código, CDM, en multiplexación por división de frecuencia, FDM y en multiplexación por división de tiempo, TDM.
6. El procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que las sync-RS (605) son multiplexadas ortogonalmente en multiplexación por división de código, CDM, y en multiplexación por división de frecuencia, FDM, en el mismo símbolo OFDM con otras señales de referencia de sondeo, SRS, utilizadas por los UE planificados (109).
- 35
7. El procedimiento según la reivindicación 5, que comprende además llevar a cabo una multiplexación CDM de la sync-RS (605) desplazando cíclicamente una secuencia de tipo amplitud constante y autocorrelación cero, CAZAC.
- 40
8. El procedimiento según la reivindicación 1 o 2, que comprende además:
transmitir a un UE (109) en el grupo no planificado sobre un canal de enlace descendente, DL; y
recibir una solicitud de TA autónoma del UE (109) en el grupo no planificado, en respuesta a una variación de la temporización más allá de un umbral, observada por el UE (109) en la transmisión del canal de DL desde el eNB (101).
- 45
9. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que la variación de temporización observada por el UE (109) en la transmisión del canal de DL desde el eNB (101) es un desplazamiento de tiempo del perfil de retardo recibido.
10. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que la variación de temporización observada por el UE (109) en la transmisión del canal de DL desde el eNB (101) es una variación de la dispersión de retardo del perfil de retardo recibido.

11. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que la solicitud de TA autónoma es transportada por un indicador de solicitud de planificación, SRI, un canal de enlace ascendente, UL, utilizado para transmitir nuevas solicitudes de planificación.

12. Un sistema, que comprende:

- 5 un equipo de usuario, UE, (109, 901) para utilizar en una red celular, y
una estación base, eNB, (101; 902), en el que

el UE comprende:

- 10 un receptor (904; 1006) conectado a una antena (1007) que puede funcionar para recibir información de una estación base, eNB, (101; 902) dentro de una determinada celda (108) que proporciona información por medio de un canal de enlace descendente, DL;

- 15 un procesador (903) conectado a una memoria de almacenamiento (907) que contiene instrucciones para su ejecución por el procesador, y acoplado al receptor (904; 1006), en el que el procesador (903) puede funcionar para poner el equipo de usuario, UE, (109; 901) en un modo de recepción discontinua, DRX, durante el cual no se espera que el equipo de usuario, UE, (109; 901) transmita datos al eNB de servicio (101; 902), en el que el procesador (903) puede funcionar para recibir una asignación para una señal de referencia periódica, sync-RS, por medio del canal de DL;

- un transmisor (904; 1006) acoplado al procesador (903), que puede funcionar para transmitir la sync-RS (605) al eNB (101) periódicamente estando en modo DRX; y

- 20 en el que el procesador (903) puede funcionar para recibir por medio del canal de DL un comando de ajuste de temporización, TA, (606), si es necesario, desde el eNB (101) en respuesta a la sync-RS (605), en el que

cada sync-RS (605) es asignada por la estación base cada n subtramas en un intervalo de símbolo no utilizado por una señal de referencia de desmodulación DMRS ni por transmisión de datos.

13. Un aparato de estación base, eNB, (101) para utilizar en una red celular, que comprende:

- 25 un receptor (911) conectado a una antena que puede funcionar para recibir transmisiones de un equipo de usuario, UE, (109) en una celda (108) servida por el eNB (101);

un transmisor (910) acoplado a una antena, que puede funcionar para transmitir al UE (109) servido por el eNB (101);

- 30 un procesador (909) conectado a una memoria de almacenamiento (913) que contiene instrucciones para su ejecución por el procesador (909), y acoplado al receptor (911) y al transmisor (910), en el que el procesador (909) puede funcionar para rastrear una serie de UE (109) como un grupo planificado y un grupo no planificado, en el que el UE (109) es incluido en el grupo planificado en respuesta a recibir una solicitud de planificación del UE (109);

en el que el procesador puede funcionar para mantener la sincronización de cada UE (109) en el grupo planificado con el eNB (101), enviando un comando de ajuste de temporización, TA, si es necesario, en respuesta recibir una transmisión planificada desde cada respectivo UE (109) en el grupo planificado; y

- 35 en el que el procesador (909) puede funcionar para mantener la sincronización de cada UE (109) en el grupo no planificado con el eNB (101), asignando una señal de referencia periódica, sync-RS, a cada UE (109) en el grupo no planificado y enviando un respectivo comando de TA (606) si es necesario, en respuesta a una respectiva sync-RS (605) recibida de cada UE (109) en el grupo no planificado, en el que

- 40 cada sync-RS (605) es asignada cada n subtramas en un intervalo de símbolo no utilizado por una señal de referencia de desmodulación DMRS ni por transmisión de datos.

