

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 918 380**

51 Int. Cl.:

H04W 88/08 (2009.01)
H03M 7/30 (2006.01)
H04L 12/24 (2006.01)
H04W 16/10 (2009.01)
H04W 72/12 (2009.01)
H04W 28/16 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.02.2014 E 16175955 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2022 EP 3094155**

54 Título: **Estación base que usa compresión en enlaces a cabezales de radio remotos**

30 Prioridad:

07.02.2013 US 201313762283
07.02.2013 US 201313762284
07.02.2013 US 201313762292

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
15.07.2022

73 Titular/es:

COMMSCOPE TECHNOLOGIES LLC (100.0%)
1100 CommScope Place SE
Hickory, NC 28602, US

72 Inventor/es:

EYUBOGLU, VEDAT;
BARABELL, ARTHUR J. y
SANDBERG, STUART

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 918 380 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

Estación base que usa compresión en enlaces a cabezales de radio remotos

5 Campo técnico

Esta descripción se refiere a las redes de acceso de radio.

10 Antecedentes

El uso generalizado de dispositivos móviles, tales como los teléfonos inteligentes, ha aumentado la demanda de capacidad de transmisión de datos móviles y de cobertura de radiofrecuencia (RF) consistente y de alta calidad en interiores y en otras ubicaciones densamente pobladas. Tradicionalmente, dentro de los edificios, los operadores móviles se apoyan en un Sistema de Antenas Distribuidas (DAS) para permitir que los usuarios se conecten a las redes de los operadores para la transmisión de voz y datos.

El documento US 2012/250740 A1 describe un sistema de estación base remota que usa conexiones punto a punto de Ethernet entre un procesador de estación base y unidades de RF remotas, de manera que los datos se comprimen para su transmisión.

El documento US 2012/057572 A1 describe un sistema de antena distribuida que usa Ethernet para interconectar equipos de radio con un controlador de equipos de radio, de manera que los datos se comprimen para su transmisión.

El documento CN 102 340 823 A describe un sistema de antena remota que incluye unidades remotas de radio evolucionadas y unidades de banda base de edificio evolucionadas que usan diferentes niveles de compresión para PRACH y PUSCH.

El documento US 2012/176980 A1 describe un sistema de estación base remota que usa Ethernet conmutada para la interconexión.

ZHENBO ZHU Y OTROS: "Virtual base station pool: towards a wireless network cloud for radio access networks", COMPUTING FRONTIERS, describe un conjunto de instancias de estación base virtual (VBS) acopladas a cabezales de radio remotos Ethernet que se interconectan a través de una red Ethernet metro conmutada.

35 Resumen

La invención se define por la reivindicación independientemente. Las modalidades ventajosas se definen por las reivindicaciones dependientes.

En un aspecto, esta descripción presenta un sistema de comunicación que comprende unidades remotas y un controlador. Cada una de las unidades remotas comprende una o más unidades de radiofrecuencia (RF) para intercambiar señales de RF con los dispositivos móviles. Al menos algunas de las señales de RF comprenden información destinada a o procedente de, un dispositivo móvil. El controlador comprende uno o más módems y se conecta a una red externa. Al menos uno de los módems es un módem de banda base y se configura para pasar los primeros datos correspondientes a la información. El al menos uno de los módems se configura para realizar la programación en tiempo real de los primeros datos correspondientes a la información. El controlador se separa de las unidades remotas por una red intermedia. La red intermedia comprende una red Ethernet conmutada a través de la cual los segundos datos correspondientes a la información se llevan en tramas entre el controlador y las unidades remotas.

En otro aspecto, esta descripción presenta un sistema de comunicación que comprende unidades remotas, una fuente de temporización de referencia, un controlador, un reloj del controlador y un reloj de la unidad remota. Las unidades remotas intercambian señales de radiofrecuencia (RF) con los dispositivos móviles. Al menos algunas de las señales de RF comprenden información destinada a o procedente de, un dispositivo móvil. La fuente de temporización de referencia se sincroniza con un tiempo universal coordinado (UTC) o con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El controlador comprende uno o más módems y se conecta a una red externa. Al menos uno de los módems es un módem de banda base y se configura para pasar los primeros datos correspondientes a la información. El controlador se separa de las unidades remotas por una red intermedia a través de la cual los segundos datos correspondientes a la información se transmiten en tramas entre el controlador y las unidades remotas. Los segundos datos comprenden datos de banda base. El reloj del controlador se sincroniza con la fuente de temporización de referencia. El reloj del controlador proporciona información de temporización al controlador. El reloj de la unidad remota se sincroniza con el reloj del controlador. El reloj de la unidad remota proporciona información de temporización a una unidad remota. El controlador y la unidad remota se configuran para transmitir mensajes de sello de tiempo para sincronizar el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota. El controlador y las unidades remotas se configuran para transmitir los mensajes de sello de tiempo al evitar la contención entre las transmisiones de sello de tiempo y las transmisiones de datos de banda base o entre las transmisiones de sello de tiempo de diferentes unidades remotas al

controlador.

