

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 920 875**

51 Int. Cl.:

H04L 5/00 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.08.2016** **E 20154999 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.06.2022** **EP 3664352**

54 Título: **Diseño de la señal de sincronización de tipo tabla rasa y algoritmos de búsqueda de células**

30 Prioridad:

05.11.2015 US 201562251637 P

22.02.2016 US 201662298444 P

14.04.2016 US 201662322709 P

24.08.2016 US 201615245498

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
11.08.2022

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)

5775 Morehouse Drive

San Diego, CA 92121-1714, US

72 Inventor/es:

LEI, JING;

XU, HAO;

GAAL, PETER;

WANG, XIAOFENG;

CHEN, WANSHI;

WEI, YONGBIN;

MONTOJO, JUAN y

RICO ALVARINO, ALBERTO

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 920 875 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Diseño de la señal de sincronización de tipo tabla rasa y algoritmos de búsqueda de células

5 Antecedentes

Campo de la divulgación

10 Determinados aspectos de la presente divulgación se refieren, en general, a comunicaciones inalámbricas y, más en particular, al diseño y/o generación de señales de sincronización para sistemas basados en OFDM de tipo tabla rasa (*clean-slate*) y algoritmos de búsqueda de célula que usan las señales de sincronización.

Descripción de la técnica relacionada

15 Los sistemas de comunicación inalámbrica están ampliamente desplegados para proporcionar diversos tipos de contenido de comunicación, tales como voz, datos, etc. Estos sistemas pueden ser sistemas de acceso múltiple capaces de soportar una comunicación con múltiples usuarios compartiendo los recursos disponibles del sistema (por ejemplo, ancho de banda y potencia de transmisión). Entre los ejemplos de dichos sistemas de acceso múltiple se incluyen sistemas de acceso múltiple por división de código (CDMA), sistemas de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), sistemas de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), sistemas de evolución a largo plazo (LTE)/LTE avanzada del Proyecto de Colaboración de Tercera Generación (3GPP) y sistemas de acceso múltiple por división ortogonal de frecuencia (OFDMA).

25 En general, un sistema de comunicación inalámbrica de acceso múltiple puede soportar simultáneamente la comunicación para múltiples terminales inalámbricos. Cada terminal se comunica con una o más estaciones base por medio de transmisiones en los enlaces directo e inverso. El enlace directo (o enlace descendente) se refiere al enlace de comunicación desde las estaciones base hasta los terminales, y el enlace inverso (o enlace ascendente) se refiere al enlace de comunicación desde los terminales hasta las estaciones base. Este enlace de comunicación se puede establecer por medio de un sistema de entrada única y salida única, de múltiples entradas y salida única o de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO).

35 Una red de comunicación inalámbrica puede incluir un cierto número de estaciones base que pueden soportar la comunicación para un cierto número de dispositivos inalámbricos. Los dispositivos inalámbricos pueden incluir equipos de usuario (UE). Algunos ejemplos de UE pueden incluir teléfonos móviles, teléfonos inteligentes, asistentes digitales personales (PDA), módems inalámbricos, dispositivos de mano, tabletas, ordenadores portátiles, miniordenadores portátiles, libros inteligentes, ordenadores ultraportátiles, etc. Algunos UE se pueden considerar UE de comunicaciones de tipo máquina (MTC), que pueden incluir dispositivos remotos, tales como sensores, medidores, etiquetas de localización, etc., que se pueden comunicar con una estación base, con otro dispositivo remoto o con alguna otra entidad. Las comunicaciones de tipo máquina (MTC) se pueden referir a una comunicación en la que participa al menos un dispositivo remoto en al menos un extremo de la comunicación y pueden incluir formas de comunicación de datos en las que participa una o más entidades que no tienen por qué necesitar interacción humana. Los UE de MTC pueden incluir UE con capacidad de comunicaciones MTC con servidores MTC y/u otros dispositivos MTC a través de redes móviles terrestres públicas (PLMN), por ejemplo.

45 NTH y otros: "Design Options for NB-PSS and NB-SS", BORRADOR DEL 3GPP; R1-160066, vol. RAN WG1, PROYECTO DE COLABORACIÓN DE 3ª GENERACIÓN (3GPP), 11 de enero de 2016, divulga el diseño de secuencias de la NB-PSS que consisten en una secuencia base y una cobertura de código binario de longitud 11.

50 QUALCOMM INCORPORATED: "Sequence Design for NB-IOT SYNC Channel", BORRADOR DEL 3GPP; R1-155747, vol. RAN WG, PROYECTO DE COLABORACIÓN DE 3ª GENERACIÓN (3GPP), 4 de octubre de 2015, describe el diseño y la generación de secuencias de la PSS y la SSS para un canal SYNC de IoT de banda estrecha.

55 ERICSSON: "Narrowband LTE - Synchronization Channel Design and Performance", BORRADOR DEL 3GPP; R1-156009, vol. RAN WG1, PROYECTO DE COLABORACIÓN DE 3ª GENERACIÓN (3GPP), 30 de septiembre de 2015, describe secuencias de sincronización, PSS y SSS, para NB-IOT.

Sumario

60 La invención está definida por las reivindicaciones adjuntas. Un método realizado por un primer tipo de equipo de usuario, UE, un método realizado por una estación base, BS, un UE y una BS se definen en las reivindicaciones independientes adjuntas 1, 8, 14, 15, respectivamente.

65 Determinados aspectos de la presente divulgación proporcionan un método para comunicación inalámbrica mediante una estación base (BS). El método incluye, en general, generar una señal de sincronización primaria (PSS) usando una cobertura de código binario y al menos una secuencia aplicada a una serie de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama, y transmitir la PSS y una señal de sincronización secundaria (SSS) a un primer tipo de

equipo de usuario (UE) que se comunica en una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio.

Como se describirá con más detalle en el presente documento, el código binario comprende una secuencia de símbolos de longitud = 11 de [1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 -1 1]. La al menos una secuencia comprende una secuencia de Zadoff-Chu de tamaño 11 con índice de raíz 5. La al menos una secuencia se puede seleccionar de un conjunto de secuencias base candidatas correspondientes a un conjunto de candidatas de la PSS optimizadas. El conjunto de candidatas de la PSS optimizadas se puede evaluar usando un procedimiento de optimización que implica una función de autocorrelación deslizando de secuencias candidatas para una cobertura de código binario dado.

De acuerdo con aspectos, la al menos una secuencia puede comprender un par de secuencias. El par de secuencias puede comprender una de secuencias ortogonales o secuencias cuasi-ortogonales. El par de secuencias ortogonales se puede determinar en base, al menos en parte, a una interpolación de secuencias de Zadoff-Chu.

De acuerdo con aspectos, la PSS y la SSS pueden estar basadas en una secuencia de Zadoff-Chu corta.

De acuerdo con aspectos, la BS puede transmitir la PSS y la SSS en subtramas adyacentes en la trama. La serie de símbolos se puede correlacionar con elementos de recursos que tienen una misma separación entre subportadoras que los elementos de recursos usados para comunicarse con un segundo tipo de UE que se comunica en el ancho de banda del sistema más amplio.

De acuerdo con aspectos, la PSS y la SSS se pueden transmitir usando elementos de recursos de la una o más subtramas no usadas para la comunicación con el segundo tipo de UE.

La SSS se puede usar para transportar una identificación de célula (ID de célula) e información adicional del sistema. La información adicional del sistema comprende al menos una ID de subtrama. La SSS se puede generar basándose en secuencias cuasi-ortogonales.

Determinados aspectos de la presente divulgación proporcionan un método para comunicaciones inalámbricas mediante un primer tipo de equipo de usuario (UE) que se comunica en una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio. El método comprende, en general, detectar, dentro de una o más regiones de banda estrecha del ancho de banda del sistema más amplio, una señal de sincronización primaria (PSS) generada usando una cobertura de código binario y al menos una secuencia aplicada a una serie de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama, realizar una adquisición inicial de tiempo y frecuencia basándose en la PSS detectada, y detectar, dentro de la una o más regiones de banda estrecha, una señal de sincronización secundaria (SSS) para refinar la adquisición inicial de tiempo y frecuencia.

La cobertura de código binario puede comprender una secuencia de símbolos de longitud = 11 de [1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 -1 1]. La al menos una secuencia puede comprender una secuencia base. La secuencia base puede comprender una secuencia de Zadoff-Chu de tamaño 11 con índice de raíz 5.

Realizar la adquisición inicial de tiempo y frecuencia mediante el UE puede implicar un procedimiento de autocorrelación deslizando de la PSS en el dominio del tiempo. El procedimiento de autocorrelación deslizando puede implicar realizar una correlación a nivel de símbolo entre símbolos de la PSS adyacentes y no adyacentes.

La detección de la PSS se puede realizar basándose en retransmisiones de la PSS en una pluralidad de subtramas. La detección de la PSS puede implicar una acumulación coherente de retransmisiones de la PSS. La adquisición inicial de tiempo y frecuencia se puede realizar en el dominio del tiempo.

Realizar la adquisición inicial de tiempo puede incluir realizar una estimación aproximada y fina de límites de símbolos para la PSS. Realizar la adquisición inicial de frecuencia puede incluir realizar una corrección del desplazamiento de frecuencia fraccionario, a partir de la PSS, basándose en la autocorrelación en el dominio del tiempo de la PSS sincronizada en el tiempo para encontrar un desplazamiento de frecuencia de portadora (CFO) fraccionario y realizar una corrección del desplazamiento de frecuencia entero, a partir de la PSS, basándose en una correlación cruzada entre la PSS y una réplica de la señal recibida en el dominio del tiempo, para encontrar un CFO entero de la PSS.

La serie de símbolos se puede correlacionar con elementos de recursos que tienen una misma separación entre subportadoras que los elementos de recursos usados para comunicarse con un segundo tipo de UE que se comunica en el ancho de banda del sistema más amplio. La PSS y la SSS se pueden recibir usando elementos de recursos de la una o más subtramas no usadas para la comunicación con el segundo tipo de UE. La PSS y la SSS se pueden recibir en subtramas adyacentes de la trama.

De acuerdo con aspectos, el UE puede determinar, a partir de la SSS, una identificación de célula (ID de célula) e información adicional del sistema. La información adicional del sistema puede incluir, al menos, una ID de subtrama.

La PSS y la SSS pueden estar basadas en una secuencia de Zadoff-Chu corta.

Determinados aspectos de la presente divulgación proporcionan un aparato para comunicación inalámbrica mediante una estación base (BS). El aparato incluye, en general, medios para generar una señal de sincronización primaria (PSS) usando una cobertura de código binario y al menos una secuencia aplicada a una serie de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama, y medios para transmitir la PSS y una señal de sincronización secundaria (SSS) a un primer tipo de equipo de usuario (UE) que se comunica en una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio.

Determinados aspectos de la presente divulgación proporcionan un aparato para comunicación inalámbrica mediante un primer tipo de equipo de usuario (UE) que se comunica en una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio. El aparato incluye, en general, medios para detectar, dentro de la una o más regiones de banda estrecha del ancho de banda del sistema más amplio, una señal de sincronización primaria (PSS) generada usando una cobertura de código binario y al menos una secuencia aplicada a una serie de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama, medios para realizar una adquisición inicial de tiempo y frecuencia basándose en la PSS detectada, y medios para detectar, dentro de la una o más regiones de banda estrecha, una señal de sincronización secundaria (SSS) para refinar la adquisición inicial de tiempo y frecuencia.

Determinados aspectos de la presente divulgación proporcionan un aparato para comunicación inalámbrica mediante una estación base (BS). El aparato incluye, en general, al menos un procesador y una memoria acoplada con, al menos, un procesador. El al menos un procesador se configura, en general, para generar una señal de sincronización primaria (PSS) usando una cobertura de código binario y al menos una secuencia aplicada a una serie de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama, y para transmitir la PSS y una señal de sincronización secundaria (SSS) a un primer tipo de equipo de usuario (UE) que se comunica en una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio.

Determinados aspectos de la presente divulgación proporcionan un aparato para comunicación inalámbrica mediante un primer tipo de equipo de usuario (UE) que se comunica en una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio. El aparato incluye, en general, al menos un procesador y memoria acoplada con el al menos un procesador. El al menos un procesador está configurado, en general, para detectar, dentro de la una o más regiones de banda estrecha del ancho de banda del sistema más amplio, una señal de sincronización primaria (PSS) generada usando una cobertura de código binario y al menos una secuencia aplicada a una serie de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama, realizar una adquisición inicial de tiempo y frecuencia basándose en la PSS detectada, y detectar, dentro de la una o más regiones de banda estrecha, una señal de sincronización secundaria (SSS) para refinar la adquisición inicial de tiempo y frecuencia.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra de forma conceptual un ejemplo de red de comunicación inalámbrica, de acuerdo con determinados aspectos de la presente divulgación.

La Figura 2 muestra un diagrama de bloques que ilustra de forma conceptual un ejemplo de una estación base en comunicación con un equipo de usuario (UE) en una red de comunicaciones inalámbricas, de acuerdo con determinados aspectos de la presente divulgación.

La Figura 3 muestra una estructura de trama ilustrativa para duplexación por división de frecuencia (FDD) en la Evolución a Largo Plazo (LTE).

La Figura 4 muestra dos formatos de subtrama ilustrativos con el prefijo cíclico normal.

La Figura 5 ilustra operaciones de ejemplo que se pueden realizar mediante una BS, de acuerdo con determinados aspectos de la presente divulgación.

La Figura 6 ilustra operaciones de ejemplo que se pueden realizar mediante un UE que se comunica en una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio, de acuerdo con determinados aspectos de la presente divulgación.

La Figura 7 ilustra un ejemplo de la estructura de la secuencia de PSS de doble capa, de acuerdo con determinados aspectos de la presente divulgación.

La Figura 8 ilustra una correlación de la cobertura de código y una generación de la secuencia de PSS de doble capa de ejemplo en un transmisor, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 9 ilustra una correlación de la cobertura de código y de la secuencia base y una generación de la secuencia de PSS de doble capa de ejemplo en un transmisor, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 9A ilustra un ejemplo de la generación de una NB-SSS, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 10 ilustra etapas de ejemplo para generar una PSS y una SSS de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 11 ilustra un transmisor de ejemplo configurado para transmitir una PSS y una SSS, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 12 ilustra un receptor de ejemplo configurado para recibir una PSS y una SSS, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 13 ilustra un diagrama de flujo del proceso del receptor de ejemplo, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 14 ilustra un diagrama de flujo del proceso del receptor de ejemplo, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 15 ilustra un ejemplo para una función de autocorrelación deslizante, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 16 ilustra un ejemplo para mejorar la correlación cruzada, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 17 ilustra una asignación de recursos de ejemplo para las señales de sincronización, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 18 ilustra una asignación de recursos de ejemplo para las señales de sincronización, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 19 ilustra una asignación de recursos de ejemplo para las señales de sincronización, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 20 ilustra desplazamientos cíclicos en el dominio del tiempo para símbolos de la NB-PSS para una longitud del CP no uniforme, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

Descripción detallada

Determinados aspectos de la presente divulgación se refieren, en general, al diseño de las señales de sincronización para la operación de banda estrecha y los algoritmos de búsqueda de célula correspondientes. Las señales de sincronización descritas en el presente documento pueden ser compatibles con la estructura de símbolos de la OFDM heredada y pueden ser usadas por sistemas basados en OFDM de tipo tabla rasa, tales como dispositivos configurados para Internet de las cosas de banda estrecha (NB-IoT) y/o agregación de portadoras mejorada (eCC). Un ejemplo de un sistema de eCC puede ser un sistema de Nueva Radio (New Radio, NR) 5G. Como se presentará con más detalle en el presente documento, los aspectos describen (1) algoritmos que se pueden usar para identificar una cobertura de código y una secuencia base deseables para generar señales de sincronización, (2) la transmisión (por ejemplo, mediante una estación base) de las señales de sincronización generadas a un dispositivo de recepción y (3) la recepción (por ejemplo, mediante un equipo de usuario) de las señales de sincronización transmitidas. El UE puede usar las señales de sincronización para adquirir la sincronización de frecuencia y tiempo y/u otra información del sistema.

De acuerdo con aspectos, la al menos una secuencia base se puede seleccionar de un conjunto de secuencias base candidatas que pueden corresponder a un conjunto de candidatas de la PSS optimizadas. El conjunto de candidatas de la PSS optimizadas se puede evaluar usando un procedimiento de optimización. El procedimiento de optimización puede implicar una función de autocorrelación deslizante de secuencias candidatas para una cobertura de código binario dada.

Como se describe en el presente documento, se puede generar una señal de sincronización primaria (PSS) usando una cobertura de código binario y al menos una secuencia base. La cobertura de código binario puede ser una secuencia de símbolos de longitud 11 de $[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1]$. La secuencia base puede comprender una secuencia de Zadoff-Chu de tamaño 11 con índice de raíz 5.

Un UE puede recibir una PSS transmitida, generada usando la cobertura de código binario y al menos una secuencia base, y puede realizar una adquisición inicial de tiempo y frecuencia basándose en la PSS detectada. La adquisición inicial de tiempo y frecuencia puede implicar un procedimiento de autocorrelación deslizante de la PSS en el dominio del tiempo. De acuerdo con aspectos, el procedimiento de autocorrelación deslizante puede implicar realizar una

correlación a nivel de símbolo entre símbolos de la PSS adyacentes y no adyacentes.

El UE puede detectar, dentro de la una o más regiones de banda estrecha, una señal de sincronización secundaria (SSS) para refinar la adquisición inicial de tiempo y frecuencia obtenida a partir de la PSS recibida.

Las técnicas descritas en el presente documento se pueden usar para diversas redes de comunicación inalámbrica, tales como redes CDMA, TDMA, FDMA, OFDMA, SC-FDMA y otras redes. Los términos "red" y "sistema" se usan a menudo de manera intercambiable. Una red de CDMA puede implementar una tecnología de radio tal como el acceso por radio terrestre universal (UTRA), cdma2000, etc. UTRA incluye CDMA de banda ancha (WCDMA), CDMA síncrona por división de tiempo (TD-SCDMA) y otras variantes de CDMA. cdma2000 cubre los estándares IS-2000, IS-95 e IS-856. Una red de TDMA puede implementar una tecnología de radio tal como el sistema global para comunicaciones móviles (GSM). Una red de OFDMA puede implementar una tecnología de radio tal como UTRA evolucionado (E-UTRA), Banda ultra-ancha móvil (UMB), IEEE 802,11 (Wi-Fi), IEEE 802,16 (WiMAX), IEEE 802,20, Flash-OFDM®, etc. UTRA y E-UTRA forman parte del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS). La Evolución a Largo Plazo (LTE) y la LTE avanzada (LTE-A) del 3GPP, tanto en el dúplex por división de frecuencia (FDD) como en el dúplex por división de tiempo (TDD), son nuevas versiones de UMTS que usan E-UTRA, que emplea OFDMA en el enlace descendente y SC-FDMA en el enlace ascendente. El UTRA, el E-UTRA, el UMTS, la LTE, la LTE-A y el GSM se describen en documentos de una organización denominada "Proyecto de Colaboración de Tercera Generación" (3GPP). El cdma2000 y el UMB se describen en documentos de una organización denominada "Segundo Proyecto de Colaboración de Tercera Generación" (3GPP2). Las técnicas descritas en el presente documento se pueden usar en las redes inalámbricas y en las tecnologías de radio mencionadas anteriormente, así como en otras redes inalámbricas y tecnologías de radio. Para mayor claridad, determinados aspectos de las técnicas se describen a continuación para la LTE/LTE avanzada, usándose la terminología de la LTE/LTE avanzada en gran parte de la descripción a continuación. LTE y LTE-A se denominan, en general, LTE.

SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA DE EJEMPLO

La Figura 1 ilustra una red de comunicación inalámbrica de ejemplo 100, en la cual se pueden poner en práctica aspectos de la presente divulgación. Por ejemplo, las técnicas presentadas y las señales de sincronización descritas en el presente documento se pueden usar mediante una o más BS para comunicarse con un UE. El UE puede comunicarse en una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio. En consecuencia, las técnicas descritas en el presente documento pueden permitir que el receptor de un UE busque eficazmente la señal de sincronización transmitida. Como se describe en el presente documento, al menos una de las señales de sincronización puede ser una señal de sincronización primaria de doble capa que puede coexistir con sistemas de LTE de banda ancha.

La red 100 puede ser una red de LTE o alguna otra red inalámbrica. La red inalámbrica 100 puede incluir un cierto número de nodos B evolucionados (eNB) 110 y otras entidades de red. Un eNB es una entidad que se comunica con equipos de usuario (UE) y puede denominarse también estación base, Nodo B, punto de acceso, etc. Cada eNB puede proporcionar cobertura de comunicación para un área geográfica particular. En 3GPP, el término "célula" se puede referir a un área de cobertura de un eNB y/o un subsistema de eNB que presta servicio a esta área de cobertura, dependiendo del contexto en el que se usa el término.

Un eNB puede proporcionar cobertura de comunicación para una macrocélula, una picocélula, una femtocélula y/u otros tipos de células. Una macrocélula puede cubrir un área geográfica relativamente grande (por ejemplo, de varios kilómetros de radio) y puede permitir acceso sin restricciones a los UE con abono al servicio. Una picocélula puede cubrir un área geográfica relativamente pequeña y puede permitir acceso sin restricciones a los UE con abono al servicio. Una femtocélula puede cubrir un área geográfica relativamente pequeña (por ejemplo, una vivienda) y puede permitir un acceso restringido a los UE que estén asociados con la femtocélula (por ejemplo, los UE de un grupo cerrado de abonados (CSG)). Un eNB para una macrocélula se puede denominar macro-eNB. Un eNB para una picocélula se puede denominar pico-eNB. Un eNB para una femtocélula se puede denominar femto-eNB o eNB doméstico (HeNB). En el ejemplo mostrado en la Figura 1, un eNB 110a puede ser un macro-eNB para una macrocélula 102a, un eNB 110b puede ser un pico-eNB para una picocélula 102b y un eNB 110c puede ser un femto-eNB para una femtocélula 102c. Un eNB puede soportar una o múltiples células (por ejemplo, tres). Los términos "eNB", "estación base" y "célula" se pueden usar de manera intercambiable en el presente documento.

La red inalámbrica 100 puede incluir también estaciones de retransmisión. Una estación de retransmisión es una entidad que puede recibir una transmisión de datos desde una estación aguas arriba (por ejemplo, un eNB o un UE) y enviar una transmisión de los datos a una estación aguas abajo (por ejemplo, un UE o un eNB). Una estación de retransmisión puede ser también un UE que pueda retransmitir transmisiones para otros UE. En el ejemplo mostrado en la Figura 1, una estación de retransmisión 110d se puede comunicar con el macro-eNB 110a y con un UE 120d para facilitar la comunicación entre el eNB 110a y el UE 120d. Una estación de retransmisión se puede denominar también eNB de retransmisión, estación base de retransmisión, retransmisor, etc.