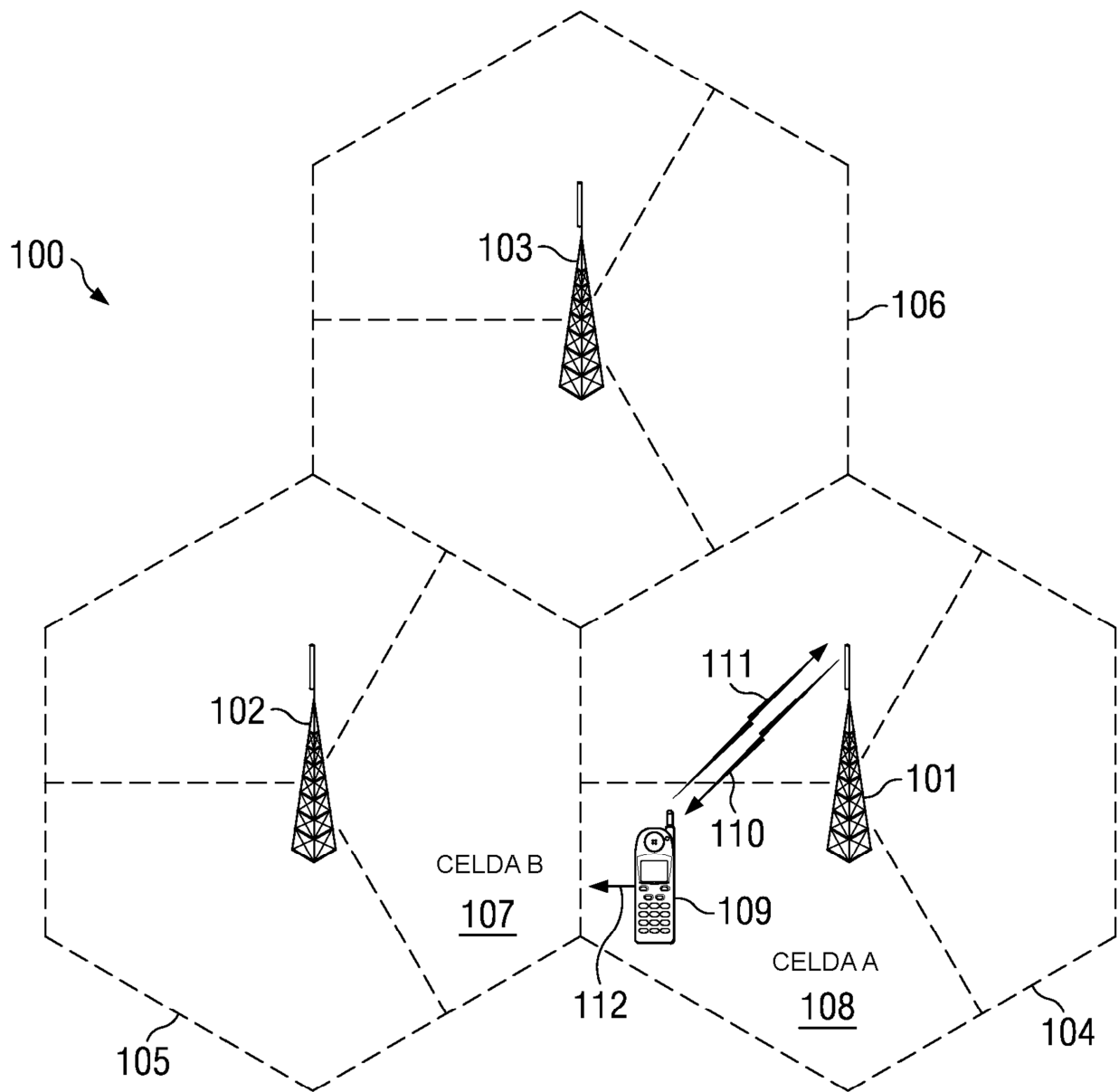


FIG. 1