En otro aspecto, la descripción presenta un sistema de comunicación que comprende unidades remotas y un controlador. Las unidades remotas intercambian señales de radiofrecuencia (RF) con los dispositivos móviles. Al menos algunas de las señales de RF comprenden información destinada a o procedente de, un dispositivo móvil. El controlador comprende uno o más módems y se conecta a una red externa. Al menos uno de los módems es un módem de banda base y se configura para pasar los primeros datos correspondientes a la información. El controlador se separa de las unidades remotas por una red intermedia a través de la cual los segundos datos correspondientes a la información se llevan en tramas entre el controlador y las unidades remotas. Los segundos datos comprenden datos de banda base y la red intermedia se configura para transportar en tramas los datos de banda base. Al menos algunos de los datos de banda base se comprimen en un dominio de la frecuencia. Las unidades remotas y el controlador se configuran para comprimir los datos de banda base para su transmisión a través de la red intermedia.

En otro aspecto, esta descripción presenta un sistema de comunicación que comprende unidades remotas y un controlador. Cada una de las unidades remotas comprende una o más unidades de radiofrecuencia (RF) para intercambiar señales de RF con los dispositivos móviles. Al menos algunas de las señales de RF comprenden información destinada a o procedente de, un dispositivo móvil. El controlador comprende uno o más módems y se conecta a una red externa. Al menos uno de los módems es un módem de banda base y se configura para pasar los primeros datos correspondientes a la información. El al menos uno de los módems se configura para realizar la programación en tiempo real de los primeros datos correspondientes a la información. El controlador se separa de las unidades remotas por una red intermedia. La red intermedia comprende una red Ethernet conmutada a través de la cual los segundos datos correspondientes a la información se llevan en tramas entre el controlador y las unidades remotas.

En otro aspecto, esta descripción presenta un sistema de comunicación que comprende unidades remotas, una fuente de temporización de referencia, un controlador, un reloj del controlador y un reloj de la unidad remota. Las unidades remotas intercambian señales de radiofrecuencia (RF) con los dispositivos móviles. Al menos algunas de las señales de RF comprenden información destinada a o procedente de, un dispositivo móvil. La fuente de temporización de referencia se sincroniza con un tiempo universal coordinado (UTC) o con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El controlador comprende uno o más módems y se conecta a una red externa. Al menos uno de los módems es un módem de banda base y se configura para pasar los primeros datos correspondientes a la información. El controlador se separa de las unidades remotas por una red intermedia a través de la cual los segundos datos correspondientes a la información se transmiten en tramas entre el controlador y las unidades remotas. Los segundos datos comprenden datos de banda base. El reloj del controlador se sincroniza con la fuente de temporización de referencia. El reloj del controlador proporciona información de temporización al controlador. El reloj de la unidad remota se sincroniza con el reloj del controlador. El reloj de la unidad remota proporciona información de temporización a una unidad remota. El controlador y la unidad remota se configuran para transmitir mensajes de sello de tiempo para sincronizar el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota. El controlador y las unidades remotas se configuran para transmitir los mensajes de sello de tiempo al evitar la contención entre las transmisiones de sello de tiempo y las transmisiones de datos de banda base o entre las transmisiones de sello de tiempo de diferentes unidades remotas al controlador.

En otro aspecto, la descripción presenta un sistema de comunicación que comprende unidades remotas y un controlador. Las unidades remotas intercambian señales de radiofrecuencia (RF) con los dispositivos móviles. Al menos algunas de las señales de RF comprenden información destinada a o procedente de, un dispositivo móvil. El controlador comprende uno o más módems y se conecta a una red externa. Al menos uno de los módems es un módem de banda base y se configura para pasar los primeros datos correspondientes a la información. El controlador se separa de las unidades remotas por una red intermedia a través de la cual los segundos datos correspondientes a la información se llevan en tramas entre el controlador y las unidades remotas. Los segundos datos comprenden datos de banda base y la red intermedia se configura para transportar en tramas los datos de banda base. Al menos algunos de los datos de banda base se comprimen en un dominio de la frecuencia. Las unidades remotas y el controlador se configuran para comprimir los datos de banda base para su transmisión a través de la red intermedia.