La red inalámbrica 100 puede ser una red heterogénea que incluye eNB de tipos diferentes, por ejemplo, macro-eNB, pico-eNB, femto-eNB, eNB de retransmisión, etc. Estos tipos diferentes de eNB pueden tener niveles diferentes de

potencia de transmisión, áreas de cobertura diferentes e impacto diferente en la interferencia en la red inalámbrica 100. Por ejemplo, los macro-eNB pueden tener un alto nivel de potencia de transmisión (por ejemplo, de 5 a 40 vatios), mientras que los pico-eNB, los femto-eNB y los eNB de retransmisión pueden tener niveles de potencia de transmisión inferiores (por ejemplo, de 0,1 a 2 vatios).

Un controlador de red 130 se puede acoplar a un conjunto de eNB y puede proporcionar coordinación y control para estos eNB. El controlador de red 130 se puede comunicar con los eNB por medio de una red de retorno. Los eNB también se pueden comunicar entre sí, por ejemplo, directa o indirectamente, por medio de una red de retorno inalámbrica o alámbrica.

Los UE 120 (por ejemplo, 120a, 120b, 120c) pueden estar dispersos por toda la red inalámbrica 100 y cada UE puede ser fijo o móvil. Un UE también se puede denominar terminal de acceso, terminal, estación móvil, unidad de abonado, estación, etc. Un UE puede ser un teléfono celular, un asistente digital personal (PDA), un módem inalámbrico, un dispositivo de comunicación inalámbrica, un dispositivo manual, un ordenador portátil, un teléfono sin cable, una estación de bucle local inalámbrico (WLL), una tableta, un teléfono inteligente, un miniordenador portátil, un libro inteligente, un ordenador ultraportátil, etc. En la Figura 1, una línea continua con flechas dobles indica transmisiones deseadas entre un UE y un eNB de servicio, que es un eNB designado para servir al UE en el enlace descendente y/o el enlace ascendente. Una línea discontinua con doble flecha indica transmisiones potencialmente interferentes entre un UE y un eNB.

Uno o más UE 120 en la red de comunicación inalámbrica 100 (por ejemplo, una red LTE) también pueden ser UE de ancho de banda de banda estrecha. Estos UE pueden coexistir con UE heredados y/o avanzados (por ejemplo, capaces de operar en un ancho de banda más amplio) en la red LTE y pueden tener una o más capacidades que son limitadas en comparación con otros UE en la red inalámbrica. Por ejemplo, en la versión 12 de LTE, en comparación con los UE heredados y/o avanzados en la red de LTE, los UE de banda estrecha pueden operar con uno o más de los siguientes: una reducción del ancho de banda máximo (en relación con los UE heredados), una única cadena de radiofrecuencia (RF) de recepción, una reducción de la velocidad máxima (por ejemplo, se puede soportar un máximo de 1000 bits para un tamaño del bloque de transporte (TBS)), una reducción de la potencia de transmisión, la transmisión de rango 1, operación de semidúplex, etc. En algunos casos, si se soporta la operación de semidúplex, los UE de banda estrecha pueden tener una temporización de conmutación relajada de las operaciones desde la transmisión a la recepción (o desde la recepción a la transmisión). Por ejemplo, en un caso, en comparación con una temporización de conmutación de 20 microsegundos para los UE heredados y/o avanzados, los UE de banda estrecha pueden tener una temporización de conmutación relajada de 1 milisegundo (ms).

En algunos casos, los UE de banda estrecha (por ejemplo, en la versión 12 de LTE) también pueden supervisar los canales de control de enlace descendente (DL) de la misma manera que los UE heredados y/o avanzados en la red de LTE supervisan los canales de control de DL. Los UE de banda estrecha de la versión 12 pueden seguir supervisando los canales de control de enlace descendente (DL) de la misma manera que los UE normales, por ejemplo, supervisando los canales de control de banda ancha en los primeros símbolos (por ejemplo, el canal físico de control de enlace descendente (PDCCH)), así como de canales de control de banda estrecha que ocupan una banda relativamente estrecha, pero que abarcan la longitud de una subtrama (por ejemplo, un PDCCH mejorado (ePDCCH)).

De acuerdo con determinados aspectos, los UE de banda estrecha pueden estar limitados a una asignación de banda estrecha particular de 1,4 MHz o seis bloques de recursos (RB) particionados del ancho de banda del sistema disponible) mientras coexisten dentro de un ancho de banda del sistema más amplio (por ejemplo, a 1,4/3/5/10/15/20 MHz). Adicionalmente, los UE de banda estrecha también pueden ser capaces de soportar uno o más modos de cobertura de operación. Por ejemplo, el UE de banda estrecha puede ser capaz de soportar mejoras de cobertura de hasta 15 dB.

Como se usa en el presente documento, los dispositivos con recursos de comunicación limitados, por ejemplo, un ancho de banda más pequeño, se pueden denominar, en general, UE de banda estrecha. De manera similar, los dispositivos heredados, tales como los UE heredados y/o avanzados (por ejemplo, en LTE) se pueden denominar, en general, UE de banda ancha. En general, los UE de banda ancha son capaces de operar en una mayor cantidad de ancho de banda que los UE de banda estrecha.

En algunos casos, un UE (por ejemplo, un UE de banda estrecha o un UE de banda ancha) puede realizar un procedimiento de búsqueda y adquisición de célula antes de comunicarse en la red. En un caso, con referencia a la red de LTE ilustrada en la Figura 1 como un ejemplo, el procedimiento de búsqueda y adquisición de célula se puede realizar cuando el UE no está conectado a una célula de LTE y desea acceder a la red LTE. En estos casos, el UE se puede haber acabado de encender, puede haber restablecido una conexión después de perder temporalmente la conexión a la célula de LTE, etc.

En otros casos, el procedimiento de búsqueda y adquisición de célula se puede realizar cuando el UE ya está conectado a una célula de LTE. Por ejemplo, el UE puede haber detectado una nueva célula de LTE y puede preparar un traspaso a la nueva célula. Como otro ejemplo, el UE puede estar operando en uno o más estados de baja potencia

(por ejemplo, puede soportar recepción discontinua (DRX)) y, al salir del uno o más estados de baja potencia, puede tener que realizar el procedimiento de búsqueda y adquisición de célula (a pesar de que el UE esté todavía en modo conectado).

5 La Figura 2 muestra un diagrama de bloques de un diseño de estación base/eNB 110 y un UE 120, que pueden ser una de las estaciones base/eNB y uno de los UE de la Figura 1. La estación base 110 puede estar equipada con T antenas 234a a 234t, y el UE 120 puede estar equipado con R antenas 252a a 252r, donde, en general, $T \geq 1$ y $R \geq 1$.

10 En la estación base 110, un procesador de transmisión 220 puede recibir datos desde una fuente de datos 212 para uno o más UE, seleccionar uno o más esquemas de modulación y codificación (MCS) para cada UE, basándose en los CQI recibidos desde el UE, procesar (por ejemplo, codificar y modular) los datos para cada UE basándose en el o los MCS seleccionados para el UE y proporcionar símbolos de datos para todos los UE. El procesador de transmisión 220 también puede procesar información del sistema (por ejemplo, para SRPI, etc.) e información de control (por ejemplo, peticiones de CQI, concesiones, señalización de capas superiores, etc.) y proporcionar símbolos de sobrecarga y símbolos de control. El procesador 220 también puede generar símbolos de referencia para señales de referencia (por ejemplo, la CRS) y señales de sincronización (por ejemplo, la PSS y la SSS). Un procesador de transmisión (TX) de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) 230 puede realizar un procesamiento espacial (por ejemplo, una precodificación) en los símbolos de datos, en los símbolos de control, en los símbolos de sobrecarga y/o en los símbolos de referencia, cuando proceda, y puede proporcionar T flujos de símbolos de salida a T moduladores (MOD) 232a a 232t. Cada modulador 232 puede procesar un flujo de símbolos de salida respectivo (por ejemplo, para OFDM, etc.) para obtener un flujo de muestras de salida. Cada modulador 232 puede procesar todavía más (por ejemplo, convertir a analógico, amplificar, filtrar y aumentar en frecuencia) el flujo de muestras de salida para obtener una señal de enlace descendente. Se pueden transmitir T señales de enlace descendente desde los moduladores 232a a 232t por medio de T antenas 234a a 234t, respectivamente.

En el UE 120, las antenas 252a a 252r pueden recibir las señales de enlace descendente desde la estación base 110 y/u otras estaciones base, y pueden proporcionar las señales recibidas a los demoduladores (DEMOM) 254a a 254r, respectivamente. Cada demodulador 254 puede acondicionar (por ejemplo, filtrar, amplificar, disminuir en frecuencia y digitalizar) la señal recibida para obtener muestras de entrada. Cada demodulador 254 puede procesar todavía más las muestras de entrada (por ejemplo, para OFDM, etc.) para obtener símbolos recibidos. Un detector de MIMO 256 puede obtener los símbolos recibidos de los R demoduladores 254a a 254r, realizar la detección de MIMO en los símbolos recibidos, si procede, y proporcionar símbolos detectados. Un procesador de recepción 258 puede procesar (por ejemplo, demodular y decodificar) los símbolos detectados, proporcionar los datos decodificados para el UE 120 a un colector de datos 260 y proporcionar información de control e información de sistema decodificadas a un controlador/procesador 280. Un procesador de canal puede determinar la RSRP, el RSSI, la RSRQ, el CQI, etc.

En el enlace ascendente, en el UE 120, un procesador de transmisión 264 puede recibir y procesar datos de una fuente de datos 262 e información de control (por ejemplo, para informes que comprenden RSRP, RSSI, RSRQ, CQI, etc.) del controlador/procesador 280. El procesador 264 también puede generar símbolos de referencia para una o más señales de referencia. Los símbolos del procesador de transmisión 264 se pueden precodificar mediante un procesador de MIMO de TX 266, cuando proceda, procesar todavía más mediante los moduladores 254a a 254r (por ejemplo, para SC-FDM, OFDM, etc.) y transmitir a una estación base 110. En la estación base 110, las señales de enlace ascendente del UE 120 y otros UE se pueden recibir mediante unas antenas 234, procesar mediante unos demoduladores 232, detectar mediante un detector de MIMO 236, cuando proceda, y procesar todavía más mediante un procesador de recepción 238 para obtener datos e información de control decodificados enviados por el UE 120. El procesador 238 puede proporcionar los datos decodificados a un colector de datos 239 y la información de control decodificada a un controlador/procesador 240. La estación base 110 puede incluir una unidad de comunicación 244 y comunicarse con el controlador de red 130 por medio de la unidad de comunicación 244. El controlador de red 130 puede incluir una unidad de comunicación 294, un controlador/procesador 290 y una memoria 292.

Los controladores/procesadores 240 y 280 pueden dirigir la operación en la estación base 110 y el UE 120, respectivamente. Además, el procesador 280 y/u otros procesadores o módulos en el UE 120, tales como la antena 252 y demod/mod 254, pueden realizar o dirigir las operaciones descritas en el presente documento y mostradas en la Figura 6. El procesador 240 y/u otros procesadores o módulos en la estación base 110, tales como la antena 234 y el demod/mod 232, pueden realizar o dirigir las operaciones descritas en el presente documento y mostradas en la Figura 5. Las memorias 242 y 282 pueden almacenar datos y códigos de programa para la estación base 110 y el UE 120, respectivamente. Un programador 246 puede programar unos UE para la transmisión de datos en el enlace descendente y/o en el enlace ascendente.

La Figura 3 muestra una estructura de trama 300 ilustrativa para FDD en LTE. La línea de tiempo de transmisión para cada uno del enlace descendente y del enlace ascendente se puede particionar en unidades de tramas de radio. Cada trama de radio puede tener una duración predeterminada (por ejemplo, 10 milisegundos (ms)) y se puede particionar en 10 subtramas con índices de 0 a 9. Cada subtrama puede incluir dos ranuras. Por tanto, cada trama de radio puede incluir 20 ranuras con índices de 0 a 19. Cada ranura puede incluir L períodos de símbolo, por ejemplo, siete períodos de símbolos para un prefijo cíclico normal (como se muestra en la Figura 3) o seis períodos de símbolo para un prefijo

cíclico ampliado. A los 2L periodos de símbolo de cada subtrama se les pueden asignar índices de 0 a 2L-1.

En LTE, un eNB puede transmitir una señal de sincronización primaria (PSS) y una señal de sincronización secundaria (SSS) en el enlace descendente, en el centro del ancho de banda del sistema para cada célula soportada por el eNB. La PSS y la SSS se pueden transmitir en los períodos de símbolo 6 y 5, respectivamente, de las subtramas 0 y 5 de cada trama de radio con el prefijo cíclico normal, como se muestra en la Figura 3. La PSS y la SSS se pueden usar mediante el UE para la búsqueda y adquisición de célula, y pueden contener, entre otra información, la ID de célula junto con una indicación del modo de duplexación. La indicación del modo de duplexación puede indicar si la célula usa una estructura de trama de duplexación por división de tiempo (TDD) o duplexación por división de frecuencia (FDD). El eNB puede transmitir una señal de referencia específica de la célula (CRS) en todo el ancho de banda del sistema para cada célula soportada por el eNB. La CRS se puede transmitir en determinados períodos de símbolo de cada subtrama, y se puede usar mediante los UE para realizar una estimación de canal, una medición de calidad de canal y/u otras funciones. El eNB también puede transmitir un canal físico de radiodifusión (PBCH) en los períodos de símbolo 0 a 3 de la ranura 1 de determinadas tramas de radio. El PBCH puede llevar parte de la información del sistema. El eNB puede transmitir otra información del sistema, tal como bloques de información de sistema (SIB) en un canal físico compartido de enlace descendente (PDSCH) en determinadas subtramas. El eNB puede transmitir información de control/datos en un canal físico de control de enlace descendente (PDCCH) en los primeros B períodos de símbolo de una subtrama, donde B puede ser configurable para cada subtrama. El eNB puede transmitir datos de tráfico y/u otros datos en el PDSCH en los períodos de símbolo restantes de cada subtrama.

Las mediciones de calidad del canal se pueden realizar mediante un UE de acuerdo con una programación definida, basada en el ciclo de DRX del UE. Por ejemplo, un UE puede intentar realizar mediciones para una célula de servicio en cada ciclo de DRX. El UE también puede intentar realizar mediciones para células vecinas no servidas. Las mediciones para células vecinas no servidas se pueden hacer basándose en una programación diferente a la de las células servidas y el UE puede necesitar desconectarse de la célula servidora para medir las células no servidas cuando el UE está en modo conectado.

Para facilitar las mediciones de calidad del canal, un eNB puede transmitir una señal de referencia específica de la célula (CRS) en subtramas específicas. Por ejemplo, un eNB puede transmitir la CRS en las subtramas 0 y 5 para una trama dada. Un UE de banda estrecha puede recibir esta señal y medir la potencia promedio de la señal recibida, o RSRP. El UE de banda estrecha también puede calcular un Indicador de intensidad de señal recibida (RSSI) basándose en la potencia de señal recibida total procedente de todas las fuentes. También se puede calcular una RSRQ basándose en la RSRP y el RSSI.

Para facilitar las mediciones, un eNB puede proporcionar una configuración de medición a los UE en su área de cobertura. La configuración de medición puede definir activadores de eventos para informes de medición, y cada activador de evento puede tener parámetros asociados. Cuando el UE detecta un evento de medición configurado, puede responder enviando un informe de medición al eNB con información sobre los objetos de medición asociados. Un evento de medición configurado puede ser, por ejemplo, una potencia recibida de la señal de referencia (RSRP) medida o una calidad recibida de la señal de referencia (RSRQ) medida que satisfacen un umbral. Se puede usar un parámetro de tiempo hasta la activación (TTT) para definir cuánto tiempo debe persistir un evento de medición antes de que el UE envíe su informe de medición. De esta manera, el UE puede señalar cambios en sus condiciones de radio a la red.

La Figura 4 muestra dos formatos de subtrama 410 y 420 ilustrativos con el prefijo cíclico normal. Los recursos de tiempo-frecuencia disponibles se pueden particionar en bloques de recursos. Cada bloque de recursos puede cubrir 12 subportadoras en una ranura y puede incluir un cierto número de elementos de recurso. Cada elemento de recurso puede cubrir una subportadora en un periodo de símbolo y se puede usar para enviar un símbolo de modulación, que puede ser un valor real o complejo.

El formato de subtrama 410 se puede usar para dos antenas. Una CRS se puede transmitir desde las antenas 0 y 1 en los periodos de símbolo 0, 4, 7 y 11. Una señal de referencia es una señal que es conocida a priori por un transmisor y un receptor, y también se puede denominar piloto. Una CRS es una señal de referencia que es específica para una célula, por ejemplo, generada basándose en una identidad (ID) de célula. En la Figura 4, para un elemento de recurso dado con el marcador Ra, un símbolo de modulación se puede transmitir en ese elemento de recurso desde la antena a, y no se puede transmitir ningún símbolo de modulación en ese elemento de recurso desde otras antenas. El formato de subtrama 420 se puede usar con cuatro antenas. Se puede transmitir una CRS desde las antenas 0 y 1 en los periodos de símbolo 0, 4, 7 y 11 y desde las antenas 2 y 3 en los periodos de símbolo 1 y 8. Para ambos formatos de subtrama 410 y 420, se puede transmitir una CRS en subportadoras separadas uniformemente, que se pueden determinar basándose en la ID de célula. Las CRS se pueden transmitir en las mismas o diferentes subportadoras, dependiendo de sus ID de célula. Para ambos formatos de subtrama 410 y 420, se pueden usar elementos de recurso no usados para la CRS para transmitir datos (por ejemplo, datos de tráfico, datos de control y/u otros datos).

La PSS, la SSS, la CRS y el PBCH en LTE se describen en el documento 3GPP TS 36.211, titulado "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation", que está disponible para el público.

Se puede usar una estructura de entrelazado tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente para FDD en LTE. Por ejemplo, se pueden definir Q entrelazados con índices de 0 a $Q - 1$, donde Q puede ser igual a 4, 6, 8, 10 o a algún otro valor. Cada entrelazado puede incluir subtramas que están separadas por Q tramas. En particular, el entrelazado q puede incluir subtramas $q, q+Q, q+2Q$, etc., donde $q \in \{0, \dots, Q-1\}$.

La red inalámbrica puede soportar una solicitud de retransmisión automática híbrida (HARQ) para la transmisión de datos en el enlace descendente y en el enlace ascendente. Para la HARQ, un transmisor (por ejemplo, un eNB) puede enviar una o más transmisiones de un paquete hasta que un receptor (por ejemplo, un UE) decodifica correctamente el paquete o se experimenta alguna otra condición de terminación. Para la HARQ síncrona, todas las transmisiones del paquete se pueden enviar en subtramas de un único entrelazado. Para la HARQ asíncrona, cada transmisión del paquete se puede enviar en cualquier subtrama.

Un UE puede estar localizado dentro de la cobertura de múltiples eNB. Se puede seleccionar uno de estos eNB para prestar servicio al UE. El eNB de servicio se puede seleccionar basándose en diversos criterios, tales como la intensidad de la señal recibida, la calidad de la señal recibida, las pérdidas de trayecto, etc. La calidad de la señal recibida se puede cuantificar mediante una relación de señal a ruido más interferencia (SINR) o mediante la calidad recibida de la señal de referencia (RSRQ) o alguna otra métrica. Un UE puede operar en un contexto de interferencia dominante en el que el UE puede percibir una interferencia elevada de uno o más eNB interferentes.

El foco del diseño de la LTE tradicional está en la mejora de la eficacia espectral, la cobertura ubicua y el soporte de la calidad de servicio (QoS) mejorada. Los balances de enlace actuales de enlace descendente (DL) y enlace ascendente (UL) del sistema de LTE están diseñados para la cobertura de dispositivos de gama alta, tales como teléfonos inteligentes y tabletas de última generación, que pueden soportar un balance de enlace de DL y UL relativamente grande.

Uno o más UE en la red de comunicación inalámbrica (por ejemplo, la red de comunicación inalámbrica 100) pueden ser dispositivos que tienen recursos de comunicación limitados, tales como UE de banda estrecha, en comparación con otros dispositivos (de banda ancha) en la red de comunicación inalámbrica. Para los UE de banda estrecha, se pueden relajar diversos requisitos, ya que puede que solo se necesite intercambiar una cantidad limitada de información. Por ejemplo, se puede reducir el ancho de banda máximo (con respecto a los UE de banda ancha), se puede usar una única cadena de radiofrecuencia (RF) de recepción, se puede reducir la velocidad máxima (por ejemplo, un máximo de 100 bits para un tamaño del bloque de transporte), se puede reducir la potencia de transmisión, se puede usar una transmisión de rango 1 y se puede realizar la operación de semidúplex.

En algunos casos, si se realiza la operación de semidúplex, los UE de banda estrecha pueden tener un tiempo de conmutación relajado para efectuar la transición de la transmisión a la recepción (o de la recepción a la transmisión). Por ejemplo, el tiempo de conmutación se puede relajar desde 20 μ s para los UE normales a 1 ms para los UE de banda estrecha. Los UE de banda estrecha de la versión 12 pueden seguir supervisando los canales de control de enlace descendente (DL) de la misma manera que los UE normales, por ejemplo, supervisando los canales de control de banda ancha en los primeros símbolos (por ejemplo, PDCCH), así como los canales de control de banda estrecha que ocupan una banda relativamente estrecha, pero que abarcan una longitud de una subtrama (por ejemplo, ePDCCH).

En algunos sistemas, por ejemplo, en la versión 13 de LTE, la banda estrecha se puede limitar a una asignación de banda estrecha particular (por ejemplo, de no más de seis bloques de recursos (RB)) dentro del ancho de banda del sistema disponible. Sin embargo, la banda estrecha puede ser capaz de volver a sintonizar (por ejemplo, operar y/o acampar) en diferentes regiones de banda estrecha dentro del ancho de banda del sistema disponible del sistema de LTE, por ejemplo, para coexistir dentro del sistema de LTE.

Como otro ejemplo de coexistencia dentro del sistema de LTE, los UE de banda estrecha pueden recibir (con repetición) el canal físico de difusión (PBCH) heredado (por ejemplo, el canal físico de LTE que, en general, lleva parámetros que se pueden usar para el acceso inicial a la célula) y soportar uno o más formatos del canal físico de acceso aleatorio (PRACH) heredado. Por ejemplo, los UE de banda estrecha pueden ser capaces de recibir el PBCH heredado con una o más repeticiones adicionales del PBCH en múltiples subtramas. Como otro ejemplo, los UE de banda estrecha pueden ser capaces de transmitir una o más repeticiones del PRACH (por ejemplo, con uno o más formatos de PRACH soportados) a un eNB en el sistema de LTE. El PRACH se puede usar para identificar UE de banda estrecha. Además, el número de intentos del PRACH repetidos se puede configurar mediante el eNB.