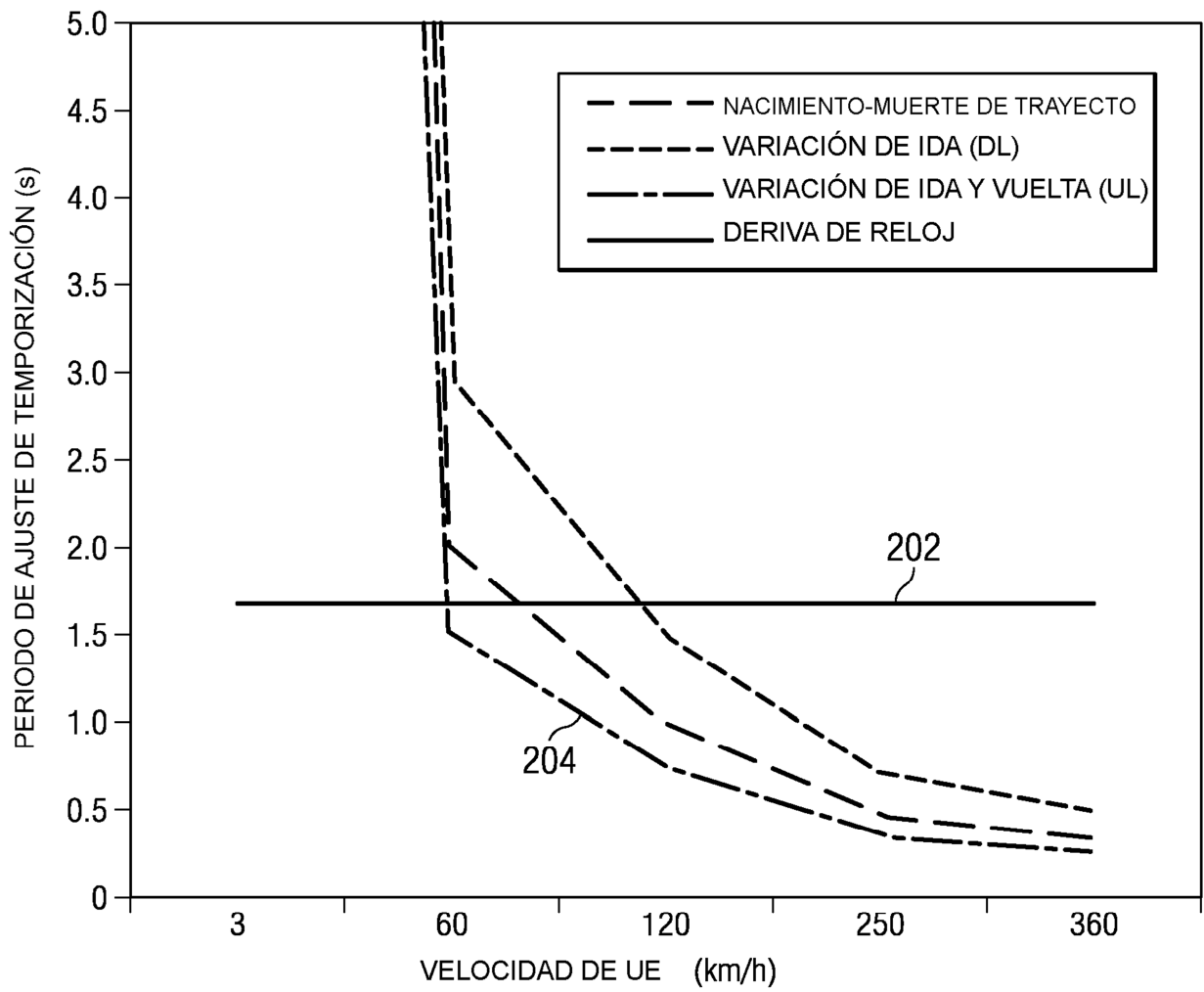
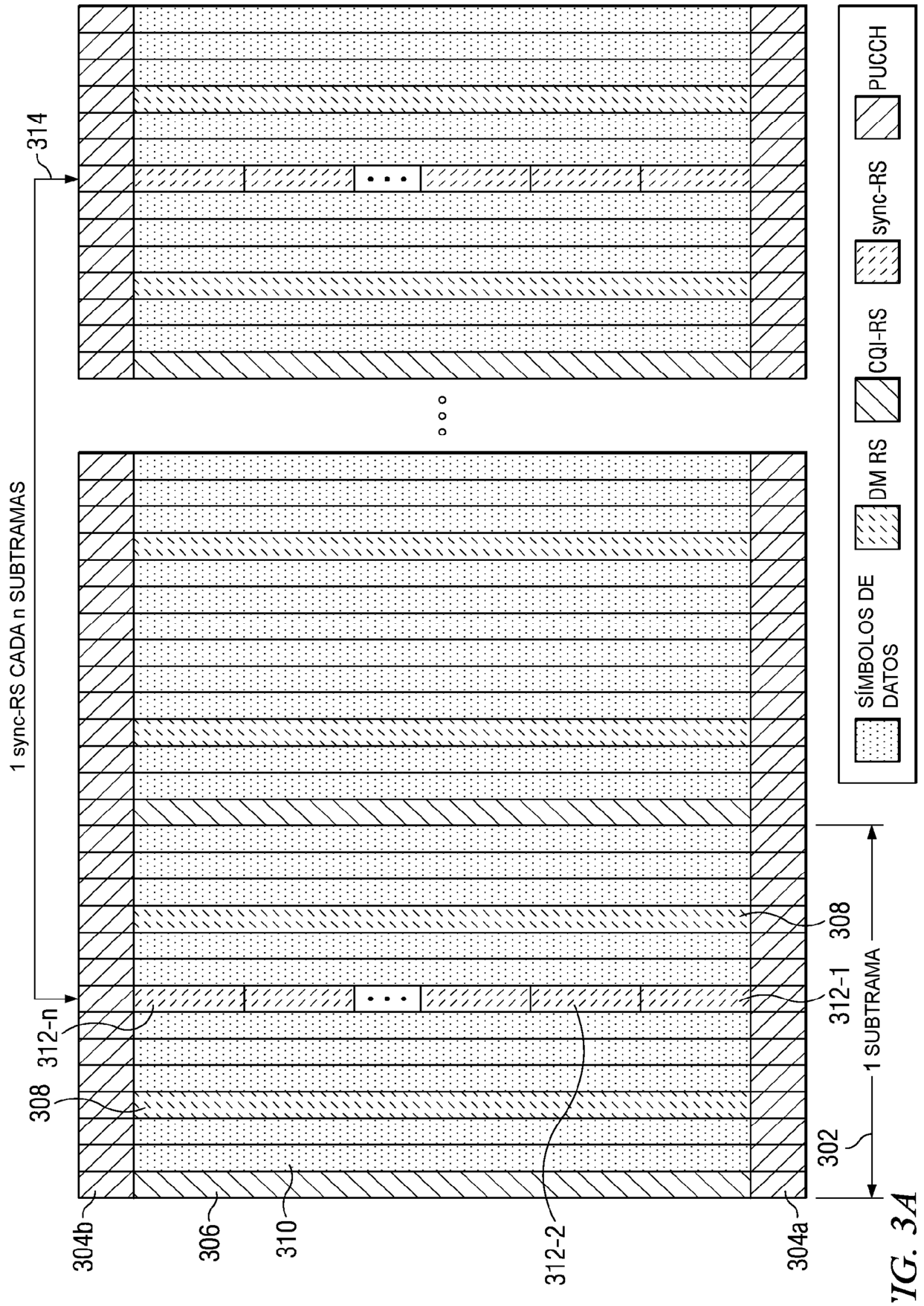