En otro aspecto, esta descripción presenta un sistema de comunicación que comprende unidades remotas y un controlador. Cada una de las unidades remotas comprende una o más unidades de radiofrecuencia (RF) para intercambiar señales de RF con los dispositivos móviles. Al menos algunas de las señales de RF comprenden información destinada a o procedente de, un dispositivo móvil. El controlador comprende uno o más módems y se conecta a una red externa. Al menos uno de los módems es un módem de banda base y se configura para pasar los primeros datos correspondientes a la información. El al menos uno de los módems se configura para realizar la programación en tiempo real de los primeros datos correspondientes a la información. El controlador se separa de las unidades remotas por una red intermedia. La red intermedia comprende una red Ethernet conmutada a través de la cual los segundos datos correspondientes a la información se llevan en tramas entre el controlador y las unidades remotas.

En otro aspecto, esta descripción presenta un sistema de comunicación que comprende unidades remotas, una fuente de temporización de referencia, un controlador, un reloj del controlador y un reloj de la unidad remota. Las unidades

remotas intercambian señales de radiofrecuencia (RF) con los dispositivos móviles. Al menos algunas de las señales de RF comprenden información destinada a o procedente de, un dispositivo móvil. La fuente de temporización de referencia se sincroniza con un tiempo universal coordinado (UTC) o con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El controlador comprende uno o más módems y se conecta a una red externa. Al menos uno de los módems es un módem de banda base y se configura para pasar los primeros datos correspondientes a la información. El controlador se separa de las unidades remotas por una red intermedia a través de la cual los segundos datos correspondientes a la información se transmiten en tramas entre el controlador y las unidades remotas. Los segundos datos comprenden datos de banda base. El reloj del controlador se sincroniza con la fuente de temporización de referencia. El reloj del controlador proporciona información de temporización al controlador. El reloj de la unidad remota se sincroniza con el reloj del controlador. El reloj de la unidad remota proporciona información de temporización a una unidad remota. El controlador y la unidad remota se configuran para transmitir mensajes de sello de tiempo para sincronizar el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota. El controlador y la unidad remota se configuran para transmitir los mensajes de sello de tiempo al evitar la contención entre las transmisiones de sello de tiempo y las transmisiones de datos de banda base o entre las transmisiones de sello de tiempo de diferentes unidades remotas al controlador.

En otro aspecto, la descripción presenta un sistema de comunicación que comprende unidades remotas y un controlador. Las unidades remotas intercambian señales de radiofrecuencia (RF) con los dispositivos móviles. Al menos algunas de las señales de RF comprenden información destinada a o procedente de, un dispositivo móvil. El controlador comprende uno o más módems y se conecta a una red externa. Al menos uno de los módems es un módem de banda base y se configura para pasar los primeros datos correspondientes a la información. El controlador se separa de las unidades remotas por una red intermedia a través de la cual los segundos datos correspondientes a la información se llevan en tramas entre el controlador y las unidades remotas. Los segundos datos comprenden datos de banda base y la red intermedia se configura para transportar en tramas los datos de banda base. Al menos algunos de los datos de banda base se comprimen en un dominio de la frecuencia. Las unidades remotas y el controlador se configuran para comprimir los datos de banda base para su transmisión a través de la red intermedia.