El UE de banda estrecha también puede ser un dispositivo de balance de enlace limitado y puede operar en diferentes modos de operación (por ejemplo, que comportan que se transmitan diferentes cantidades de mensajes repetidos al UE de banda estrecha) basándose en su limitación de balance de enlace. Por ejemplo, en algunos casos, el UE de banda estrecha puede operar en un modo de cobertura normal en el que hay poca o ninguna repetición (es decir, la cantidad de repetición necesaria para que el UE reciba con éxito un mensaje puede ser baja o la repetición ni siquiera puede ser necesaria). De forma alternativa, en algunos casos, el UE de banda estrecha puede operar en un modo de mejora de cobertura (CE) en el que puede haber grandes cantidades de repetición. Por ejemplo, para una carga útil de 328 bits, un UE de banda estrecha en modo de CE puede necesitar 150 repeticiones o más de la carga útil para

recibir con éxito la carga útil.

En algunos casos, por ejemplo, para la versión 13 de LTE, el UE de banda estrecha puede tener capacidades limitadas con respecto a su recepción de transmisiones de difusión y unidifusión. Por ejemplo, el tamaño máximo del bloque de transporte (TB) para una transmisión de difusión recibida por el UE de banda estrecha puede estar limitado a 1000 bits. Además, en algunos casos, el UE de banda estrecha puede no ser capaz de recibir más de un TB de unidifusión en una subtrama. En algunos casos (por ejemplo, tanto para el modo de CE como para el modo normal descritos anteriormente), el UE de banda estrecha puede no ser capaz de recibir más de un TB de difusión en una subtrama. Además, en algunos casos, el UE de banda estrecha puede no ser capaz de recibir un TB de unidifusión ni un TB de difusión en una subtrama.

Los UE de banda estrecha que coexisten en el sistema de LTE también pueden soportar nuevos mensajes para determinados procedimientos, tales como la radiobúsqueda, el procedimiento de acceso aleatorio, etc. (por ejemplo, a diferencia de los mensajes convencionales usados en LTE para estos procedimientos). En otras palabras, estos nuevos mensajes para la radiobúsqueda, el procedimiento de acceso aleatorio, etc. pueden ser independientes de los mensajes usados para procedimientos similares asociados con UE que no son de banda estrecha. Por ejemplo, en comparación con los mensajes de radiobúsqueda convencionales usados en LTE, los UE de banda estrecha pueden supervisar y/o recibir mensajes de radiobúsqueda que los UE que no son de banda estrecha no pueden supervisar y/o recibir. De forma similar, en comparación con los mensajes de respuesta de acceso aleatorio (RAR) convencionales usados en un procedimiento de acceso aleatorio convencional, los UE de banda estrecha pueden recibir mensajes de RAR que tampoco pueden ser recibidos por los UE que no son de banda estrecha. Los nuevos mensajes de radiobúsqueda y RAR asociados con los UE de banda estrecha también se pueden repetir una o más veces (por ejemplo, "agrupados"). Además, se pueden soportar diferentes números de repeticiones (por ejemplo, diferentes tamaños de agrupación) para los nuevos mensajes.

De acuerdo con determinados aspectos, múltiples regiones de banda estrecha, abarcando cada región de banda estrecha un ancho de banda que no es mayor que un total de 6 RB, se pueden soportar mediante el UE de banda estrecha y/o la operación de banda estrecha. En algunos casos, cada UE de banda estrecha en operación de banda estrecha puede operar dentro de una región de banda estrecha (por ejemplo, a 1,4 MHz o 6 RB) a la vez. Sin embargo, los UE de banda estrecha en operación de banda estrecha, en cualquier momento dado, se pueden volver a sintonizar a otras regiones de banda estrecha en el ancho de banda del sistema más amplio. En algunos ejemplos, múltiples UE de banda estrecha pueden recibir servicio de la misma región de banda estrecha. En otros ejemplos, múltiples UE de banda estrecha pueden recibir servicio de diferentes regiones de banda estrecha (por ejemplo, abarcando cada región de banda estrecha 6 RB). En aún otros ejemplos, diferentes combinaciones de UE de banda estrecha pueden recibir servicio de una o más regiones de banda estrecha iguales y/o una o más regiones de banda estrecha diferentes.

Algunos sistemas, por ejemplo, en la versión 13 de LTE, introducen mejoras de cobertura y soporte para UE de banda estrecha, así como para otros UE. Como se usa en el presente documento, el término mejora de cobertura se refiere, en general, a cualquier tipo de mecanismo que extiende el rango de cobertura de un dispositivo (tal como un dispositivo de banda estrecha) dentro de una red. Un enfoque para la mejora de la cobertura (CE) es la agrupación, que se refiere a transmitir los mismos datos múltiples veces (por ejemplo, en múltiples subtramas o, como se describirá con mayor detalle a continuación, en múltiples símbolos dentro de una misma subtrama).

En determinados sistemas, los UE de banda estrecha pueden soportar la operación de banda estrecha mientras operan en un ancho de banda del sistema más amplio. Por ejemplo, un UE de banda estrecha puede transmitir y recibir en una región de banda estrecha de un ancho de banda del sistema. Como se indica anteriormente, la región de banda estrecha puede abarcar 6 bloques de recursos (RB).

Determinados sistemas pueden proporcionar UE de banda estrecha con mejoras de cobertura de hasta 15 dB, lo que se corresponde con unas pérdidas de acoplamiento máximas de 155,7 dB entre el UE y un eNB. En consecuencia, los UE de banda estrecha y el eNB pueden realizar mediciones a relaciones de señal a ruido bajas (por ejemplo, SNR de -15 dB a -20 dB). En algunos sistemas, las mejoras de cobertura pueden incluir la agrupación de canales, en la que los mensajes asociados con UE de banda estrecha se pueden repetir (por ejemplo, agrupar) una o más veces.

Determinados dispositivos pueden ser capaces de comunicarse tanto con comunicaciones de tipo heredado como con comunicaciones de tipo no heredado. Por ejemplo, algunos dispositivos pueden ser capaces de comunicarse tanto en regiones de banda estrecha (del ancho de banda global del sistema) como en regiones de banda más amplia. Si bien los ejemplos anteriores se refieren a dispositivos de bajo coste o MTC que se comunican por medio de regiones de banda estrecha, otros tipos de dispositivos (no de bajo coste/no MTC) también se pueden comunicar por medio de regiones de banda estrecha, por ejemplo, aprovechando la selectividad de frecuencia y las transmisiones direccionales.

DISEÑO DE LA SEÑAL DE SINCRONIZACIÓN DE TIPO TABLA RASA Y ALGORITMOS DE BÚSQUEDA DE CÉLULAS

Determinados aspectos de la presente divulgación proporcionan un diseño para señales de sincronización, que se

pueden detectar mediante dispositivos que se comunican usando regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio, tales como dispositivos de Internet de las cosas de banda estrecha (NB-IoT). Dichas señales de sincronización pueden incluir una PSS, que se puede usar para la sincronización de la frecuencia y el tiempo, y una SSS, que se puede usar para transportar información del sistema. De acuerdo con aspectos de la presente divulgación, las señales de sincronización descritas pueden ocupar anchos de banda de canal estrechos y pueden coexistir con sistemas GSM/WCDMA/LTE heredados desplegados en la misma banda de frecuencias.

La sincronización de célula es una de las etapas iniciales para establecer un enlace de comunicación entre un UE y la BS, y ayuda a resolver las incertidumbres de tiempo y frecuencia entre los respectivos transceptores en el UE y la BS. Un procedimiento de búsqueda de célula típico puede incluir cuatro operaciones, a saber: (1) detección de señal, (2) adquisición de la temporización de símbolos y la frecuencia de portadora, (3) temporización de trama, y (4) identificación de la ID de célula física. Para sistemas LTE basados en banda estrecha o eCC, la estructura de la PSS/SSS heredada puede no ser adecuada para una búsqueda de célula fiable mediante un UE. Por lo tanto, aspectos de la presente divulgación proporcionan una nueva estructura de la señal de sincronización que se puede generar y transmitir mediante una BS (por ejemplo, un eNB). Además, aspectos descritos en el presente documento proporcionan técnicas para algoritmos de búsqueda eficientes, de baja complejidad y baja latencia que puede implementar el UE mientras busca una célula.

Como se describirá con más detalle en el presente documento, se puede usar una estructura de PSS de doble capa para un primer tipo de UE, tal como un UE de banda estrecha de Internet de las cosas (NB-IoT) u otros dispositivos configurados para operar en un sistema OFDM de tipo tabla rasa (tal como eCC). La PSS de doble capa se puede generar usando una cobertura de código binario de longitud L y al menos una secuencia (por ejemplo, un código base, una secuencia base) aplicada a una serie de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama.

De acuerdo con un ejemplo, la al menos una secuencia puede ser un par de secuencias ortogonales o cuasi-ortogonales (por ejemplo, un par de códigos base ortogonales o cuasi-ortogonales). La señal PSS puede consistir en L símbolos de la PSS. Cada uno de los L símbolos de la PSS se puede construir en el dominio del tiempo tomando la IFFT del código base subyacente, según lo indicado por la cobertura de código.

Basándose en la estructura de la PSS de doble capa, un UE puede adquirir de manera fiable información de temporización de célula a través de autocorrelaciones en el dominio del tiempo. Las autocorrelaciones en el dominio del tiempo son ventajosamente robustas frente a la gran incertidumbre de frecuencia inicial. La búsqueda de la PSS de doble capa puede operar significativamente mejor que los diseños existentes (estructura repetitiva del campo de entrenamiento corto heredado (L-STF) de Wi-Fi, secuencias de Zadoff-Chu conjugadas, secuencias de Zadoff-Chu codificadas diferencialmente, etc.) tanto en precisión como en complejidad, debido al patrón de símbolos de la cobertura de código y a la ortogonalidad de los símbolos de la PSS.

De acuerdo con aspectos, la SSS puede consistir en M símbolos de la SSS, y cada símbolo de la SSS se puede correlacionar con otro conjunto de códigos base que pueden ser cuasi-ortogonales. Con la referencia de tiempo y frecuencia proporcionada por la PSS detectada, el UE puede detectar la ID de célula a través de la decodificación de la SSS. Debido a la cuasi-ortogonalidad de los símbolos de la SSS, los efectos de desviación de tiempo/frecuencia típicos de los diseños de bajo coste se pueden seguir de forma oportuna y fiable.

De acuerdo con determinados aspectos de la presente divulgación, el diseño del canal de sincronización de NB-IoT puede ser adecuado para escenarios de despliegue tanto en banda como independientes. Además, el diseño de la señal de sincronización propuesto se puede extender a otros despliegues de MTC basadas en LTE que usan más de 1 RB.

En determinados aspectos de la presente divulgación, los despliegues en banda de dispositivos NB-IoT pueden cumplir la numeración de la LTE heredada (como en la separación entre tonos y el ancho de banda compatibles). Además, las señales PSS y SSS de NB-IoT obtenidas se pueden alinear con los límites de símbolos de la OFDM de un sistema de LTE heredado.

En algunos casos, las señales de sincronización de NB-IoT pueden usar elementos de recurso no ocupados por señales físicas y canales de control de DL de LTE heredados. El uso de elementos de recursos desocupados puede evitar la segmentación de recursos y los problemas de interferencia encontrados en otros diseños. Por tanto, las señales de sincronización descritas en el presente documento pueden coexistir en armonía con los sistemas de LTE de banda ancha.

De acuerdo con determinados aspectos (y como se muestra en la Figura 14), el diseño de la señal de sincronización presentado en el presente documento puede permitir que los UE realicen desplazamientos de la frecuencia de portadora (CFO) tanto fraccionarios como enteros incluso en despliegues con desplazamiento de frecuencia de hasta 20 ppm para la sincronización de DL inicial y conseguir una precisión de la temporización de símbolos del orden de $\pm 2,5 \mu\text{s}$.

La SSS descrita de la presente divulgación puede llevar más de 13 bits de información, lo que cumple la demanda de

aumento del número de ID de célula asociadas con el gran despliegue de dispositivos IoT. Además de la información de la ID de célula, la SSS descrita también puede llevar información adicional del sistema que incluye, por ejemplo, la ID de subtrama y/u otra información del sistema.

La Figura 5 ilustra operaciones de ejemplo 500 que se pueden realizar mediante una estación base, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. La estación base puede ser la BS 110, que puede incluir uno o más módulos ilustrados en la Figura 2. De acuerdo con aspectos, uno o más del controlador/procesador 240, el procesador de transmisión 220, el procesador de MIMO de transmisión 230, la memoria 242, el mod/demod 232 y/o la antena 232 de la BS 110 se pueden configurar para realizar las operaciones descritas en el presente documento.

En 502, la BS puede generar una PSS usando una cobertura de código binario y al menos una secuencia aplicada a una serie de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama. En 504, la BS puede transmitir la PSS y una SSS a un primer tipo de UE que se comunica en una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio. De acuerdo con aspectos, la PSS se puede denominar una PSS de banda estrecha, NB-PSS, y la SSS se puede denominar una NB-SSS.

La Figura 6 ilustra operaciones de ejemplo 600 que se pueden realizar mediante un UE que se comunica en una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. El UE puede ser el UE 120, que puede incluir uno o más módulos ilustrados en la Figura 2. De acuerdo con aspectos, uno o más del controlador/procesador 280, el procesador de recepción 258, la memoria 282, el mod/demod 254 y/o la antena 252 del UE 120 se pueden configurar para realizar las operaciones descritas en el presente documento.

En 602, el UE puede detectar dentro de una o más regiones de banda estrecha del ancho de banda del sistema más amplio, una PSS generada usando una cobertura de código binario y al menos una secuencia aplicada a una serie de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama. En 604, el UE puede realizar una adquisición inicial de tiempo y frecuencia basándose en la PSS detectada. En 606, el UE puede detectar, dentro de una o más regiones de banda estrecha, una SSS para refinar la adquisición inicial de tiempo y frecuencia.

Como se describirá con más detalle en el presente documento, la selección de la cobertura de código binario y la secuencia base puede ser importante para la generación de la PSS. Basándose en la cobertura de código binario y la secuencia base, se puede construir una secuencia de PSS candidata de doble capa. Se puede calcular una función de autocorrelación deslizante de la PSS de doble capa candidata en el dominio del tiempo. Además, se puede identificar la distancia de lóbulo lateral a máximo y la intensidad de lóbulo lateral a máximo. Puede ser deseable seleccionar una PSS con una gran distancia de lóbulo lateral a máximo y una baja intensidad de lóbulo lateral a máximo.

Una función de correlación cruzada bidimensional de la secuencia de PSS candidata de doble capa se puede calcular en una cuadrícula de tiempo-frecuencia. De acuerdo con aspectos, la dimensión de la cuadrícula en el dominio del tiempo puede ser mayor que el desplazamiento de temporización residual a considerar, y la dimensión de la cuadrícula en el dominio de la frecuencia puede ser mayor que el desplazamiento de frecuencia residual a considerar.

La autocorrelación deslizante en el dominio del tiempo de la secuencia de PSS candidata, la función de correlación cruzada bidimensional y la PAPR/métrica cúbica (CM) de la PSS candidata se pueden comparar con los objetivos de diseño. Basándose en la comparación, una PSS candidata se puede aceptar o rechazar como un diseño válido.

Estas etapas se pueden repetir en un esfuerzo por identificar una candidata de mejores diseños. De acuerdo con aspectos, los mejores diseños para la PSS se pueden seleccionar después de repetir las etapas anteriores basándose en la longitud de la secuencia de Zadoff-Chu y la longitud de la cobertura de código.

La Figura 7 ilustra una estructura de la secuencia de PSS de doble capa de ejemplo 700, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. Como se ilustra, la doble capa corresponde a la correlación con $L \times K$ elementos de recurso localizados o distribuidos dentro de un bloque de recursos físicos de LTE. Para el despliegue en banda, la asignación de NB-IoT puede evitar los elementos de recurso "reservados" de los sistemas de LTE heredados.

La PSS se puede diseñar con L símbolos de multiplexación por división ortogonal de frecuencia (OFDM), donde L es un número entero configurable, y los L símbolos de la PSS se pueden correlacionar con elementos de recurso localizados y/o distribuidos. En algunos casos, los L símbolos de la PSS se pueden generar mediante una sola Transformada rápida inversa de Fourier (IFFT). La separación entre subportadoras puede ser de 15 KHz, y el ancho de banda puede ser de 180 KHz. La PSS se puede generar de acuerdo con un esquema de diseño de secuencias de doble capa, usando un "Código Base" (para la capa I) y una "Cobertura de Código" (para la capa II).

El elemento de recurso $b_{l,k}$ de la PSS se puede correlacionar como se muestra a continuación:

$$b_{l,k} = \begin{cases} C_k, & S_l = 1 \\ -C_k, & S_l = -1 \end{cases}$$

$\{C_k\}$ es una secuencia de magnitud constante con buenas propiedades de autocorrelación en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

En determinados aspectos de la presente divulgación, el código base (para la capa I) y la cobertura de código (para la capa II) poseen conjuntamente un buen comportamiento de autocorrelación y correlación cruzada. Esto puede mejorar la precisión, así como la sincronización de tiempo y frecuencia mediante el UE, especialmente en un escenario de baja SNR. La combinación seleccionada del código base y la cobertura de código puede conseguir una relación de máximo a lóbulo lateral grande y una distancia de máximo a lóbulo lateral grande, lo que puede proporcionar una mejor resolución para el UE. Por ejemplo, si el UE detecta una señal PSS, el UE puede determinar mejor la localización del comienzo de la secuencia de PSS. El código base y la cobertura de código pueden tener una PAPR y una métrica cúbica bajas, tener una implementación sencilla y ser compatibles con la estructura de símbolos de la OFDM heredada, de modo que haya una interferencia mínima (si la hubiera) entre implementaciones de banda estrecha y de banda ancha.

De acuerdo con aspectos, el código base (para la capa I) puede estar basado en al menos una secuencia ortogonal o cuasi-ortogonal. La al menos una secuencia ortogonal o cuasi-ortogonal puede estar basada en una interpolación de secuencias de Zadoff-Chu. La al menos una secuencia ortogonal o cuasi-ortogonal se puede usar para generar señales PSS, SSS y/o PRACH.

De acuerdo con aspectos, la al menos una secuencia ortogonal o cuasi-ortogonal puede incluir un par de secuencias ortogonales o cuasi-ortogonales para la construcción de la señal PSS. El uso de un par de secuencias puede mejorar la capacidad de detección de la señal de sincronización del UE (por ejemplo, detectar ausencia frente a presencia de una PSS) y la precisión de la adquisición de la temporización (por ejemplo, localización del límite de símbolos).

A continuación se muestra un ejemplo de un algoritmo de interpolación para una secuencia de Zadoff-Chu de tamaño N y raíz u:

$$C(n) \triangleq \begin{cases} \exp\left(-j\frac{\pi un^2}{N}\right), & N \text{ es par} \\ \exp\left(-j\frac{\pi un(n+1)}{N}\right), & N \text{ es impar} \end{cases}, \quad n = 1, 2, \dots, N$$

Suponiendo una relación de interpolación de K, donde K es un número real positivo y KN es un número entero positivo, la secuencia interpolada Z puede estar dada por:

$$Z(k) \triangleq \begin{cases} \exp\left(-j\frac{\pi ut^2}{N}\right), & N \text{ es par} \\ \exp\left(-j\frac{\pi ut(t+1)}{N}\right), & N \text{ es impar} \end{cases}, \quad t = \frac{k}{KN}, \quad k = 1, 2, \dots, KN$$

La Figura 8 ilustra una correlación de la cobertura de código y una generación de la secuencia de PSS de doble capa de ejemplo 800, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. De acuerdo con aspectos, una BS puede generar un símbolo de la NB-PSS basándose en una cobertura de código y una secuencia de Zadoff-Chu (una secuencia base). La cobertura de código puede ser una cobertura de código binario con una longitud de 11 símbolos. En la Figura 8, en 802, se muestra una cobertura de código optimizado para mejorar la precisión y fiabilidad de la adquisición de célula mediante un UE. La cobertura de código binario optimizado se puede aplicar en 11 símbolos de OFDM en el dominio del tiempo y puede ser:

$$S_{\{3,13\}} = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1]$$

Debido a la estructura de doble capa de la PSS, el rendimiento de la señal NB-PSS puede depender tanto de la cobertura de código binario como de una secuencia base. En consecuencia, optimizar o mejorar la selección de la cobertura de código binario y la secuencia base puede ser importante para la generación de la PSS. De acuerdo con un aspecto, la secuencia base puede ser una secuencia de Zadoff-Chu corta con longitud K, índice de raíz u. La secuencia base se puede aplicar en 11 subportadoras consecutivas de 1 RB en el dominio de la frecuencia. Se puede seleccionar una cobertura de código binario con longitud M (por ejemplo, $M < K$).

La Figura 8, en 804, ilustra un diagrama de bloques de ejemplo para la generación de la secuencia de NB-PSS, de acuerdo con aspectos de la presente descripción. De acuerdo con aspectos, la NB-PSS puede ocupar los últimos 11 símbolos de OFDM de una subtrama (por ejemplo, la subtrama 5). Comenzando con una secuencia de Zadoff-Chu,

en 806, la selección de tono y/o la perforación de la CRS se realizan a través de la correlación de subportadora. La NB PSS se puede correlacionar con 11 subportadoras consecutivas de un PRB (por ejemplo, símbolos (3-13)).

En 808, se puede emplear la IFFT con relleno de ceros en un esfuerzo para generar muestras en el dominio del tiempo para cada símbolo de la PSS. En 810, se inserta un prefijo cíclico. La IFFT con relleno de ceros y la inserción del CP pueden ser similares a la LTE heredada.

En 812, se aplica una cobertura de código binario a los símbolos en el dominio del tiempo para generar, en 814, una PSS. La cobertura de código binario puede ser la cobertura de código de longitud = 11 ilustrado en 802. De acuerdo con aspectos, la secuencia de Zadoff-Chu puede ser una secuencia de Zadoff-Chu corta de longitud 11, índice de raíz 5 y sin desplazamiento cíclico.

La Figura 9 ilustra una correlación de la cobertura de código y la secuencia base y una generación de la secuencia de PSS de doble capa 900 de ejemplo, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. De igual modo que en la Figura 8, una cobertura de código binario de longitud=11 902 de $S = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1]$ se puede aplicar a 11 símbolos de OFDM en el dominio del tiempo, como parte de la generación de una secuencia de PSS de doble capa. Se puede aplicar una secuencia base 904 a los últimos 11 símbolos de OFDM para generar una secuencia de NB-PSS. La secuencia base puede ser:

$$Z_k = \exp\left(\frac{-j5\pi k(k+1)}{11}\right), \quad k = 0, 1, \dots, 10$$

Como se muestra en 906, un desplazamiento cíclico en el dominio del tiempo y, en 908, la rotación en el dominio de la frecuencia se pueden aplicar a los símbolos de OFDM para generar la secuencia de NB-PSS. La rotación de fase de la secuencia base por símbolo de la PSS puede ser:

$$d_{l,k} = Z_k \exp(j\theta_{l,k}), \quad k = 0, 1, \dots, 10; l = 3, 4, \dots, 13$$

La Figura 9, en 910, ilustra un diagrama de bloques de ejemplo para la generación de la secuencia de NB-PSS, de acuerdo con aspectos de la presente descripción. De acuerdo con aspectos, la NB-PSS puede ocupar los últimos 11 símbolos de OFDM de una subtrama (por ejemplo, la subtrama 5). En 912, la generación de la secuencia de NB-PSS puede comenzar con una secuencia de Zadoff-Chu de longitud 11 y un índice de raíz 5. Se puede aplicar una rotación de fase en el dominio de la frecuencia 916 a la correlación de subportadora en 914. En 918, se puede emplear la IFFT con relleno de ceros en un esfuerzo para generar muestras en el dominio del tiempo para cada símbolo de la PSS. En 920, se inserta un prefijo cíclico. La IFFT con relleno de ceros y la inserción del CP pueden ser similares a la LTE heredada. En 922, se puede aplicar una cobertura de código binario para generar la concatenación de símbolos de la PSS 924.