FIG. 2



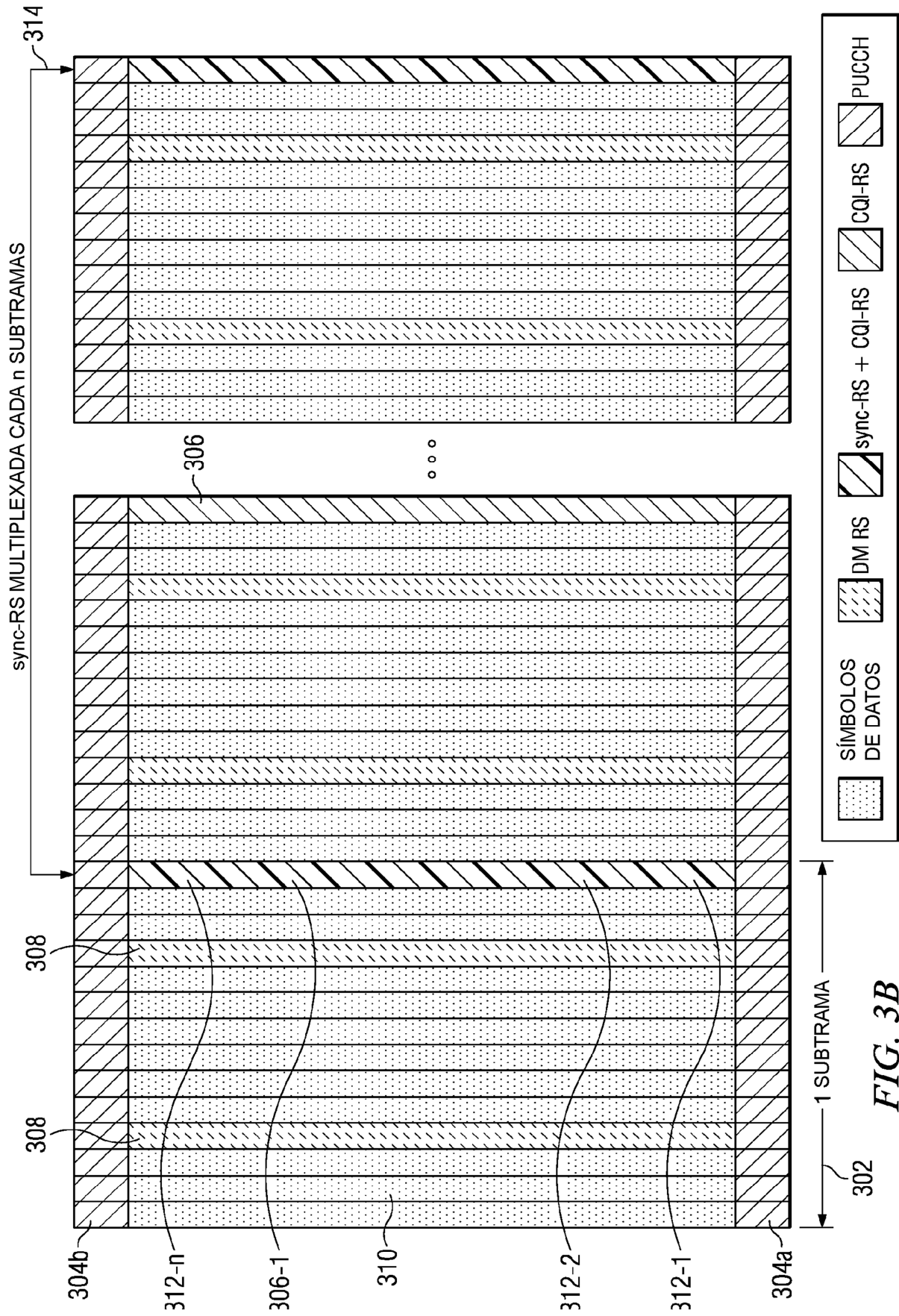


FIG. 3B

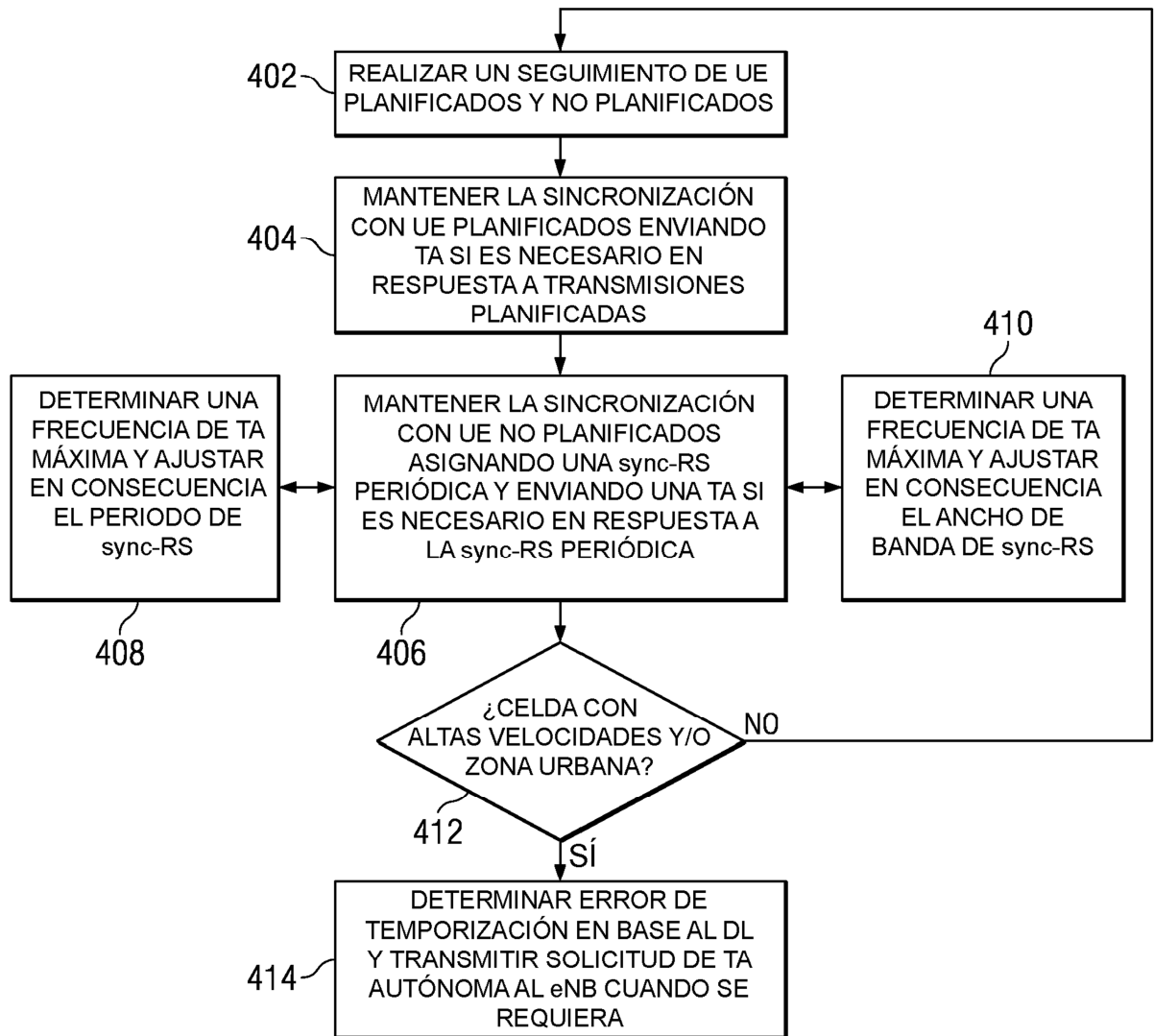