Los aspectos de la descripción también pueden incluir una o más de las siguientes características. La red intermedia comprende múltiples conmutadores. La red externa comprende Internet. Los dispositivos móviles son dispositivos de comunicación celular que se comunican mediante el uso del estándar de evolución a largo plazo (LTE). Las unidades remotas se configuran para realizar algunas funciones de módem. El controlador carece de funcionalidad de radio de RF. La red Ethernet conmutada comprende múltiples conmutadores. Al menos uno de los múltiples conmutadores se conecta a al menos una unidad remota a través de un enlace Ethernet de 1 gigabit/segundo. Cada unidad remota comprende múltiples antenas de RF y se configura para transmitir y/o recibir señales de RF de uno o más dispositivos móviles simultáneamente a través de uno o más canales de radio. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para asociar uno o más de los módems con una o más de las unidades remotas para de esta manera configurar las celdas de comunicación que comprenden una o más unidades remotas. El uno o más dispositivos de procesamiento se programan para asociar uno o más de los módems con una o más de las unidades remotas para de esta manera configurar las celdas de comunicación dinámicamente. El uno o más módems controlan un conjunto de unidades remotas a través de la red Ethernet conmutada para formar una celda, cada unidad remota en la celda que comprende una o más antenas, la una o más antenas que se asocian con un identificador de celda común. El identificador de celda común comprende el ID de celda de evolución a largo plazo (LTE). Todas las unidades remotas asociadas con la celda se configuran para comunicarse a través de un único canal de evolución a largo plazo (LTE). Cada unidad remota asociada con la celda comprende un par de antenas y al menos dos pares de antenas de unidades remotas asociadas con la celda son controlables para comunicarse con un único par de antenas en un único dispositivo móvil. Cada unidad remota asociada con la celda comprende una o más antenas. Cada antena corresponde a un puerto de antena virtual. Todas las antenas que se asignan a un mismo puerto de antena virtual transmiten en simultáneo una señal común. Las unidades remotas que se asignan al mismo puerto de antena virtual llevan las mismas señales de referencia del enlace descendente LTE asociadas con el mismo puerto de antena virtual. El puerto de antena virtual incluye un ID de codificación de la Señal de Referencia de Información de Estado del Canal (CSI-RS). El dispositivo móvil envía más de una retroalimentación de Información de Estado del Canal (CSI). Cada una de las antenas de las unidades remotas se asigna a un puerto de antena virtual diferente. Las unidades remotas en la celda se sincronizan para comunicarse mediante el uso de una misma frecuencia. Las unidades remotas en la celda se configuran para implementar un protocolo de sincronización que se basa en la red para efectuar la sincronización. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para modificar una asociación de uno o más de los módems con una o más de las unidades remotas para de esta manera reconfigurar las celdas de comunicación existentes que se definen por una o más unidades remotas. La reconfiguración de las celdas de comunicación existentes comprende dividir al menos una celda de comunicación existente en dos o más celdas de comunicación nuevas. La reconfiguración de las celdas de comunicación existentes comprende combinar al menos dos celdas de comunicación existentes en una única celda de comunicación nueva. El controlador se configura para modificar la asociación en base a los comandos que se reciben de un sistema de gestión. El controlador se configura para modificar la asociación en base a la hora del día. El controlador se configura para modificar la asociación en base a los cambios en la distribución de la demanda de capacidad de comunicación. La celda se configura para dividirse virtualmente para enviar datos a dos o más dispositivos móviles en los mismos recursos sin interferencia sustancial en base al aislamiento de radiofrecuencia entre los dos o más dispositivos móviles. Los recursos son recursos de

tiempo-frecuencia de la evolución a largo plazo (LTE). El controlador se configura para determinar qué dispositivos móviles envían datos en el mismo recurso en base a las señales que se reciben de los dispositivos móviles. Los dispositivos móviles comprenden receptores y los datos que se envían a los receptores por las unidades remotas en la celda no está en el recurso de tiempo-frecuencia. La celda se configura para dividirse virtualmente para recibir información de dos o más dispositivos móviles en los mismos recursos sin interferencia sustancial en base al aislamiento de radiofrecuencia entre los dos o más dispositivos móviles. Dos o más dispositivos móviles usan la misma secuencia de referencia de demodulación. Los dos o más dispositivos móviles usan el mismo recurso del PUCCH que consiste en un desplazamiento cíclico y un código de cobertura ortogonal. El controlador se configura para detectar transmisiones de preámbulo del RACH de los dos o más dispositivos móviles que se envían en la misma oportunidad del PRACH. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para asociar uno o más módems adicionales con una o más de las unidades remotas en respuesta a un cambio en la demanda de capacidad de comunicación. En respuesta a una disminución en la demanda de capacidad de la red, el uno o más dispositivos de procesamiento se programan para consolidar la una o más unidades remotas entre un número en disminución de uno o más módems. La celda es una primera celda y el módem es un primer módem; y el uno o más módems comprenden un segundo módem que se programa para controlar un segundo conjunto de las unidades remotas a través de la red Ethernet conmutada para formar una segunda celda, cada unidad de RF en la segunda celda que comprende una o más segundas antenas, la una o más segundas antenas, que se asocian con un segundo identificador de celda común. La primera celda y la segunda celda comprenden diferentes números de unidades remotas, diferentes formas y/o transmiten señales de radio que cubren áreas de diferentes tamaños. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para asociar el primer y el segundo módem con diferentes unidades remotas con el fin de cambiar dinámicamente la forma y/o el área que se cubre por cada una de la primera celda o la segunda celda. El primer y el segundo módem se colocan con el controlador y el controlador coordina las transmisiones del primer y del segundo módem para reducir la interferencia entre la primera y la segunda celda. Al menos una unidad remota se configura para intercambiar señales Wi-Fi con un dispositivo correspondiente. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para recibir los segundos datos de la red Ethernet conmutada y para procesar los segundos datos para generar los primeros datos. Al menos algunas de las unidades remotas se configuran para recibir potencia a través de la red Ethernet conmutada. El controlador y las unidades remotas se configuran para comunicarse mediante el uso del protocolo IEEE 1588. El sistema de comunicación también incluye un administrador de red en comunicación con el controlador que dirige la operación del controlador. La red externa comprende una red central del operador y el administrador de red se ubica en la red central del operador. El administrador de red se ubica localmente con respecto al controlador. Dos o más unidades remotas se configuran para enviar los segundos datos a un dispositivo móvil en dos o más canales de RF de modo que el móvil reciba los segundos datos simultáneamente de las dos o más unidades remotas. El controlador se configura para agregar la comunicación de diferentes canales entre el controlador y las unidades remotas y el controlador y la red externa para procesar los primeros datos y para enviar los segundos datos a las unidades remotas.