La Figura 9A ilustra un ejemplo de generación de una NB-SSS 900A, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. En línea con el diseño y la generación de una señal NB-PSS, se puede construir una señal NB-SSS basándose en la concatenación de secuencias de Zadoff-Chu de longitud 11 con diferentes índices de raíz y desplazamientos cíclicos. Por ejemplo, un índice de raíz 904a u_1-u_{11} y un desplazamiento cíclico 906a $\eta_1-\eta_{11}$ se pueden aplicar a los símbolos LTE 3-13 (902A), respectivamente, para generar los símbolos de la NB-SSS 908A.

De igual modo que la NB-PSS, la señal NB-SSS se puede correlacionar con los últimos 11 símbolos de OFDM de una subtrama LTE (por ejemplo, la subtrama 9 de tramas de radio con índice impar) en el dominio del tiempo, y puede ocupar 11 tonos consecutivos de 1 PRB. Por otro lado, para comunicar la ID de célula e información adicional del sistema, cada símbolo de la NB-SSS puede usar una combinación distintiva de índice de raíz y desplazamiento cíclico. Por ejemplo, como se muestra a continuación, el k-ésimo símbolo de la SSS \underline{B}_k se puede representar en el dominio de la frecuencia mediante una secuencia de Zadoff-Chu de tamaño 11 con índice de raíz u_k y desplazamiento cíclico η_k

$$Z_{k,m} = \exp\left(\frac{-j\pi u_k(m + \eta_k)(m + \eta_k + 1)}{11}\right), \quad m = 0, 1, \dots, 10$$

910A ilustra un diagrama de bloques para la generación de la secuencia de NB-SSS, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

Entre todas las posibles permutaciones de índice de raíz y desplazamiento cíclico, la NB-SSS puede estar limitada a un subconjunto que satisfaga una o más de una buena autocorrelación y correlación cruzada entre todas las secuencias de NB-SSS, una correlación cruzada baja con la secuencia de NB-PSS, una falsa alarma mínima para la detección de la NB-PSS y una PAPR/CM baja.

De igual modo que la generación de la NB-PSS que se muestra en 804, la NB-SSS se puede generar comenzando con una secuencia de Zadoff-Chu, en 912A, y la selección de tono y/o la perforación de la CRS realizada a través de la correlación de subportadora en 914A. En 916A, se puede emplear la IFFT en un esfuerzo por generar muestras en el dominio del tiempo para cada símbolo de la SSS. En 918A, se puede insertar un prefijo cíclico. La IFFT y la inserción del CP pueden ser similares a la LTE heredada.

En 920A, se puede aplicar un desplazamiento cíclico a los símbolos para generar, en 922A, un símbolo de la SSS.

La Figura 10 ilustra etapas de ejemplo 1000 para generar una NB-PSS 1002 y una NB-SSS 1004 de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. Como se ilustra, suponiendo una secuencia de Zadoff-Chu corta con desplazamiento cíclico de longitud K_1 , los símbolos de la PSS se pueden generar mediante perforación de la CRS, relleno de ceros, IFFT, inserción del CP y alineación de límites. Suponiendo un desplazamiento cíclico q , raíz u , y una secuencia de Zadoff-Chu corta de longitud K_2 , se pueden generar símbolos de la SSS realizando perforación de la CRS, relleno de ceros, IDFT, inserción del CP y alineación de límites.

Mientras que las Figuras 8-10 se refieren a la generación de las señales de sincronización basándose en una secuencia de Zadoff-Chu corta, de acuerdo con aspectos, cada símbolo de la PSS y la SSS puede estar basado en una secuencia de Zadoff-Chu completa. Independientemente del uso de una secuencia de Zadoff-Chu corta o completa, la correlación entre las secuencias de PSS y SSS se puede minimizar considerando diferentes índices de raíz y/o desplazamientos cíclicos.

Por tanto, de acuerdo con el ejemplo y como se ilustra en la Figura 8, la NB-PSS se puede construir mediante la concatenación de secuencias de Zadoff-Chu cortas. Adicionalmente, la NB-PSS puede emplear un diseño de doble capa para la secuencia base (en 11 subportadoras consecutivas de 1 bloque de recursos físicos en el dominio de la frecuencia) y la cobertura de código (en 11 símbolos de OFDM en el dominio del tiempo).

La secuencia base se puede construir en el dominio del tiempo interpolando una secuencia de Zadoff-Chu de longitud K ($K=11$) con buenas propiedades de correlación tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. Cada símbolo de la PSS puede incluir una secuencia base (CP incluido). La correlación de uno a uno de símbolos de la PSS a secuencias base puede estar controlada por una cobertura de código binario de longitud 11.

La cobertura de código puede comprender una secuencia binaria $\{S_i; S_i=\pm 1 \text{ y } 1 \leq i \leq 11\}$ con patrón aleatorio. Como se describe anteriormente, el patrón de la cobertura de código se puede optimizar en un esfuerzo por mejorar la precisión y fiabilidad de la adquisición de célula.

De acuerdo con un ejemplo, a través de la optimización conjunta de la cobertura de código y la secuencia base, la siguiente combinación de secuencia base y cobertura de código se puede usar para generar una señal NB-PSS:

Secuencia base:

$$Z_k = \exp\left(\frac{-j5\pi k(k+1)}{11}\right), k = 0, 1, \dots, 10$$

Cobertura de código:

$$S_{\{1:11\}} = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1]$$

Cuando la frecuencia de muestreo es de 1,92 MHz, hay $N=137$ muestras en un símbolo de la PSS, que se pueden obtener mediante una IFFT de tamaño 128 con relleno de ceros más un CP de tamaño 9. En un esfuerzo por cumplir con los límites de símbolos de la LTE y mantener la estructura de la secuencia periódica, la secuencia de PSS se puede alinear con el comienzo del 3^{er} símbolo de OFDM (como se muestra en la Figura 17), y puede apilar una muestra más al final del último símbolo de la PSS mediante extensión cíclica. Por lo tanto, habrá $137 \times 11 + 1$ muestras ocupando los últimos 11 símbolos de OFDM de una subtrama de LTE.

Las formas de onda generadas del símbolo de la PSS con una longitud del CP de 9 y 10 muestras muestran una diferencia insignificante. Por lo tanto, un esquema de inserción del CP como se muestra en las Figuras 8-10, puede ser totalmente compatible con la LTE heredada, lo que introduce un CP de tamaño 10 para el 5^o símbolo de la PSS y mantiene el mismo tamaño del CP para el resto de símbolos de la PSS. Después de eliminar el CP, la forma de onda del símbolo de la PSS presenta una propiedad simétrica central (resultado de la secuencia de Zadoff-Chu), que se puede usar para simplificar la operación de correlación cruzada en la segunda parte.

Se pueden hacer las siguientes observaciones con respecto al diseño de la secuencia de NB-PSS de doble capa. Cada símbolo de la PSS puede abarcar una secuencia de ZC completa, preservando por lo tanto las buenas

propiedades de correlación a nivel de símbolo. La aplicación de la cobertura de código aleatoriza el patrón de símbolos, por lo tanto, las buenas propiedades de correlación se pueden extender a través de los símbolos. La secuencia de NB-PSS presenta una estructura periódica. Además de la envolvente constante de la secuencia de ZC, se pueden aplicar operaciones de superposición y adición en los límites de símbolos de la PSS en un esfuerzo por reducir aún más los valores de la PAPR y la CM. La inserción del CP de la secuencia de NB-PSS se puede hacer igual que la de la LTE heredada. En consecuencia, toda la secuencia de PSS puede estar completamente alineada con los últimos 11 símbolos de OFDM de una subtrama de la LTE heredada.

La Figura 11 ilustra componentes de ejemplo de un transmisor 1100 configurado para transmitir una NB-PSS y una NB-SSS, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. Después de la generación de una PSS y una SSS, una entidad de transmisión, tal como una BS, puede transmitir las señales de sincronización generadas a una entidad de recepción, tal como un UE.

En 1102, se puede aplicar una secuencia de Zadoff-Chu corta de tamaño 11 y raíz 5 a los símbolos de OFDM. En 1104, el transmisor puede realizar la rotación de fase y la correlación de tono. En 1106, se puede realizar la IFFT con relleno de ceros para generar muestras en el dominio del tiempo para cada símbolo de la PSS. En 1108, se realiza la inserción del CP para los símbolos de la PSS. La cobertura de código binario 1110 se aplica a las muestras en el dominio del tiempo después de la inserción del CP. En 1112, se realiza la precodificación de diversidad de transmisión (TXD). El multiplexor 1116 multiplexa una señal de LTE 1114 con la señal precodificada (de la salida de precodificación de TXD 1112).

Un convertidor de digital a analógico (DAC) 1118 puede recibir la señal multiplexada. El amplificador de potencia (PA) 1120 puede amplificar señales antes de su transmisión mediante la antena 1122.

La Figura 12 ilustra componentes de ejemplo de un receptor 1200 configurado para recibir una NB-PSS y una NB-SSS, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. De acuerdo con aspectos, el receptor 1200 puede ser parte de un UE.

La antena 1202 puede recibir señales de sincronización transmitidas por una entidad de transmisión (por ejemplo, una estación base, que incluye el transmisor 1100 que se muestra en la Figura 11). Un amplificador de bajo ruido 1204 puede amplificar las señales recibidas. Un convertidor de analógico a digital (ADC) 1206 puede convertir las señales recibidas para el procesamiento de señales digitales.

Un demultiplexor 1208 puede demultiplexar la señal recibida para generar una señal de LTE para el procesamiento de recepción de la señal de LTE en 1210. El demultiplexor 1208 también puede emitir señales para la eliminación y la agrupación de símbolos en 1212.

La elevación de la cobertura de código 1214 se puede aplicar a los símbolos después de la eliminación y la agrupación de símbolos. Como se describirá con más detalle en el presente documento (por ejemplo, en las Figuras 13 y 14), el UE puede realizar autocorrelaciones deslizantes en 1216 en un esfuerzo por detectar una NB-PSS. En 1218, el UE puede realizar la detección de la señal NB-PSS. En 1220, el UE puede realizar una sincronización aproximada en tiempo y frecuencia. En 1222, el UE puede realizar una sincronización refinada en tiempo y frecuencia. Después de la sincronización refinada en tiempo y frecuencia, en 1224, el UE puede realizar el procesamiento de la NB-SSS.

La Figura 13 ilustra un diagrama de flujo del proceso del receptor de ejemplo 1300, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. El UE puede comenzar la sincronización de DL, en 1302, con detección de señal y adquisición de la referencia de temporización de la PSS en el dominio del tiempo. La detección de señal y la adquisición de la referencia de temporización de una PSS pueden incluir una combinación coherente de autocorrelaciones deslizantes. Con la información de máximos de PSS, determinada por medio de la combinación coherente de autocorrelaciones deslizantes, el UE puede, en 1304, realizar una corrección del desplazamiento de frecuencia fraccionario basándose en la PSS (autocorrelación en el dominio del tiempo). La complejidad del UE se puede minimizar debido a que la detección de señal y la adquisición de la referencia de temporización 1302, la corrección del desplazamiento de frecuencia fraccionario 1304 y la corrección refinada del desplazamiento de temporización y frecuencia 1306 se pueden realizar en el dominio del tiempo.

En 1306, la PSS se puede usar para realizar la corrección refinada del desplazamiento de temporización y frecuencia. Después de esto, en 1308, el UE puede procesar una SSS. La SSS se puede usar para decodificar no solo una ID de célula, sino también información adicional, tal como la ID de subtrama y/u otra información del sistema, incluyendo la desviación de tiempo/frecuencia.

Por tanto, de forma similar a la LTE heredada, los procedimientos de búsqueda de célula de los dispositivos NB-IoT pueden incluir detección de inicio de trama (detección de la señal PSS), estimación del desplazamiento de temporización de símbolo y trama, estimación del CFO e identificación de la ID de célula física. Las tres primeras operaciones implican principalmente el procesamiento de la NB-PSS, mientras que el último procedimiento es para la NB-SSS.

Para una implementación de baja complejidad, la detección de la señal PSS y la estimación del desplazamiento de tiempo y frecuencia se pueden implementar completamente en el dominio del tiempo aprovechando la estructura periódica de la secuencia de NB-PSS y la propiedad simétrica central de una secuencia de Zadoff-Chu. Por lo tanto, el diseño de la PSS puede ser especialmente adecuado para UE de bajo coste alimentados con baterías distintas de fuentes no recargables.

La Figura 14 ilustra un diagrama de flujo del proceso del receptor de ejemplo 1400, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. La transición de estados para un buscador de NB-IoT, ilustrada en la Figura 14, proporciona detalles adicionales del proceso del receptor ilustrado en la Figura 13. De acuerdo con aspectos, un UE puede realizar la detección inicial de la señal PSS con una frecuencia de muestreo reducida de acuerdo con las siguientes etapas.

Las etapas 1402-1406 se pueden realizar como parte de las etapas 1302 y 1304 en la Figura 13. En 1402, se puede realizar una autocorrelación deslizante a 240 kHz hasta que "se encuentra" un máximo. Si "se encuentra" un máximo, el UE puede, en 1404, estimar el desplazamiento aproximado de temporización y frecuencia fraccionario. El UE puede, a 1406, realizar la correlación cruzada a 240 kHz. Después de determinar los desplazamientos aproximados de temporización y frecuencia fraccionario y realizar la correlación cruzada, si el máximo se "rechaza", el algoritmo vuelve a 1402, donde el UE realiza una autocorrelación deslizante, hasta que se encuentra un máximo.

De acuerdo con aspectos, el UE puede correlacionar las señales recibidas con copias retardadas y conjugadas de la señal recibida. En segundo lugar, el UE puede sumar las correlaciones correspondientes a diferentes tamaños de retardo (múltiplos enteros de la longitud de símbolo de la PSS) individualmente. En tercer lugar, el UE puede tomar el valor absoluto de cada suma individualmente. En cuarto lugar, el UE puede sumar los valores absolutos a través de todos los retardos. En quinto lugar, para casos de baja SNR y/o extensión de cobertura, las etapas primera a cuarta descritas anteriormente se pueden repetir, por ejemplo, cada 20 ms (por ejemplo, cuando la PSS se puede transmitir cada 20 ms). Los valores absolutos sumados a través de todos los retardos se pueden acumular en múltiples intervalos de observación separados anteriormente en 20 ms. Los valores de acumulación (por ejemplo, de las etapas cuarta y quinta anteriores) se pueden comparar con un umbral en un esfuerzo para determinar si hay una señal PSS presente. Una señal PSS se puede declarar presente si el valor de acumulación supera el valor umbral.

Después de la correlación cruzada en 1406, si la presencia de máximo de la PSS está "confirmada" (por ejemplo, sin información adicional con respecto al desplazamiento de frecuencia entero), el UE puede, en 1408, realizar una correlación cruzada a 1,92 MHz. Por ejemplo, después de detectar una señal PSS, el UE puede realizar una adquisición de temporización inicial. De acuerdo con aspectos, el UE puede repetir los pasos primero a quinto descritos anteriormente usando una frecuencia de muestreo más alta y alrededor de la localización de la señal PSS detectada. El UE puede encontrar entonces el máximo de la acumulación y encontrar la localización del máximo como punto de inicio de los símbolos de la PSS. Los desplazamientos refinados de frecuencia y temporización se pueden usar, en 1410, para la decodificación y seguimiento de la ID de célula.

El UE puede realizar la adquisición de frecuencia inicial realizando en primer lugar una autocorrelación en el dominio del tiempo después de la detección de la temporización de símbolos para encontrar el desplazamiento de frecuencia de portadora (CFO) fraccionario. El UE puede encontrar un CFO entero realizando una correlación cruzada en el dominio del tiempo después de la corrección del CFO fraccionario. El UE puede decodificar la secuencia de SSS después de establecer referencias de temporización y frecuencia.

De acuerdo con aspectos, en el lado del receptor, se puede realizar una autocorrelación deslizante de la secuencia de NB-PSS. El UE puede construir una función de coste para el desacoplamiento del desplazamiento de frecuencia de portadora (CFO) del desplazamiento de temporización (independiente del CFO). La función de coste se puede determinar combinando de forma coherente subvectores en fase de pares de símbolos de la PSS (dado d), tomando el valor absoluto de cada suma y acumulando en el alcance de la secuencia de PSS (11 símbolos). La función de coste se puede expresar mediante la combinación coherente de símbolos de la PSS y la acumulación coherente de retransmisiones de la PSS. Por ejemplo, suponiendo un vector de la señal de RX comenzando a partir de $t = \tau$ se puede denotar mediante la concatenación de 11 subvectores $\chi(\tau) = [R_1 R_2 \dots R_{11}]$.

Se puede aplicar la cobertura de código $\{s(l)\}$ a χ , $l = 1, 2, \dots, 11$. A continuación, se puede formar una correlación a nivel de símbolo entre símbolos de la PSS adyacentes y no adyacentes:

$$A_q(\tau) = \frac{1}{11-q} \sum_{l=1}^{11-q} s(l)s(l+q)R_{l+q}R_l^H, \quad q = 1, 2, \dots, Q \quad \text{y} \quad 3 \leq Q \leq 11$$

por ejemplo, cuando el desplazamiento de temporización $\rightarrow 0$, $E[A_q(\tau)] \propto e^{jq\theta}$, donde $\theta = \text{mod}(2\pi T, 2\pi)$ es la rotación de fase inducida por CFO por símbolo (T = duración del símbolo de la PSS con CP incluido). La combinación ponderada (basándose en el algoritmo BLUE) se puede realizar usando:

$$\rho(\tau) = w_1 A_1(\tau) + \sum_{q=2}^Q w_q A_q^*(\tau) A_{q+1}(\tau) / |A_q^*(\tau)|, \quad w_q \in (0, 1]$$

se obtienen a partir del algoritmo BLUE, por ejemplo, cuando el desplazamiento de temporización $\rightarrow 0$, $E[\rho(\tau)] \propto e^{j\theta}$. A continuación, con respecto a la acumulación coherente a través de retransmisiones de la PSS, la salida del correlador para el m-ésimo período de SYNC puede estar dado por $\rho_m(\tau)$. Se puede aplicar un filtrado de peso bajo opcional a $\rho_m(\tau)$ para el suavizado. La acumulación coherente de salida del correlador mediante el filtro α puede ser:

$$\rho_{\Sigma}(\tau) = \alpha \rho_{\Sigma}(\tau) + (1 - \alpha) \rho_m(\tau), \quad 0,5 < \alpha < 1,0.$$

La MLE del desplazamiento de temporización se puede expresar mediante $\hat{\tau} = \arg\max_{\tau} |\lambda(\tau)|$, por ejemplo, cuando el desplazamiento de temporización $\rightarrow 0$, $E[\rho_{\Sigma}(\tau)] \propto e^{j\theta}$. La detección de presencia de la PSS puede ser:

$$|\rho_{\Sigma}(\tau)/\bar{\rho}| \geq \text{Umbral}$$

La estimación aproximada del desplazamiento de temporización puede ser:

$$\hat{\tau} = \arg\max_{\tau} \rho_{\Sigma}(\tau).$$

Estimación del desplazamiento de frecuencia (normalizada en 15 KHz, intervalo de introducción de hasta 30 KHz):

$$f \triangleq f_F + f_I, \quad \text{donde } f_F \in \left(-\frac{64}{137}, \frac{64}{137}\right) \text{ y } f_I \in \{0, \pm \frac{128}{137}, \pm \frac{256}{137}\}$$

La estimación de f_F se puede obtener a partir de la rotación de fase del "máximo" del autocorrelador, mediante:

$$f_F = \left(\frac{128}{137}\right) \times \frac{1}{2\pi} \times \arg\{\rho_{\Sigma}(\text{estimación aproximada del desplazamiento de temporización})\}$$

La estimación de f_I se puede obtener de la correlación cruzada de la secuencia de PSS. La estimación refinada de los desplazamientos de temporización y frecuencia se puede obtener a través de la búsqueda del máximo de la correlación cruzada en una cuadrícula pequeña de tiempo-frecuencia, que puede estar centrada en la estimación aproximada del desplazamiento de temporización y frecuencia obtenida por medio de la autocorrelación deslizando.

La Figura 15 ilustra un ejemplo para una función de autocorrelación deslizando 1500, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

La Figura 16 ilustra un ejemplo para mejorar la correlación cruzada 1600, de acuerdo con aspectos de la presente divulgación, en el que el máximo es único en la cuadrícula de tiempo-frecuencia correspondiente a los desplazamientos de tiempo/frecuencia residuales.

Las Figuras 17-19 ilustran una asignación de recursos de ejemplo para las señales de sincronización descritas en el presente documento. Pueden ser posibles múltiples oportunidades de transmisión para la PSS y la SSS.

De acuerdo con aspectos, como se muestra en la Figura 17, puede haber cuatro oportunidades de transmisión para la PSS y la SSS en un período de tiempo de 80 ms, lo que puede permitir la detección fiable de la ID de célula mediante un UE. De acuerdo con aspectos, la PSS se puede transmitir en cada trama. Adicionalmente, la PSS y la SSS se pueden transmitir en subtramas adyacentes (por ejemplo, las subtramas 3 y 4) de una trama de 10 ms. Como se describe anteriormente, cada PSS y SSS pueden basarse en una secuencia de Zadoff-Chu corta o completa.

De acuerdo con aspectos, como se muestra en la Figura 18, la PSS se puede transmitir en la misma subtrama de cada trama de radio. De forma ventajosa, la PSS se puede combinar de forma coherente con una SNR mejorada. Se puede considerar la transmisión entrelazada de la PSS y su conjugado para una indicación temprana. La combinación/acumulación coherente de la autocorrelación puede permanecer sin cambios. Sin embargo, la longitud de la ventana para la acumulación/búsqueda de máximo puede necesitar duplicarse de 5 ms a 10 ms.

De acuerdo con aspectos, como se muestra en la Figura 19, la PSS se puede retransmitir en las subtramas 0 y 5 de las tramas de radio con un índice impar. De forma ventajosa, la acumulación/búsqueda de máximo de autocorrelación puede estar basada en una ranura temporal de 5 ms de duración. Sin embargo, para cada intervalo de 20 ms, solo dos de las 4 ranuras tendrán una señal PSS. Las otras dos, si hay cuatro ranuras, pueden ser solo ruido. Sin conocer el inicio de trama, puede que sea necesario combinar 4 ranuras, con pesos iguales.