FIG. 4

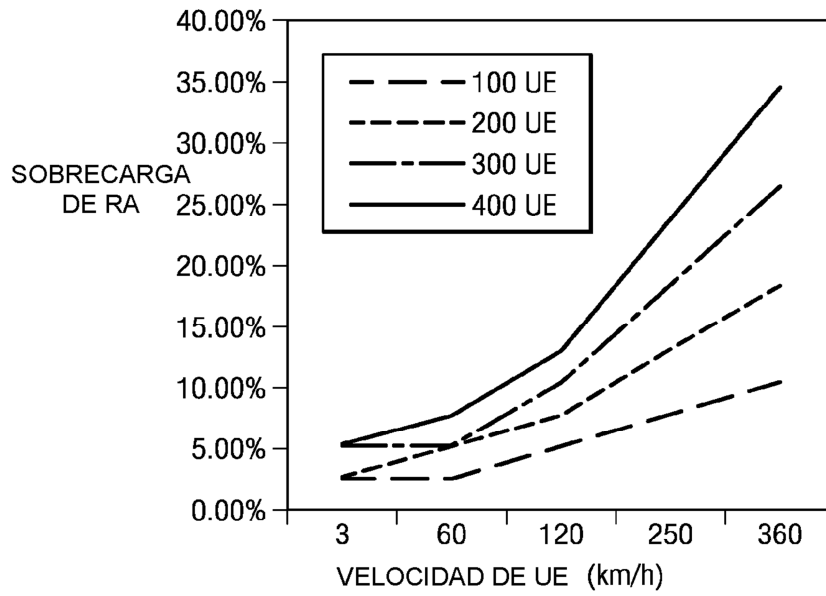


FIG. 5

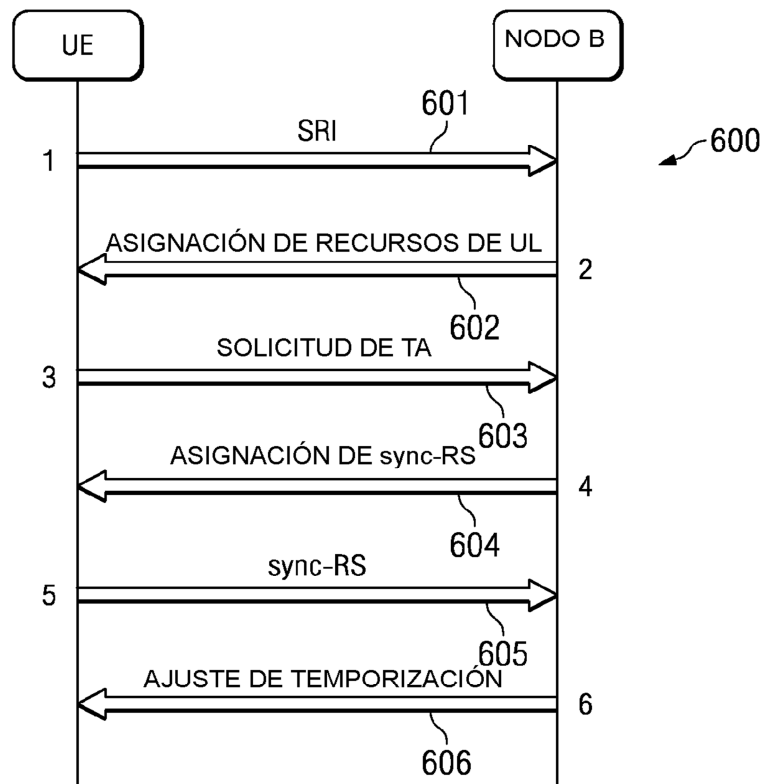