Los aspectos de la descripción también pueden incluir una o más de las siguientes características. Los primeros datos comprenden datos del Protocolo de Internet (IP) y el controlador se configura para realizar un control de acceso al medio en tiempo real de los datos IP correspondientes a la información. La fuente de temporización de referencia comprende un receptor GPS. El receptor GPS se ubica en el controlador. El controlador y las unidades remotas se configuran para intercambiar sellos de tiempo mediante el uso del protocolo IEEE 1588. El controlador y las unidades remotas comprenden un sistema en chip para generar y procesar los mensajes de sello de tiempo. La red intermedia es una red Ethernet conmutada. La unidad remota usa los mensajes de sello de tiempo para estimar y corregir un error del reloj de la unidad remota. La estimación se basa en un conocimiento a priori sobre los retardos de sello de tiempo del enlace descendente y del enlace ascendente. El conocimiento a priori sobre los retardos de sello de tiempo del enlace descendente y del enlace ascendente comprende una relación entre el retardo de sello de tiempo del enlace descendente y el retardo de sello de tiempo del enlace ascendente. El conocimiento a priori sobre los retardos de sello de tiempo del enlace descendente y del enlace ascendente comprende una relación de un retardo promedio de sello de tiempo del enlace descendente a un retardo promedio de sello de tiempo del enlace ascendente. El error comprende un error de fase de temporización y la unidad remota se configura para estimar el error de fase de temporización al ponderar y/o desplazar los sellos de tiempo que se miden en el enlace ascendente y el enlace descendente de acuerdo con el conocimiento a priori. Los mensajes de sello de tiempo se transmiten con alta prioridad de acuerdo con el protocolo IEEE 802.1q. Los mensajes de sello de tiempo y los datos de banda base se transmiten en diferentes redes de área local virtuales (VLAN). Los mensajes de sello de tiempo y los datos de banda base se transmiten en la misma red de área local virtual (VLAN) mediante el uso de diferentes marcas de prioridad del protocolo IEEE 802.1q. Los datos de banda base y los mensajes de sello de tiempo se transmiten mediante el uso de puertos Ethernet dedicados y enlaces Ethernet dedicados de la red Ethernet conmutada. El sistema de comunicación comprende una pluralidad de controladores y uno de los controladores es un controlador maestro y se configura para transmitir los mensajes de sello de tiempo con unidades remotas asociadas con el controlador maestro y con unidades remotas asociadas con los otros controladores de la pluralidad de controladores. El controlador se configura para avanzar en el tiempo una subtrama de datos de banda base a suministrar a una unidad remota para compensar un retardo de tiempo entre el reloj de la unidad remota y el reloj del controlador. El controlador se configura para avanzar en el tiempo la subtrama de datos de banda base por una cantidad predeterminada. La cantidad predeterminada se determina en base a un retardo de tiempo para transmitir los datos de banda base a través de la red intermedia. El