De acuerdo con aspectos, la PSS se puede transmitir en la subtrama 5 de cada trama de radio. Como se describe anteriormente, la PSS puede ocupar los 11 últimos símbolos de OFDM de la subtrama 5. Los 11 símbolos de OFDM se pueden generar en el dominio de la frecuencia basándose en una secuencia de Zadoff-Chu corta de longitud 11, raíz 5 y sin desplazamiento cíclico. La PSS se puede correlacionar con 11 subportadoras consecutivas de un PRB.

Como se describe anteriormente, una PSS es una concatenación de símbolos de OFDM. Una parte importante de la generación de símbolos OFDM es la generación del CP. Para la LTE heredada, los símbolos de OFDM tienen diferentes longitudes del CP. En otras palabras, los símbolos de OFDM tienen una longitud del CP no uniforme. La longitud del CP normal para el símbolo n.º 0 y el símbolo n.º 7 es de 10/1,92 µs, y la longitud del CP normal para el resto de los 12 símbolos es 9/1,92 µs. Debido a que NB-IoT puede encajar en el marco de IoT heredado, la longitud del CP de NB-IoT también debe cumplir con la LTE heredada. En otras palabras, la NB-PSS debe ser compatible con versiones anteriores de la LTE heredada.

Dada una velocidad de muestreo de transmisión de 1,92 MHz, los símbolos de la NB-PSS (antes de la inserción del CP) se pueden generar mediante la IFFT de tamaño 128 con relleno de ceros. El desplazamiento cíclico en el dominio del tiempo se puede introducir para mantener la estructura cuasi-periódica de los símbolos de la PSS, como se describirá con respecto a la Figura 20. El desplazamiento cíclico en el dominio del tiempo se puede implementar mediante la rotación de fase en el dominio de la frecuencia.

Como se describe anteriormente, por ejemplo, con referencia a la Figura 8, una secuencia base de la PSS dada por la secuencia de Zadoff-Chu de longitud 11 con índice de raíz 5 puede ser:

$$Z_k = \exp\left(\frac{-j5\pi k(k+1)}{11}\right), k = 0, 1, \dots, 10.$$

La rotación de fase para el símbolo de la PSS / puede ser:

$$\theta_{l,k} = \begin{cases} 0 & ; \quad l \in \{3, 4, 5, 6\} \\ -2\pi(k-5)/128 & ; \quad l \in \{7, 8, 9, 10, 11, 12, 13\} \end{cases}$$

La Figura 20 ilustra desplazamientos cíclicos en el dominio de tiempo-frecuencia para símbolos de la NB-PSS para una longitud del CP no uniforme. De acuerdo con aspectos, un transmisor puede usar los cambios cíclicos no uniformes mientras genera la PSS. Como se muestra en la Figura 20, los símbolos n.º 3-6 pueden tener una longitud del CP de 9 muestras, el símbolo n.º 7 puede tener una longitud del CP de 10 muestras, y los símbolos 8-13 pueden tener una longitud del CP de 9 muestras.

La rotación de fase se puede obtener suponiendo que la frecuencia de muestreo = 1,92 MHz.

$$W_N \triangleq \exp\left(\frac{-j2\pi}{128}\right)$$

Las muestras del dominio del tiempo sin desplazamiento cíclico pueden ser:

$$p_n \triangleq \sum_{k=0}^{10} \exp\left(\frac{-j5\pi k(k+1)}{11}\right) W_N^{-n(k-5)}, \quad n = 0, 1, \dots, 127$$

La rotación de fase del dominio de la frecuencia para / > 7 puede ser:

$$\theta_{l,k} \triangleq -\frac{2\pi(k-5)}{128}, \quad k = 0, 1, \dots, 10$$

El desplazamiento cíclico de una muestra en el dominio del tiempo para / ≥ 7 puede ser:

$$\hat{p}_n \triangleq \sum_{k=0}^{10} \exp\left(\frac{-j5\pi k(k+1)}{11}\right) \exp(j\theta_{l,k}) W_N^{-n(k-5)} = p_{\text{mod}(n+1, 128)}, \quad n = 0, 1, \dots, 127$$

Como se describe anteriormente, una BS puede generar una señal de sincronización primaria (PSS) usando una cobertura de código binario y al menos una secuencia aplicada a una serie de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama. La BS puede transmitir la PSS y una señal de sincronización secundaria (SSS) a un primer tipo de equipo de usuario (UE) que se comunica en una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio.

De acuerdo con aspectos, la al menos una secuencia se puede seleccionar de un conjunto de secuencias base candidatas correspondientes a un conjunto de candidatas de la PSS optimizadas.

- 5 El conjunto de candidatas de la PSS optimizadas se puede evaluar usando un procedimiento de optimización que implica una función de autocorrelación deslizando de secuencias candidatas para una cobertura de código binario dado.

10 Un primer tipo de equipo de usuario (UE) que se comunica en una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio se puede configurar para detectar, dentro de una o más regiones de banda estrecha del ancho de banda del sistema más amplio, una señal de sincronización primaria (PSS) generada usando una cobertura de código binario y al menos una secuencia aplicada a una serie de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama. El UE puede realizar una adquisición inicial de tiempo y frecuencia basándose en la PSS detectada y detectar dentro de la una o más regiones de banda estrecha, una señal de sincronización secundaria (SSS) para refinar la adquisición inicial de tiempo y frecuencia.

15 Realizar la adquisición inicial de tiempo y frecuencia puede incluir un procedimiento de autocorrelación deslizando de la PSS en el dominio del tiempo. El procedimiento de autocorrelación deslizando puede implicar realizar una correlación a nivel de símbolo entre símbolos de la PSS adyacentes y no adyacentes.

20 De acuerdo con aspectos, la detección de la PSS se puede realizar basándose en retransmisiones de la PSS en una pluralidad de subtramas. La detección de la PSS puede implicar una acumulación coherente de retransmisiones de la PSS.

25 Si bien algunos de los diseños de tipo tabla rasa de la PSS y la SSS se describieron en respuesta a NB-IoT, los diseños de la PSS y la SSS descritos se pueden extender a otros sistemas basados en OFDM de tipo tabla rasa, como eCC. Para un sistema de banda ancha tal como eCC, la concatenación de símbolos de la PSS y la SSS se puede realizar en el dominio de la frecuencia, en lugar de en el dominio del tiempo. En consecuencia, el procesamiento de la PSS y la SSS en el UE se realizará a través de un bloque de RB en el dominio de la frecuencia.

30 Los expertos en la materia entenderán que la información y las señales se pueden representar usando cualquiera de una variedad de tecnologías y técnicas diferentes. Por ejemplo, los datos, las instrucciones, los comandos, la información, las señales, los bits, los símbolos y los chips que pueden haberse mencionado a lo largo de la descripción anterior pueden representarse mediante tensiones, corrientes, ondas electromagnéticas, campos o partículas magnéticas, campos o partículas ópticos o combinaciones de los mismos.

35 Los expertos en la materia apreciarán además que los diversos bloques lógicos, módulos, circuitos y etapas de algoritmo ilustrativos, descritos en relación con la divulgación del presente documento, se pueden implementar como hardware electrónico, software/firmware o combinaciones de los mismos. Para ilustrar claramente esta intercambiabilidad de hardware y software/firmware, anteriormente se han descrito diversos componentes, bloques, módulos, circuitos y etapas ilustrativos, en general, en términos de su funcionalidad. Que dicha funcionalidad se implemente como hardware o software/firmware depende de la aplicación y de las limitaciones de diseño particulares impuestas a todo el sistema. Los expertos pueden implementar la funcionalidad descrita de distintas formas para cada aplicación en particular, pero no se debe interpretar que dichas decisiones de implementación suponen apartarse del alcance de la presente divulgación.

40 Los diversos bloques lógicos, módulos y circuitos ilustrativos descritos en relación con la divulgación en el presente documento se pueden implementar o realizar con un procesador de fin general, un procesador de señales digitales (DSP), un circuito integrado específico de la aplicación (ASIC), una matriz de puertas programable en campo (FPGA) u otro dispositivo de lógica programable, lógica de puertas o transistores discretos, componentes de hardware discretos, o cualquier combinación de los mismos diseñada para realizar las funciones descritas en el presente documento. Un procesador de fin general puede ser un microprocesador pero, de forma alternativa, el procesador puede ser cualquier procesador, controlador, microcontrolador o máquina de estados convencional. Un procesador también se puede implementar como una combinación de dispositivos informáticos, por ejemplo, una combinación de un DSP y un microprocesador, una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores junto con un núcleo de DSP o cualquier otra configuración de este tipo.

45 Las etapas de un método o algoritmo descrito en relación con la divulgación del presente documento se pueden incorporar directamente en hardware, en un módulo de software/firmware ejecutado por un procesador o en una combinación de los mismos. Un módulo de software/firmware puede residir en memoria RAM, memoria flash, memoria ROM, memoria EPROM, memoria EEPROM, memoria de cambio de fase, unos registros, un disco duro, un disco extraíble, un CD-ROM o cualquier otra forma de medio de almacenamiento conocida en la técnica. Un medio de almacenamiento ilustrativo está acoplado al procesador de modo que el procesador pueda leer información de, y escribir información en, el medio de almacenamiento. De forma alternativa, el medio de almacenamiento puede estar integrado en el procesador. El procesador y el medio de almacenamiento pueden residir en un ASIC. El ASIC puede residir en un terminal de usuario. Como alternativa, el procesador y el medio de almacenamiento pueden residir como

componentes discretos en un terminal de usuario.

En uno o más diseños ilustrativos, las funciones descritas se pueden implementar en hardware, software/firmware o en combinaciones de los mismos. Si se implementan en software/firmware, las funciones se pueden almacenar en, o transmitirse mediante, un medio legible por ordenador como una o más instrucciones o código. Los medios legibles por ordenador incluyen tanto medios de almacenamiento informático como medios de comunicación que incluyen cualquier medio que facilita la transferencia de un programa informático de un lugar a otro. Un medio de almacenamiento puede ser cualquier medio disponible al que se puede acceder mediante un ordenador de fin general o de fin especial. A modo de ejemplo, y no de limitación, dichos medios legibles por ordenador pueden comprender RAM, ROM, EEPROM, CD/DVD u otro almacenamiento en disco óptico, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio que se puede usar para transportar o almacenar medios de código de programa deseados en forma de instrucciones o estructuras de datos y al que se puede acceder mediante un ordenador de fin general o de fin especial o un procesador de fin general o de fin especial. Asimismo, cualquier conexión recibe apropiadamente la denominación de medio legible por ordenador. Por ejemplo, si el software/firmware se transmite desde una página web, un servidor u otra fuente remota usando un cable coaxial, un cable de fibra óptica, un par trenzado, una línea de abonado digital (DSL) o unas tecnologías inalámbricas tales como infrarrojos, radio y microondas, entonces el cable coaxial, el cable de fibra óptica, el par trenzado, la DSL o las tecnologías inalámbricas tales como infrarrojos, radio y microondas están incluidos en la definición de medio. Los discos, como se usan en el presente documento, incluyen el disco compacto (CD), el disco láser, el disco óptico, el disco versátil digital (DVD), el disco flexible y el disco Blu-ray, donde algunos discos reproducen normalmente los datos magnéticamente, mientras que otros discos reproducen los datos ópticamente con láseres. Las combinaciones de los anteriores también se deben incluir dentro del alcance de los medios legibles por ordenador.

Como se utiliza en el presente documento, incluidas las reivindicaciones, el término "y/o", cuando se usa en una lista de dos o más elementos, significa que uno cualquiera de los elementos enumerados se puede emplear solo, o que se puede emplear cualquier combinación de dos o más de los elementos enumerados. Por ejemplo, si se describe que una composición contiene los componentes A, B y/o C, la composición puede contener solo A; solo B; solo C; A y B en combinación; A y C en combinación; B y C en combinación; o A, B y C en combinación. Además, como se usa en el presente documento, incluyendo en las reivindicaciones, "o" como se usa en una lista de artículos (por ejemplo, una lista de artículos precedida por una frase tal como "al menos uno de" o "uno o más de") indica una lista disyuntiva de manera que, por ejemplo, una lista de "al menos uno de A, B o C" significa A o B o C o AB o AC o BC o ABC (es decir, A y B y C).

La descripción previa de la divulgación se proporciona para permitir que cualquier experto en la materia realice o use la divulgación. Diversas modificaciones de la divulgación resultarán fácilmente evidentes a los expertos en la materia. La invención se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para comunicación inalámbrica, el método realizado por un primer tipo de equipo de usuario, UE, que se comunica con una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio, comprendiendo el método:
5
detectar, dentro de la una o más regiones de banda estrecha del ancho de banda del sistema más amplio, una señal de sincronización primaria, PSS, transmitida y generada por una estación base, BS, que utiliza una cobertura de código binario y al menos una secuencia aplicada a un número de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama, en donde:
10
la cobertura de código binario comprende una longitud = secuencia de 11 símbolos de [1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 -1 1]; y la al menos una secuencia comprende una secuencia de Zadoff-Chu de tamaño 11 con índice de raíz 5;
15
realizar una adquisición inicial de tiempo y frecuencia basándose en la PSS detectada;
detectar, dentro de la una o más regiones de banda estrecha, una señal de sincronización secundaria, SSS; y
determinar una identificación de célula, ID de célula, en la SSS detectada.
20
2. El método de la reivindicación 1, en donde realizar la adquisición inicial de tiempo y frecuencia implica un procedimiento de autocorrelación deslizante de la PSS en el dominio de tiempo.
3. El método de la reivindicación 2, en donde el procedimiento de autocorrelación deslizante implica realizar correlación por símbolo entre símbolos de PSS adyacentes y no adyacentes.
25
4. El método de la reivindicación 1, en donde:
la detección de la PSS se realiza basándose en retransmisiones de PSS a través de una pluralidad de subtramas.
5. El método de la reivindicación 4, en donde la detección de la PSS implica acumulación coherente de retransmisiones de PSS.
30
6. El método de la reivindicación 1, en donde realizar la adquisición de tiempo inicial comprende: realizar una estimación de límite de símbolo aproximada y fina para la PSS.
7. El método de la reivindicación 6, en donde realizar la adquisición de frecuencia inicial comprende: realizar una corrección de desplazamiento de frecuencia fraccionario, desde la PSS, basándose en autocorrelación en el dominio de tiempo de la PSS sincronizada en tiempo para encontrar un desplazamiento de frecuencia de portadora, CFO, fraccionario; y
35
realizar una corrección de desplazamiento de frecuencia entera, desde la PSS, basándose en una correlación cruzada entre la PSS y una réplica de la señal recibida en el dominio de tiempo, para encontrar un CFO entero de la PSS.
40
8. Un método para comunicación inalámbrica, el método realizado por una estación base, BS, comprendiendo el método
45
generar una señal de sincronización primaria, PSS, que utiliza una cobertura de código binario y al menos una secuencia aplicada a un número de símbolos dentro de una o más subtramas de una trama, en donde:
la cobertura de código binario comprende una longitud = secuencia de 11 símbolos de [1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 -1 1]; y la al menos una secuencia comprende una secuencia de Zadoff-Chu de tamaño 11 con índice de raíz 5;
50
y
transmitir la PSS y una señal de sincronización secundaria, SSS, a un primer tipo de equipo de usuario, UE, que se comunica con una o más regiones de banda estrecha de un ancho de banda del sistema más amplio, en donde la SSS incluye información para determinar una identificación de célula, ID de célula.
55
9. El método de la reivindicación 8, en donde la al menos una secuencia se selecciona de entre un conjunto de secuencias de base candidatas que corresponden a un conjunto de candidatos de PSS optimizados.
10. El método de la reivindicación 9, en donde el conjunto de candidatos de PSS optimizados se evalúan usando un procedimiento de optimización que implica una función de autocorrelación deslizante de secuencias candidatas para una cobertura de código binario dado.
60
11. El método de la reivindicación 8, en donde la al menos una secuencia comprende un par de secuencias.
12. El método de la reivindicación 11, en donde el par de secuencias comprende una de secuencias ortogonales o secuencias cuasi ortogonales.
65

13. El método de la reivindicación 11, que comprende además:
determinar el par de secuencias basándose, al menos en parte, en una interpolación de secuencias de Zadoff-Chu.

5 14. Un aparato de equipo de usuario, UE, que comprende medios configurados para realizar todas las etapas del método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 .

15. Un aparato de estación base, BS, que comprende medios configurados para realizar todas las etapas del método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13 .