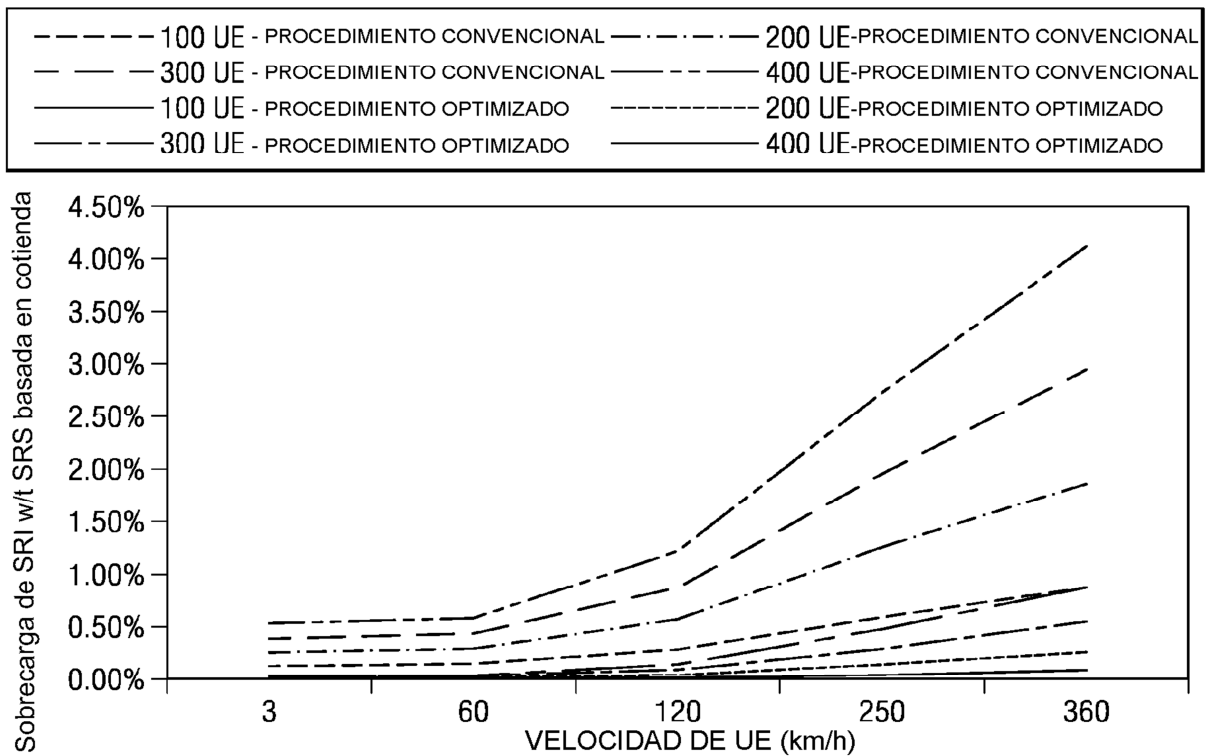
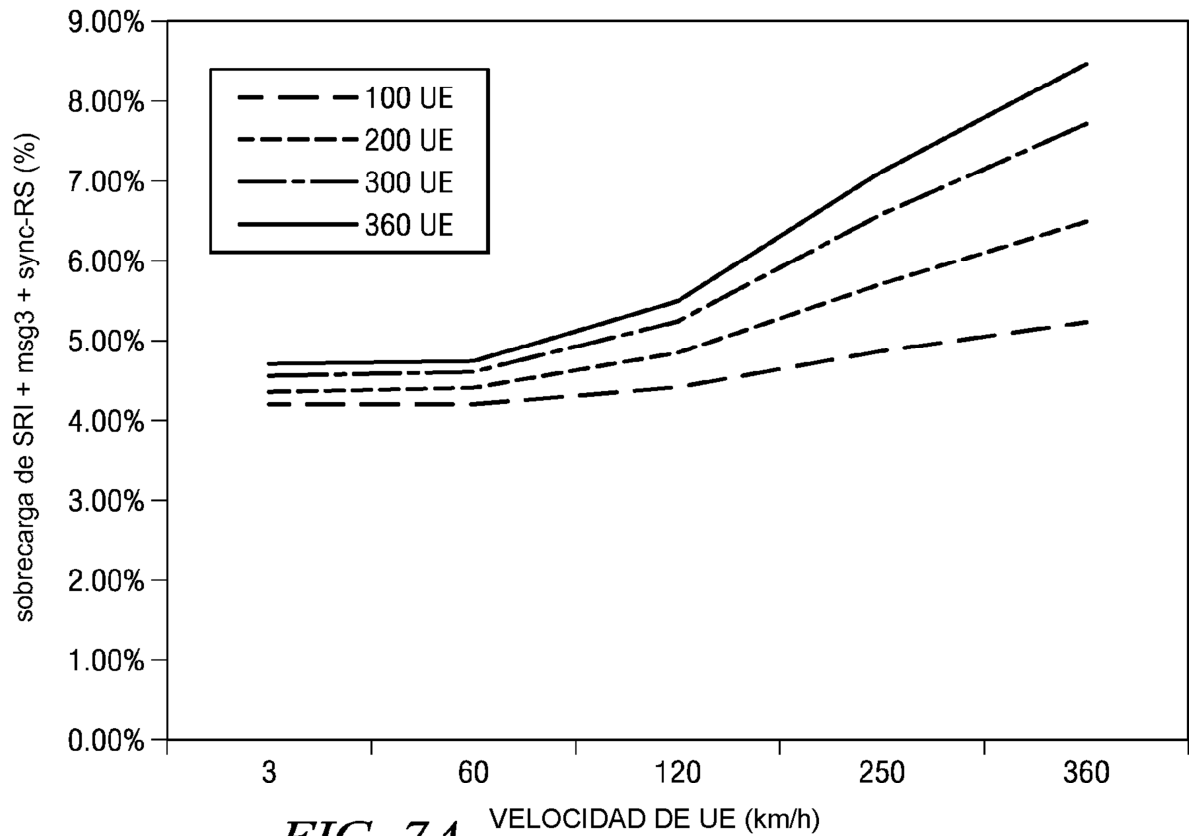