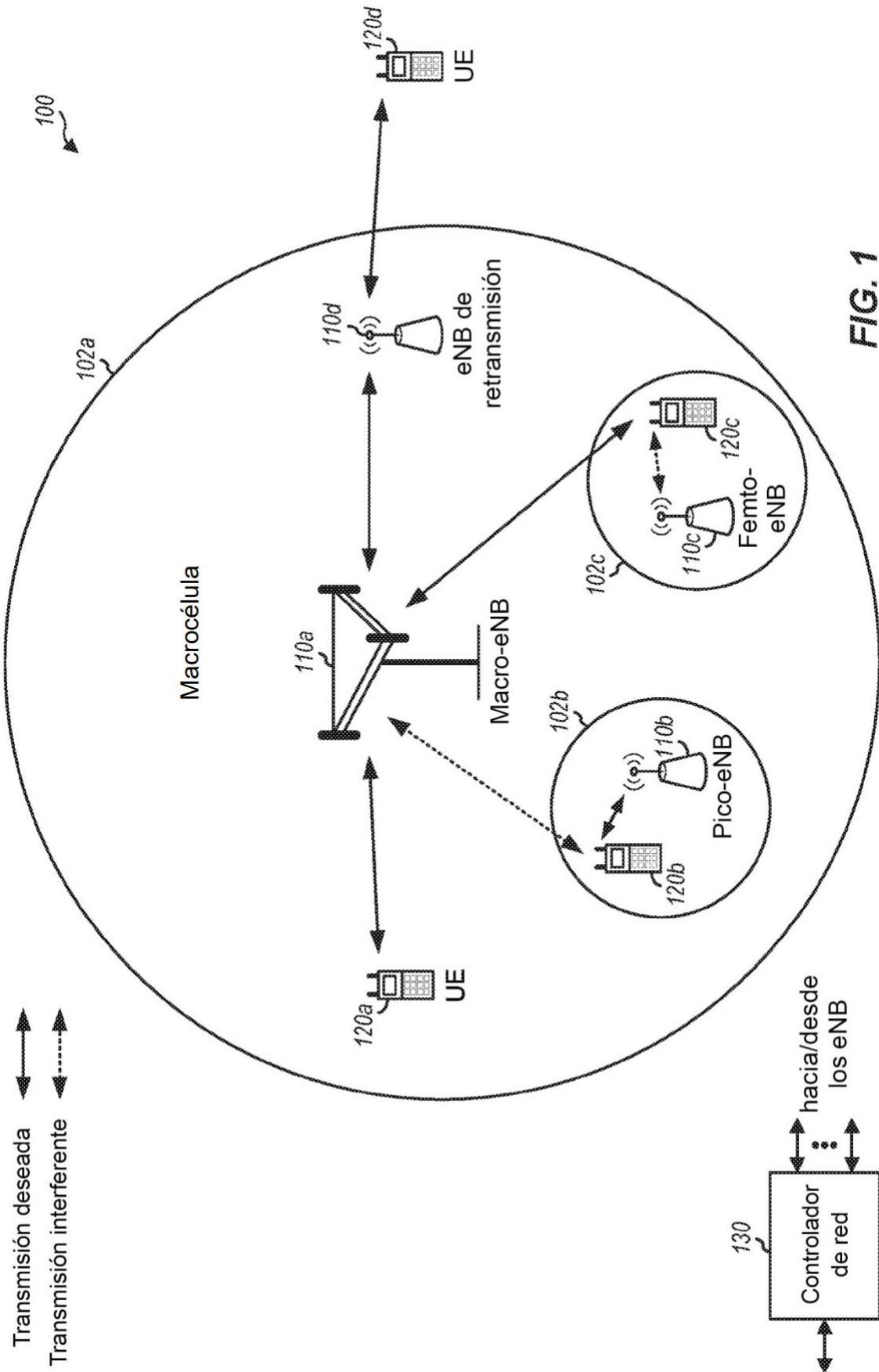


FIG. 1

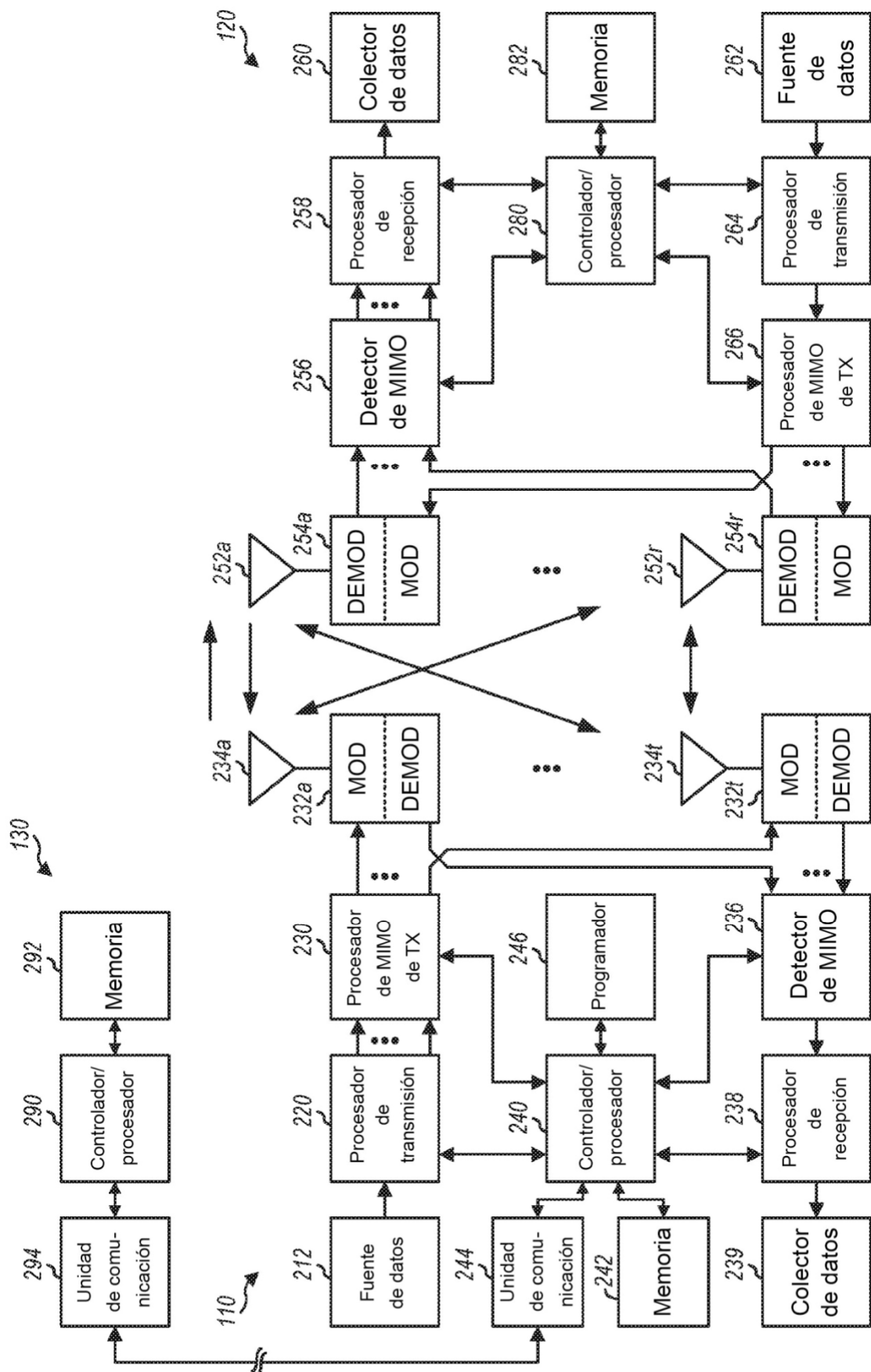


FIG. 2

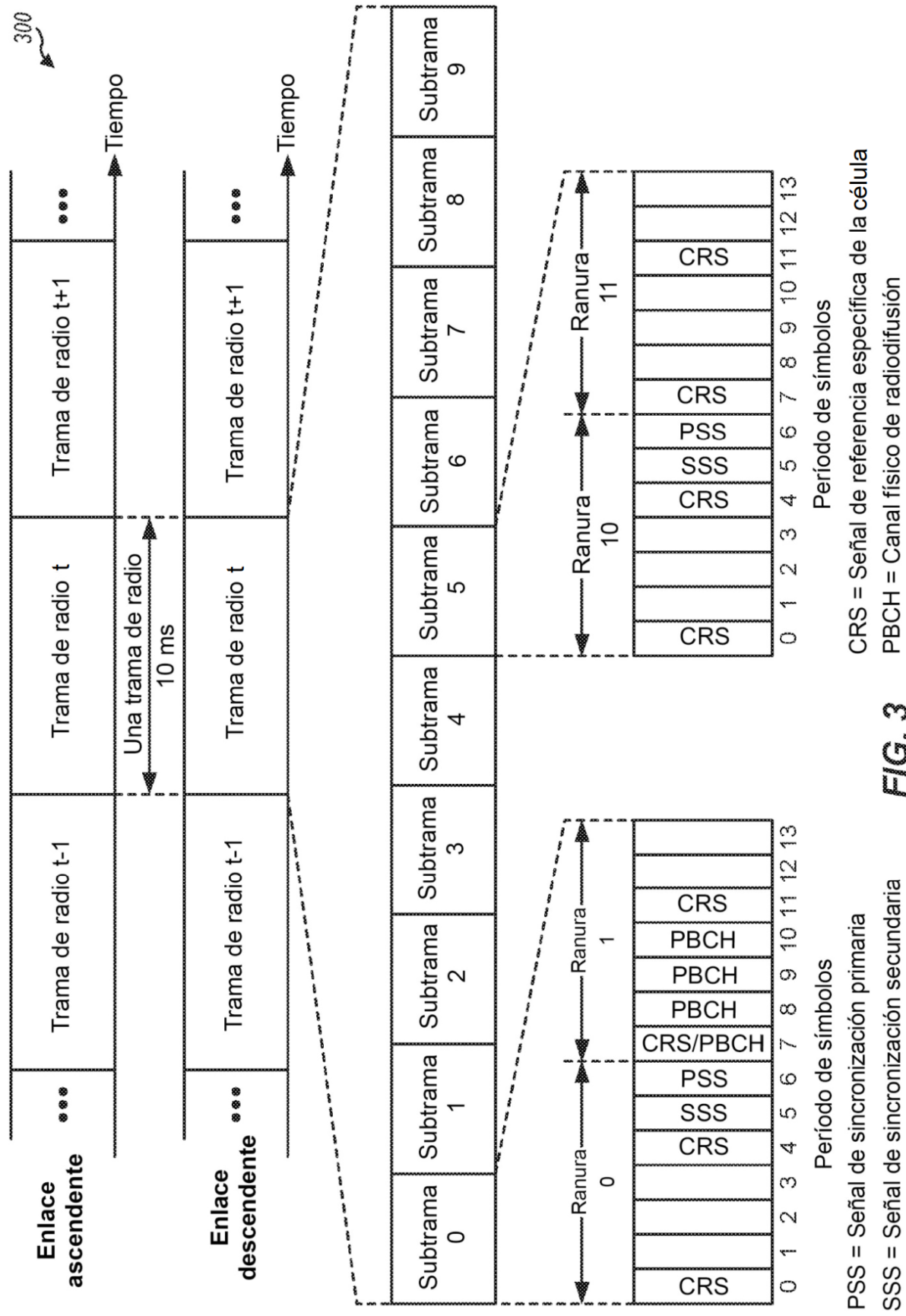


FIG. 3

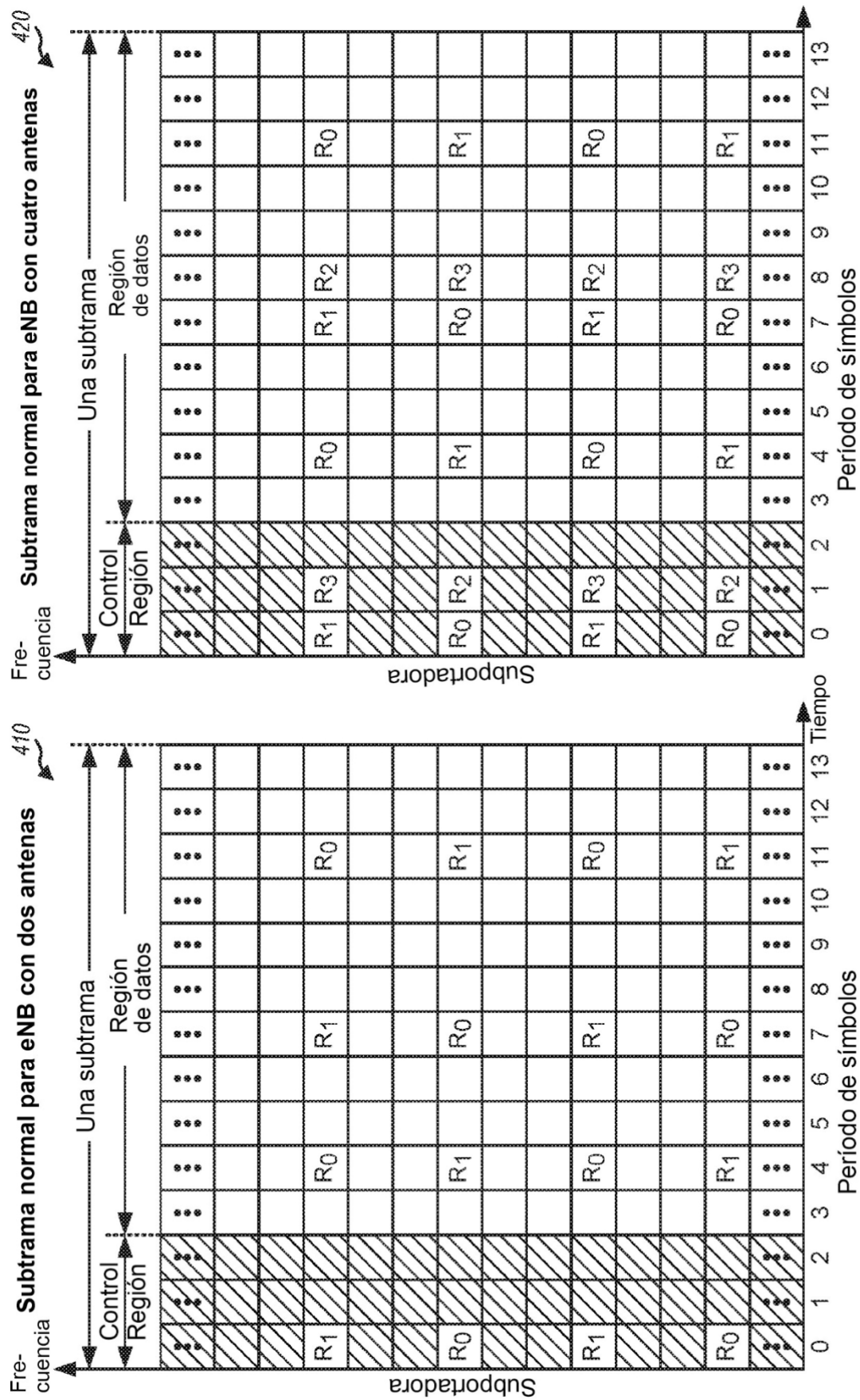


FIG. 4

Ra Símbolo de referencia para antena a

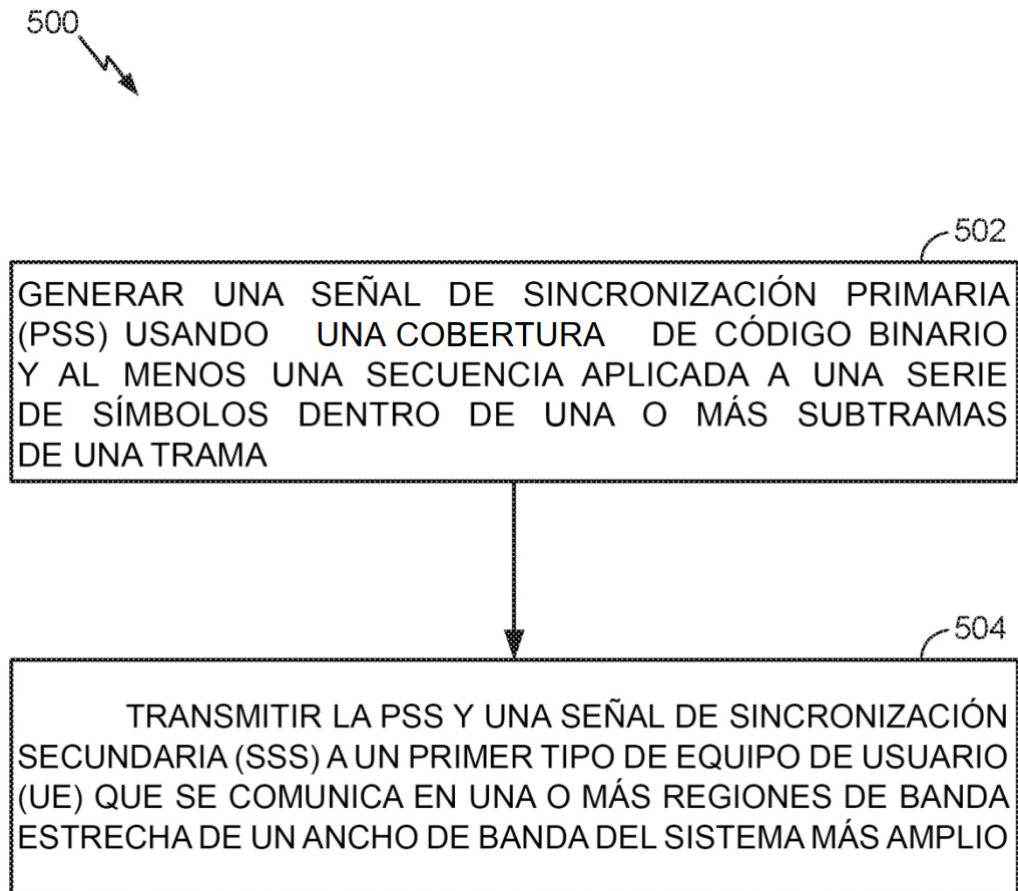


FIG. 5

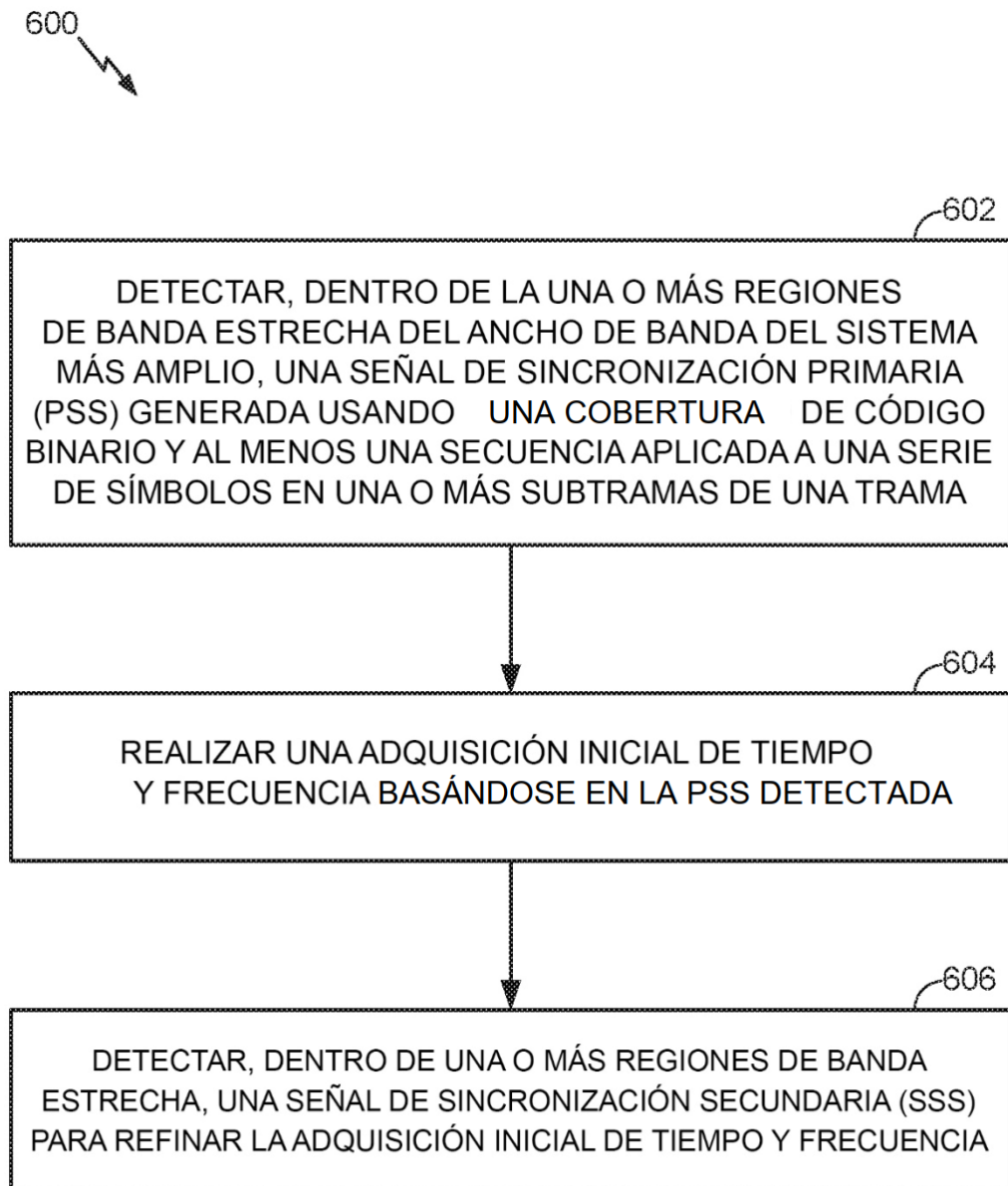


FIG. 6

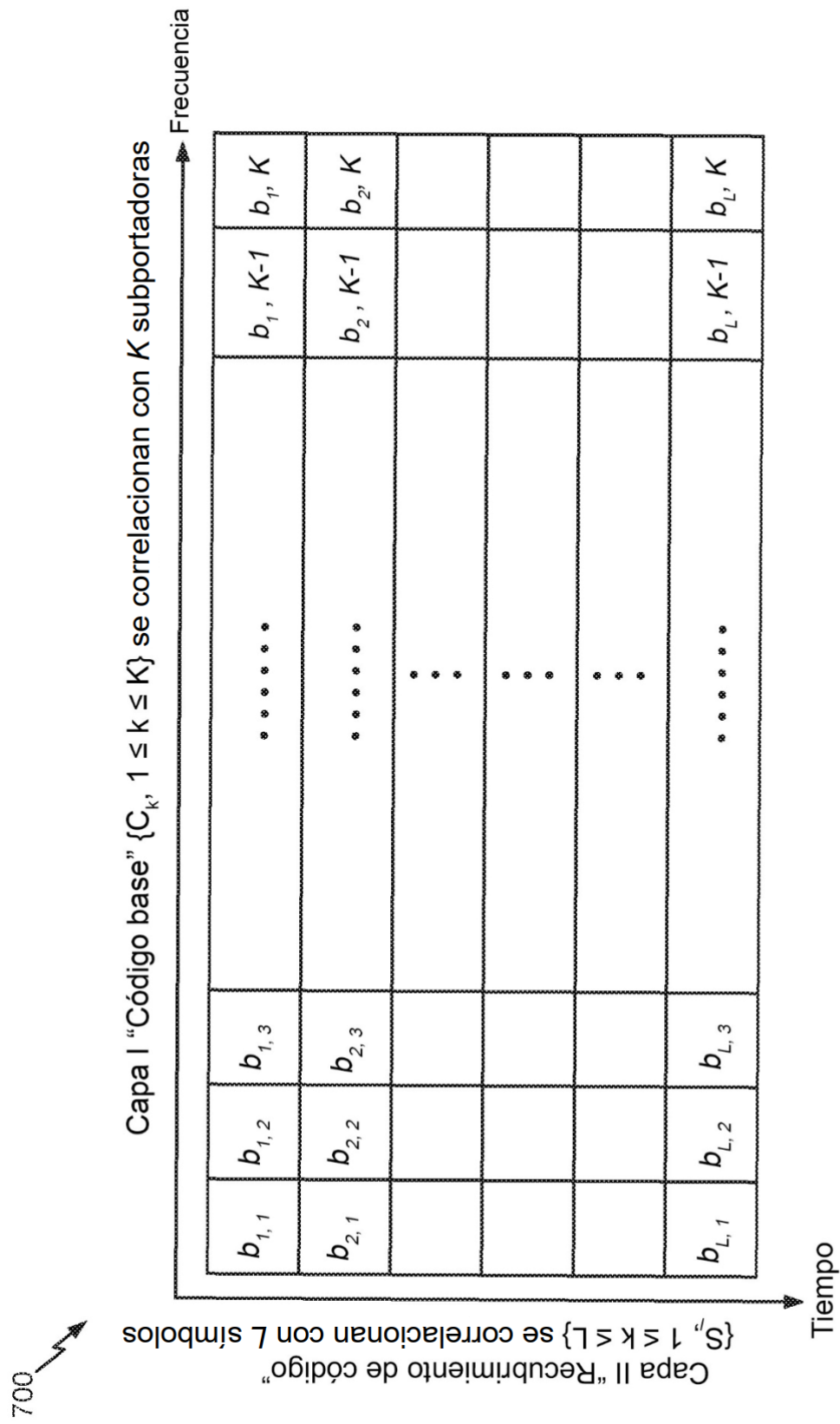


FIG. 7

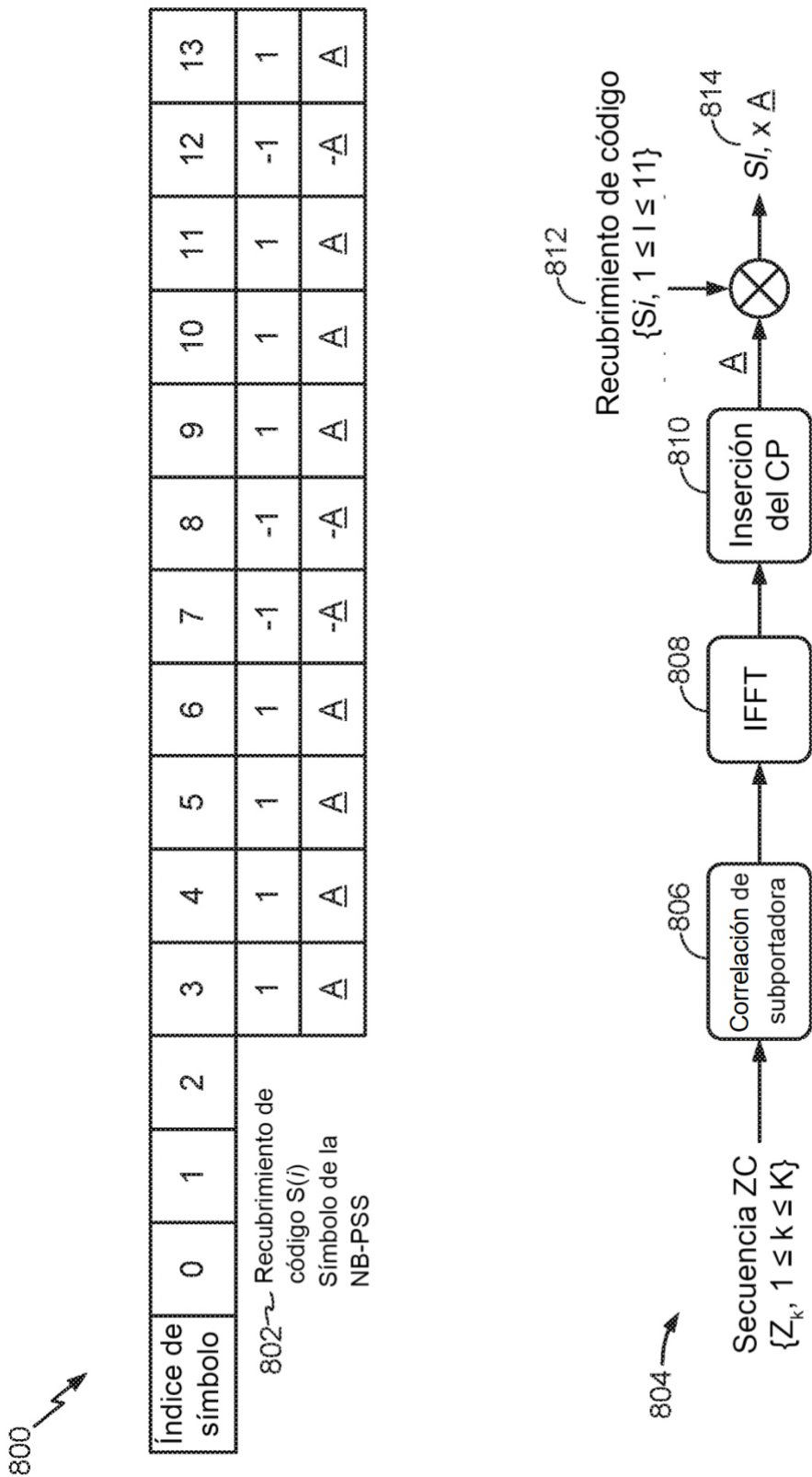


FIG. 8

900 ↗

Símbolo de LTE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
902 ~ Recubrimiento de código $S(i)$														
904 ~ Secuencia base de la NB-PSS														
906 ~ Desplazamiento cíclico en el dominio del tiempo (1,92 MHz)														
908 ~ Rotación de fase en el dominio de la frecuencia (1,92 MHz)														
	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1
	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$	$\{Z_k\}$
	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	0	0	0	0	0	0	0	$\theta_{7,k}$	θ_{6k}	$\theta_{9,k}$	$\theta_{10,k}$	$\theta_{11,k}$	$\theta_{12,k}$	$\theta_{13,k}$

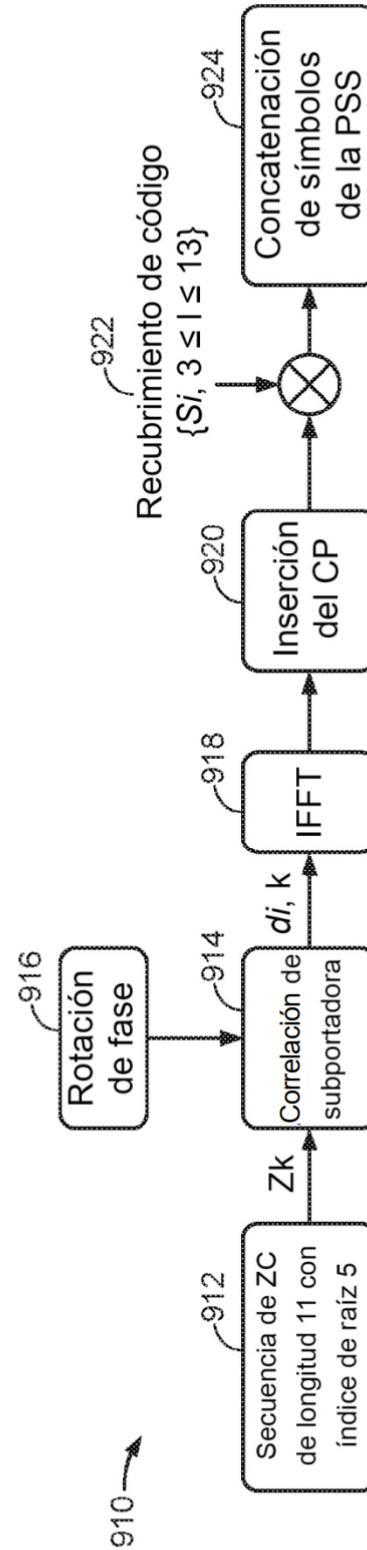


FIG. 9

900A ↗

902A ↗

Símbolo de LTE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
904A ~ Índice de raíz				u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}
906A ~ Desplazamiento cíclico				η_1	η_2	η_3	η_4	η_5	η_6	η_7	η_8	η_9	η_{10}	η_{11}
908A ~ Símbolo de la NB-SSS				B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}	B_{11}

910A ↗

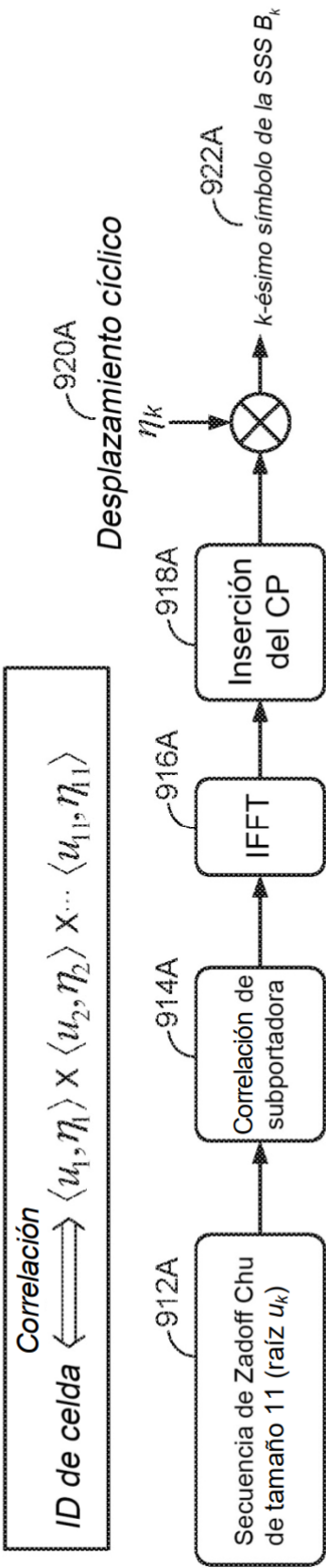


FIG. 9A

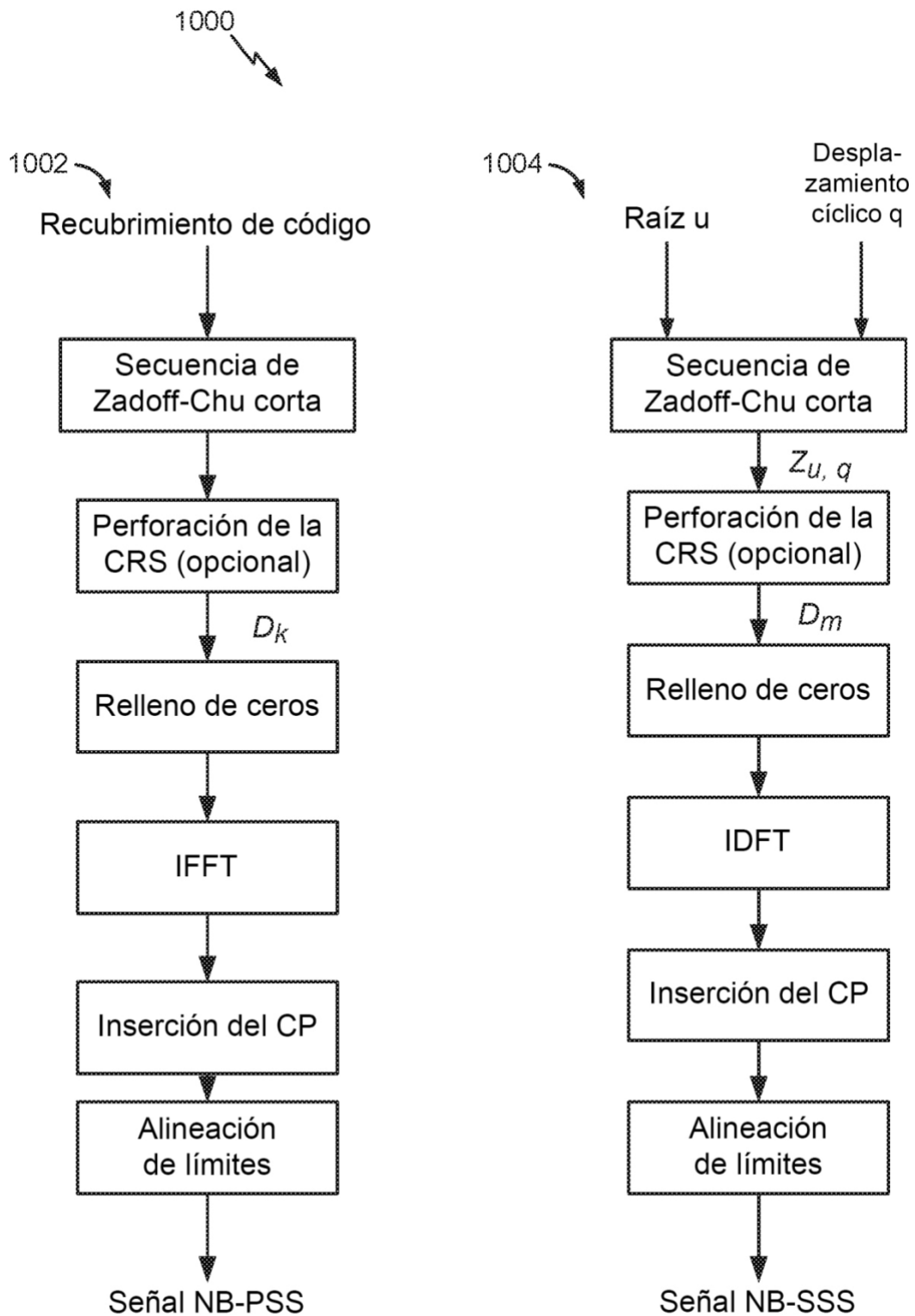


FIG. 10

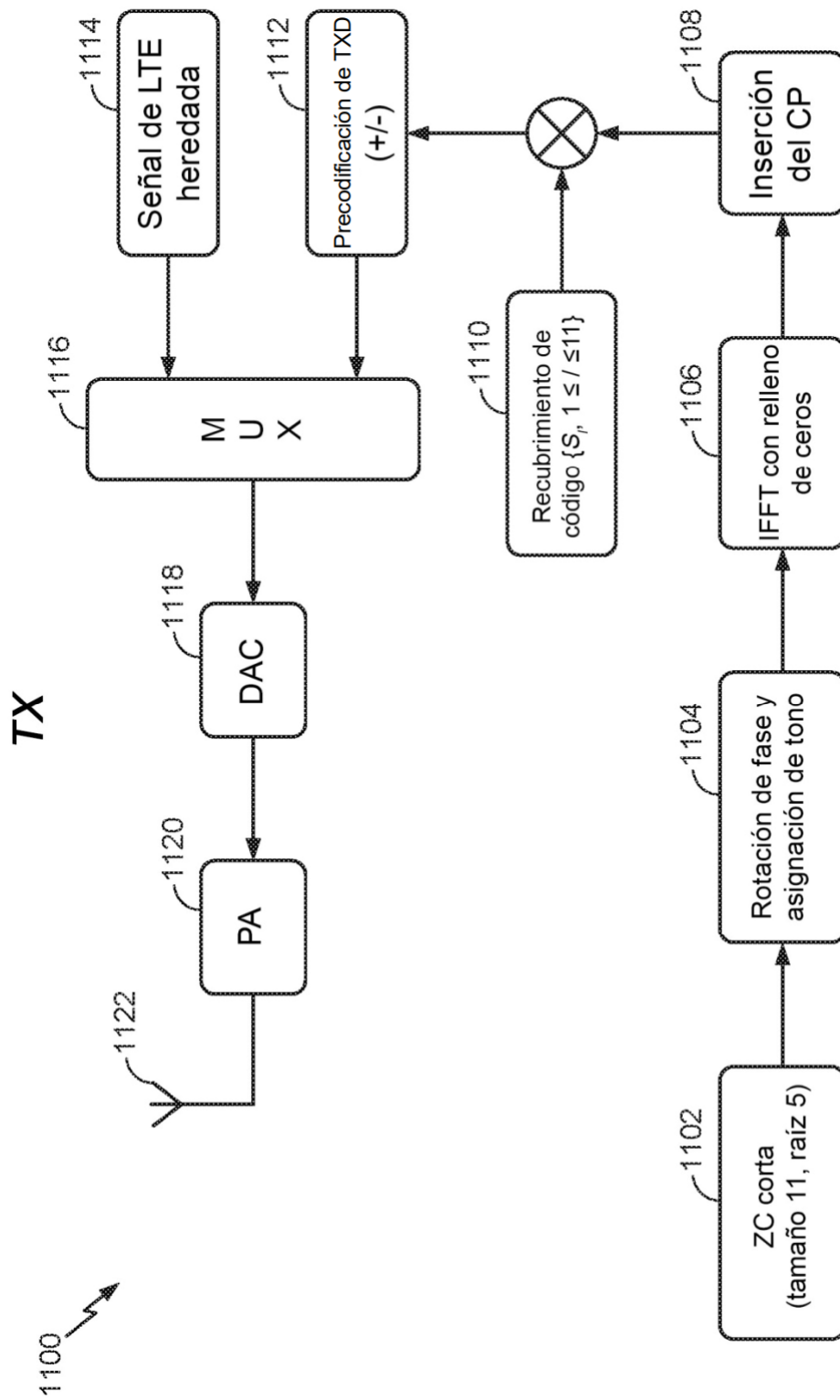


FIG. 11

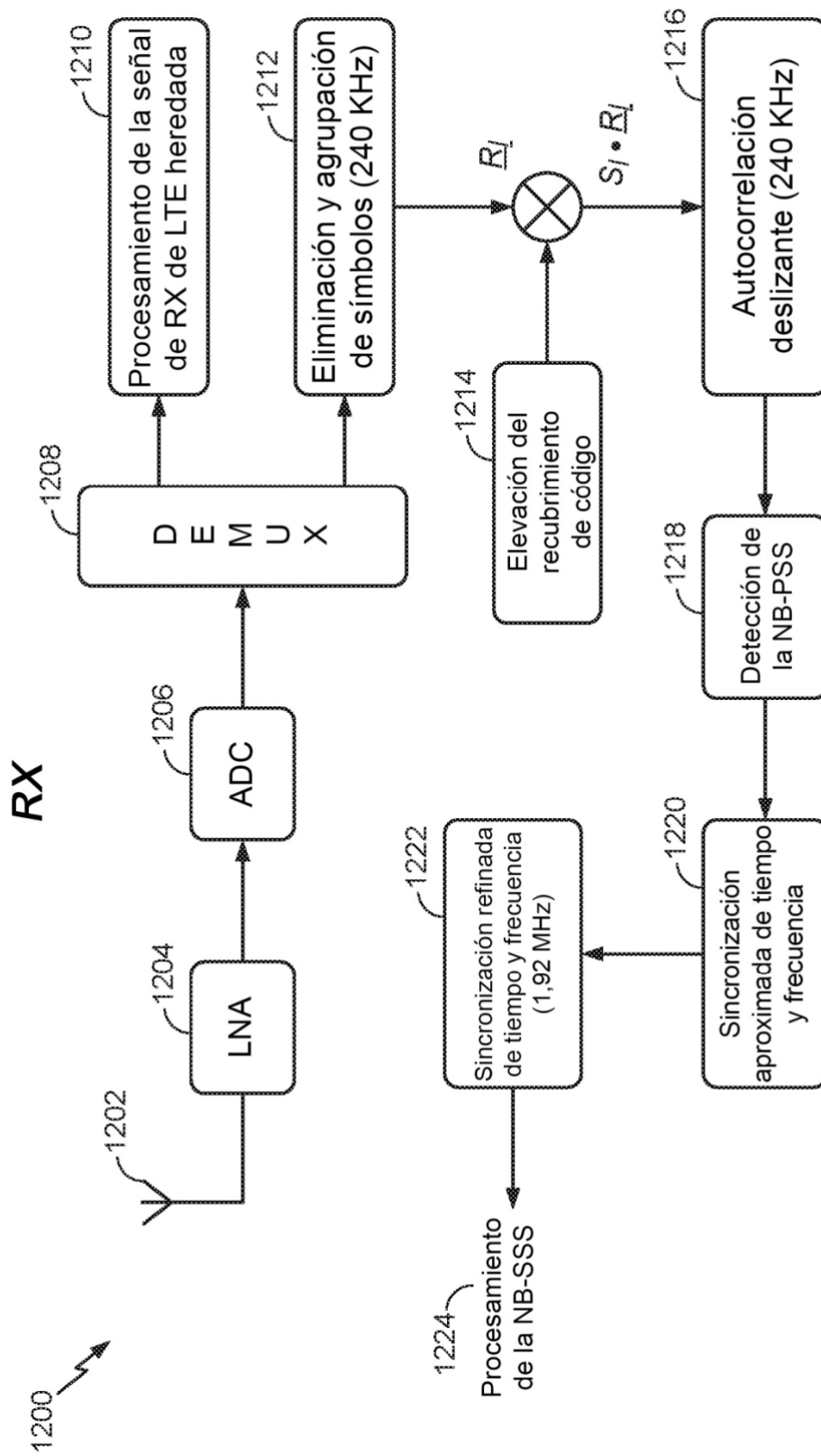
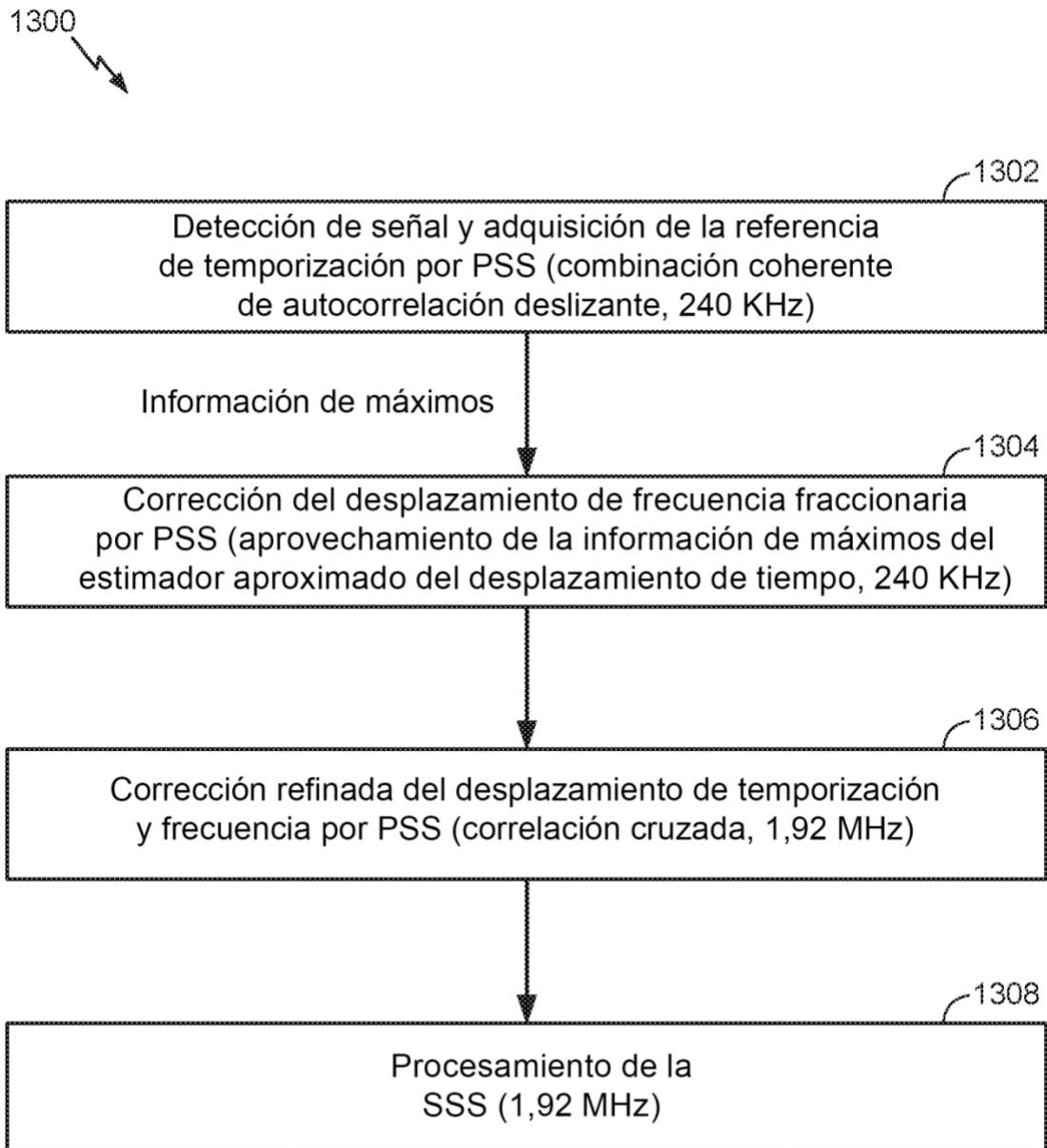