FIG. 6



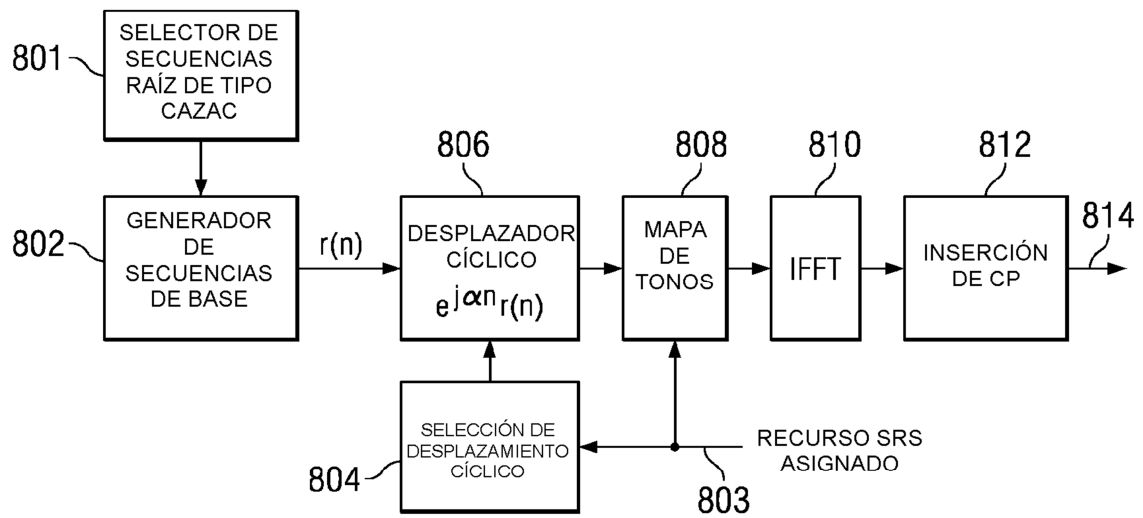


FIG. 8