FIG. 12

**FIG. 13**

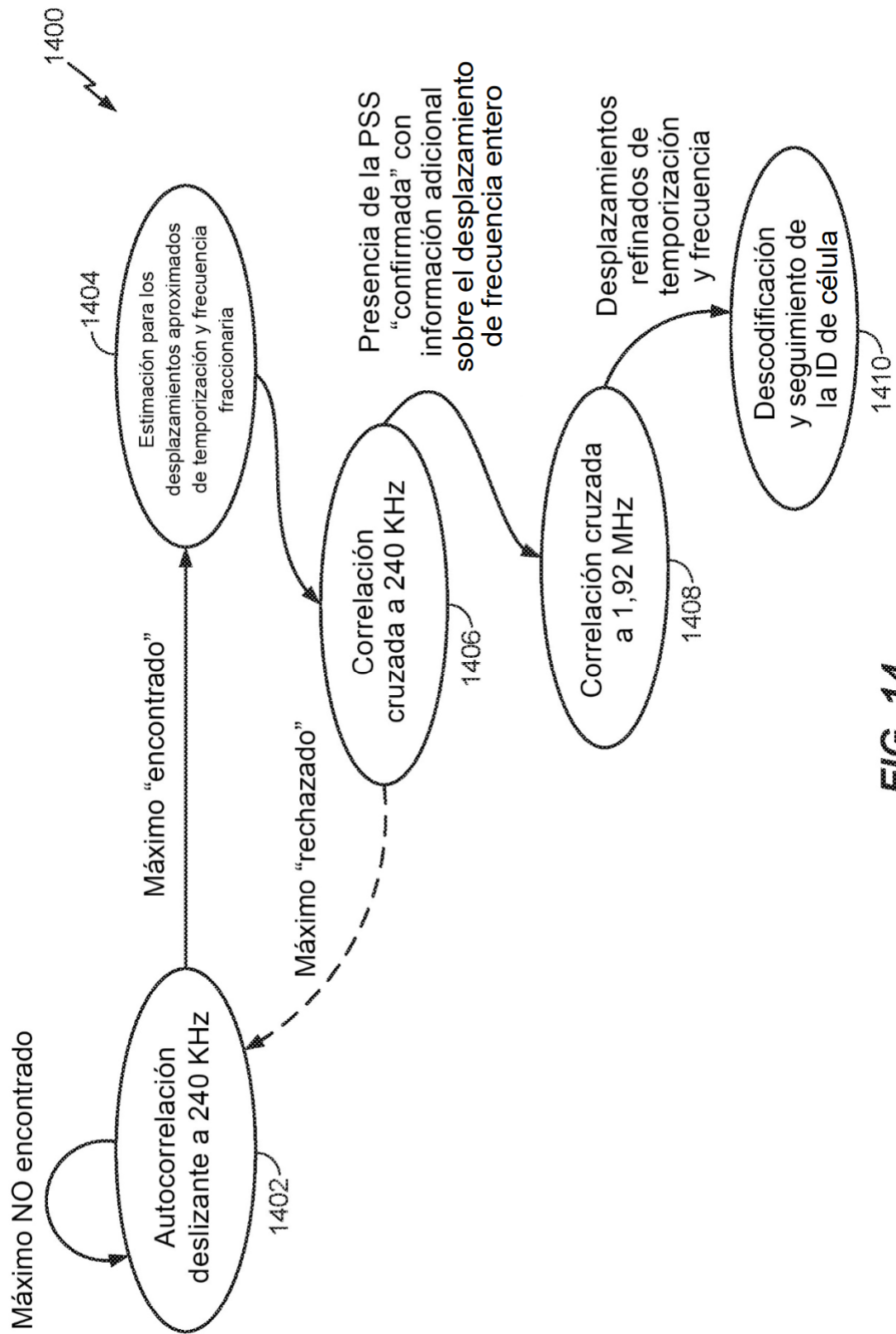


FIG. 14

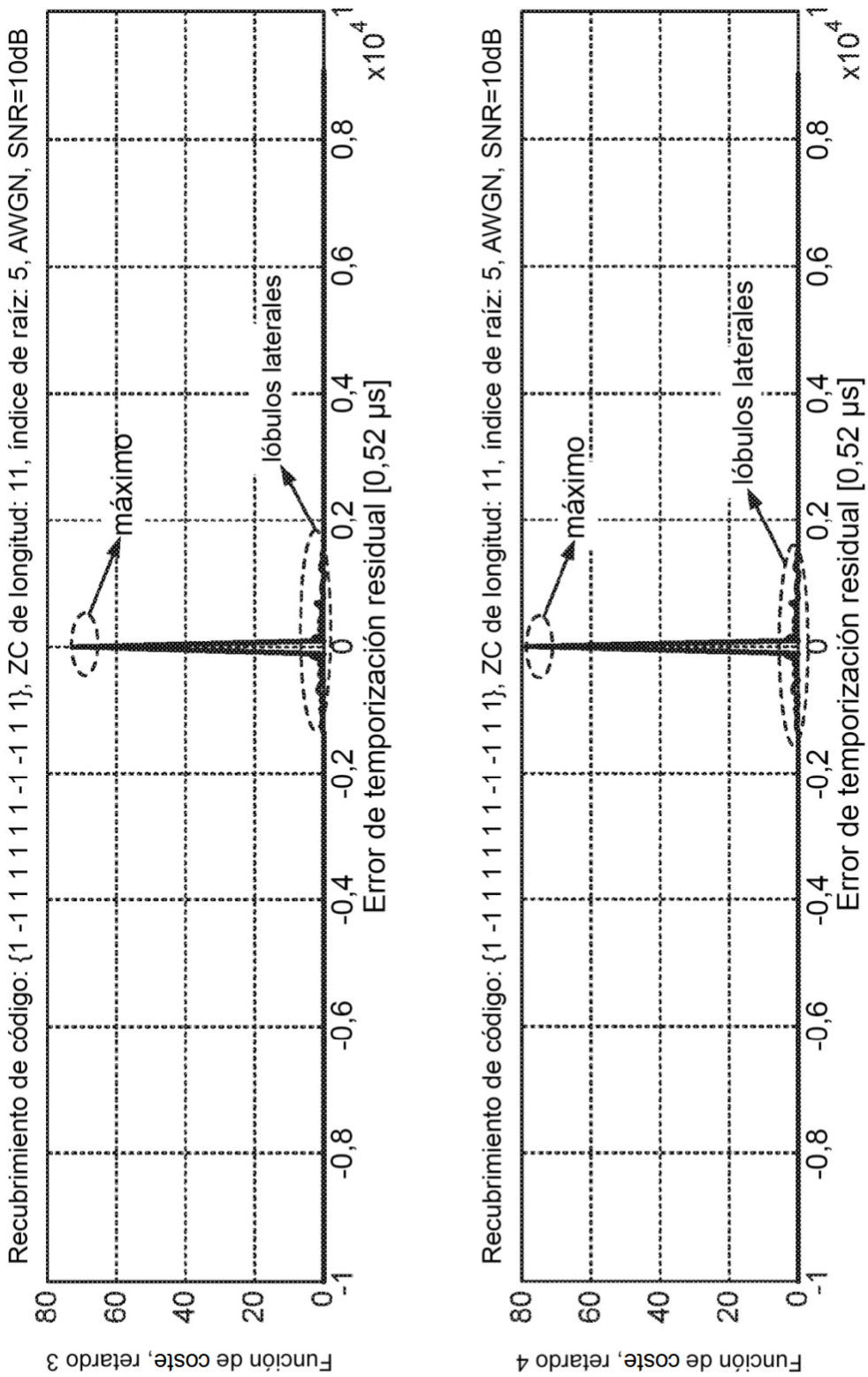


FIG. 15

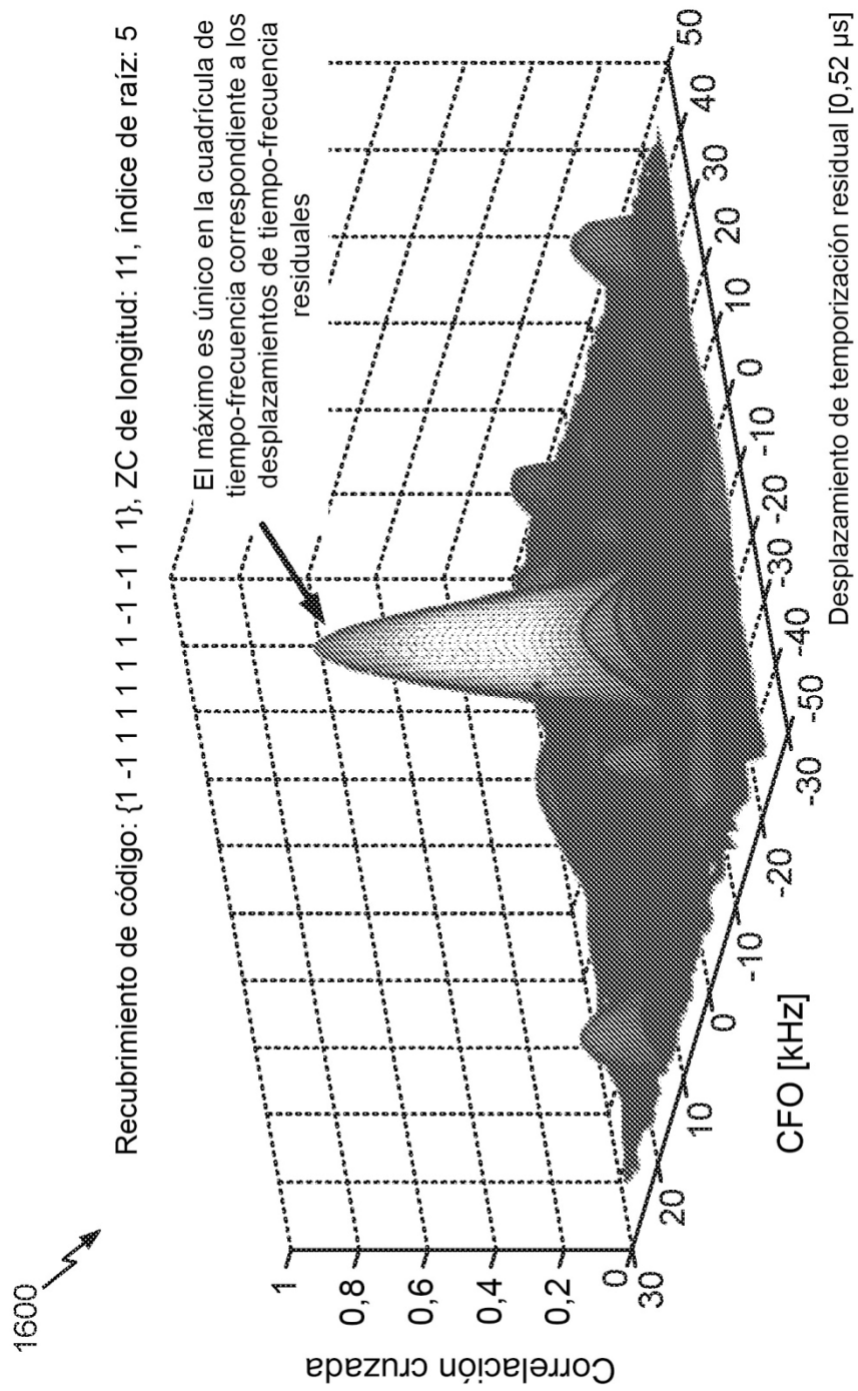
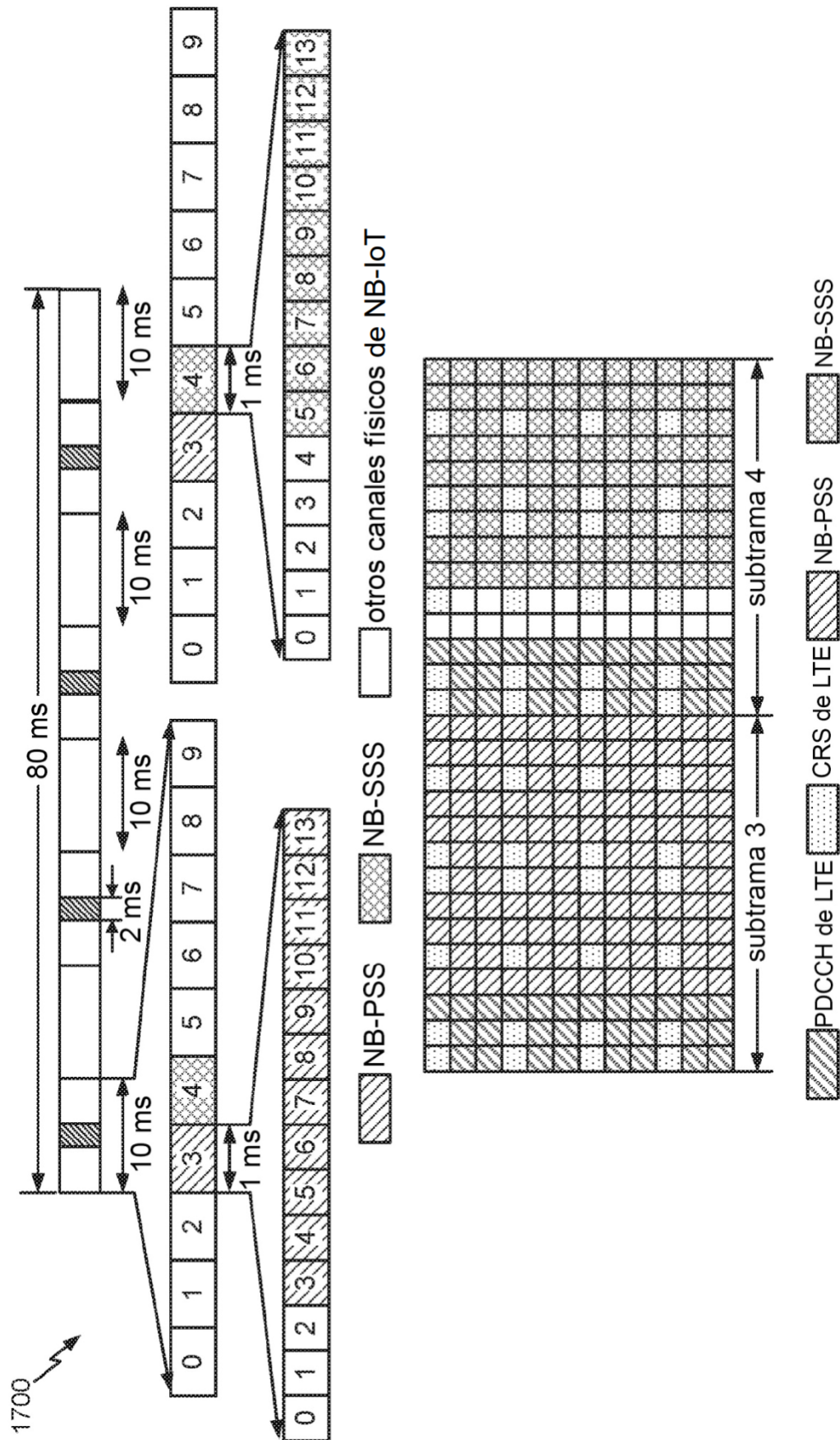
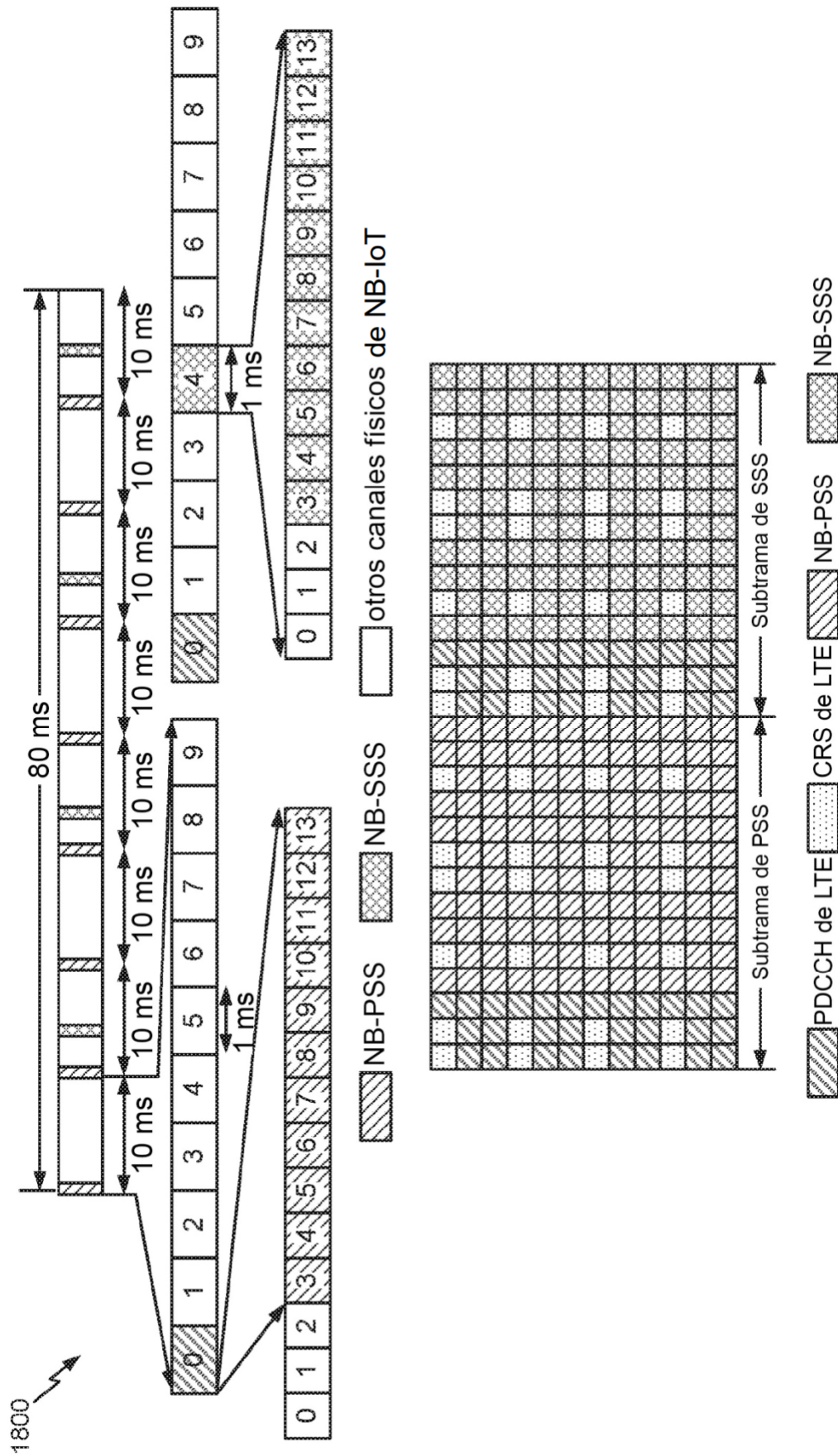
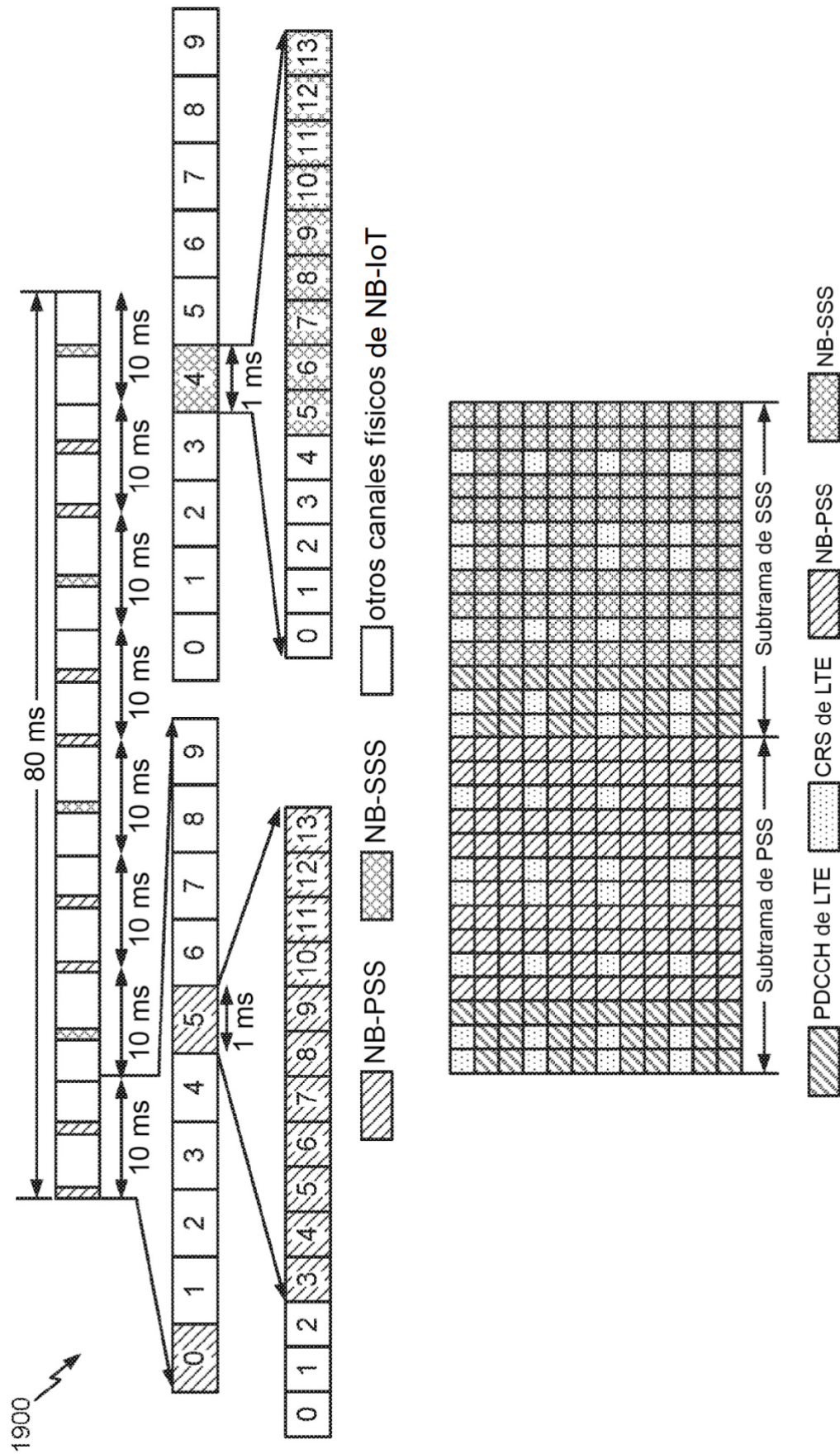


FIG. 16







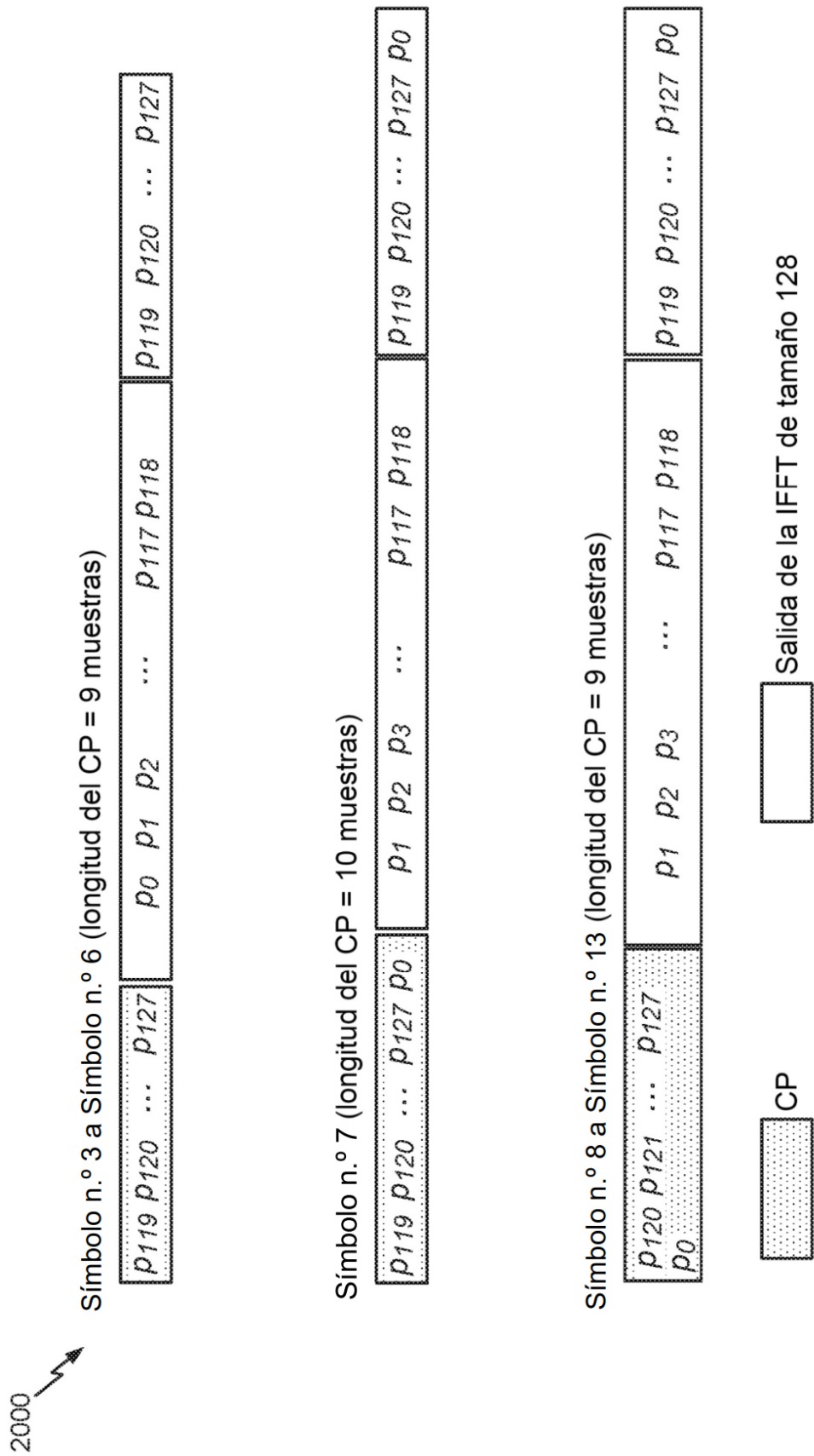


FIG. 20