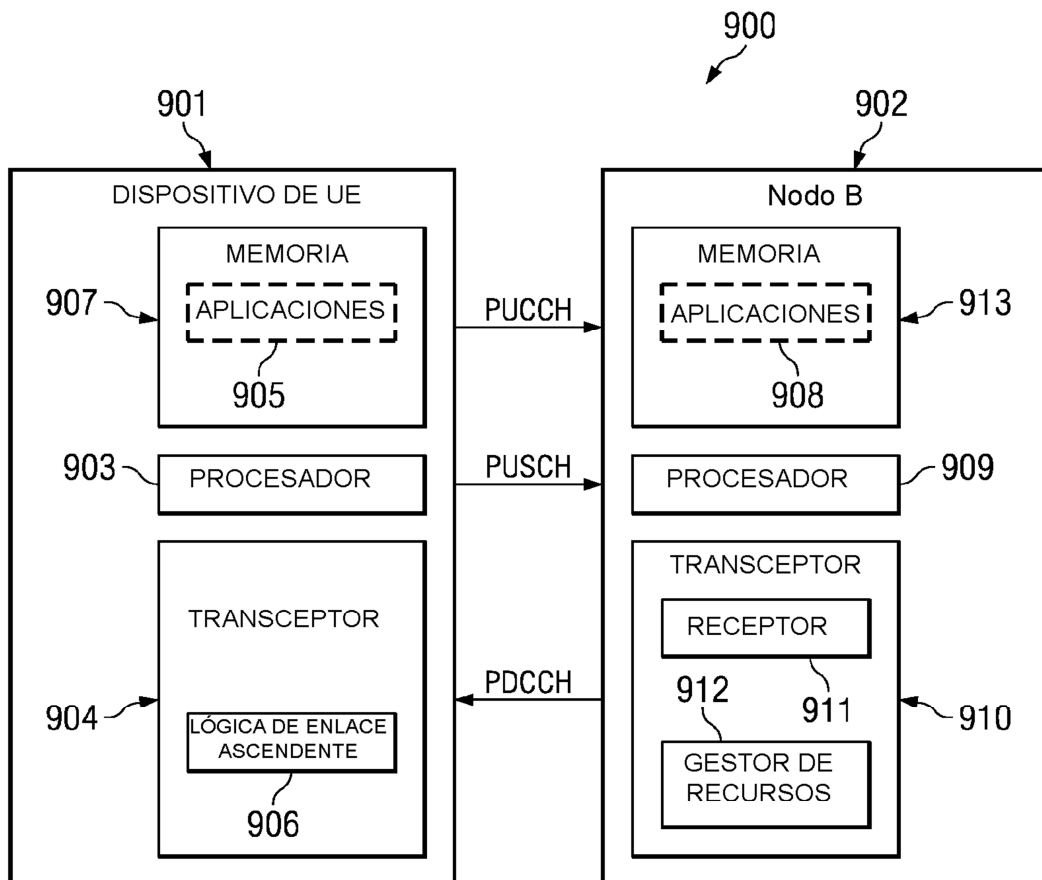


FIG. 9

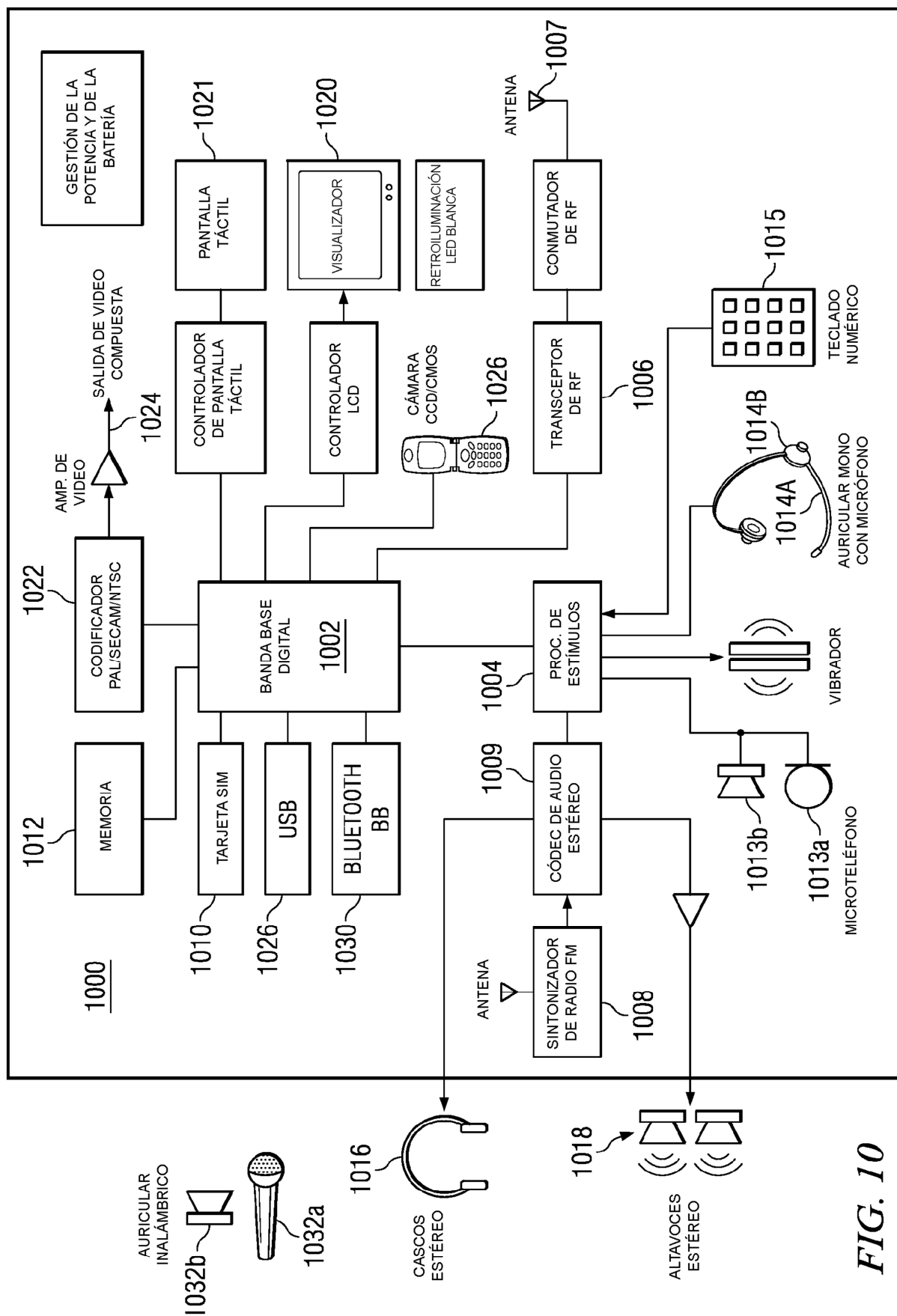


FIG. 10