controlador se configura para enviar información a los dispositivos móviles para que los dispositivos móviles avancen una fase de temporización de las señales de RF a transmitir a las unidades remotas con relación a las señales de RF que se reciben por los dispositivos móviles desde las unidades remotas. El controlador se configura para aumentar el tiempo de procesamiento disponible para que el controlador procese las transmisiones de datos de banda base al elegir una cantidad de la fase de temporización a avanzar que sea mayor que un retardo de tiempo para transmitir las señales de RF en un viaje de ida y vuelta entre una unidad remota y un dispositivo móvil. Una unidad remota se configura para avanzar en el tiempo las subtramas de los datos de banda base a transmitir al controlador. Las unidades remotas se configuran para comunicarse con el controlador en un canal de comunicación y la frecuencia del canal de comunicación se deriva del reloj del controlador. El reloj del controlador comprende un oscilador de cristal que se configura para generar relojes para el procesamiento de banda base en el controlador. El reloj de la unidad remota comprende un oscilador de cristal que se configura para generar relojes para convertidores analógico-digital-analógico (A/D/A), sintetizadores de RF y/o procesamiento de banda base en cada unidad remota. El controlador y la unidad remota se configuran para transmitir los mensajes de sello de tiempo en múltiples viajes de ida y vuelta entre el controlador y la unidad remota. La unidad remota se configura para ajustar el reloj de la unidad remota en base a una de las transmisiones en los múltiples viajes de ida y vuelta que se considera más fiable para corregir un desplazamiento entre el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota. Una de las transmisiones en los múltiples viajes de ida y vuelta que se considera más fiable comprende una transmisión que predice un desplazamiento más pequeño entre el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota. La unidad remota se configura para no hacer ninguna corrección en el reloj de la unidad remota cuando se considera que no es fiable una estimación de un desplazamiento entre el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota en base a las transmisiones de los mensajes de sello de tiempo. La estimación del desplazamiento se considera que no es fiable cuando la estimación excede un umbral preconfigurado. El reloj del controlador está en acoplamiento directo con la fuente de temporización de referencia y el reloj de la unidad remota no está en acoplamiento directo con la fuente de temporización de referencia.

Los aspectos de la descripción también pueden incluir una o más de las siguientes características. La tasa de transmisión de los datos de banda base a través de la red intermedia es a lo máximo de 1 Gb/s. Los datos de banda base se representan por señales de valor complejo que tienen componentes reales e imaginarios y el controlador se configura para comprimir los datos de banda base al cuantificar las señales de valor complejo en el dominio de la frecuencia para producir datos de banda base cuantificados y para transmitir datos binarios representativos de los datos de banda base cuantificados a las unidades remotas. Las unidades remotas se configuran para reconstruir los datos de banda base cuantificados al recibir los datos de banda base comprimidos. Las unidades remotas se configuran para aplicar una transformada rápida de Fourier inversa en los datos de banda base reconstruidos. El controlador se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso fijo. El controlador se configura para cuantificar independientemente los componentes reales e imaginarios de los datos de banda base en el dominio de la frecuencia. El controlador se configura para enviar información sobre la tasa fija y el tamaño de paso fijo a las unidades remotas cuando las unidades remotas y el controlador se conectan. El controlador se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso ajustable. El controlador se configura para enviar información secundaria sobre la tasa fija y un tamaño de paso a una unidad remota una vez por subtrama. El controlador se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa y un tamaño de paso. Tanto la tasa como el tamaño de paso son ajustables. El controlador ajusta el tamaño de paso de acuerdo con la energía de los datos de banda base cuantificados. El controlador ajusta la tasa de acuerdo con un esquema de modulación y codificación de los datos de banda base. Las señales de RF son compatibles con el estándar de evolución a largo plazo (LTE). El controlador se configura para enviar información secundaria sobre la tasa del cuantificador a una unidad remota para cada uno de los grupos de elementos de recursos (REG) y bloques de recursos físicos (PRB) en cada símbolo de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) de una subtrama. El controlador se configura para comprimir los datos de banda base al no enviar a las unidades remotas ningún dato para los grupos de elementos de recursos (REG) o bloques de recursos físicos (PRB) no usados en cada símbolo de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) de los datos de banda base. Los datos de banda base en el dominio de la frecuencia pertenecen a o se derivan de, una constelación de señales de amplitud discreta y el controlador se configura para comprimir los datos de banda base sin cuantificación al enviar datos binarios que representan las señales de amplitud discreta a las unidades remotas. La constelación de señales de amplitud discreta comprende una constelación de señales de modulación de amplitud en cuadratura (QAM). Las señales de RF llevan símbolos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) y el controlador se configura para enviar los datos binarios a las unidades remotas en el mismo orden en que los símbolos de OFDM correspondientes deben transmitirse por las unidades remotas a través del aire a los dispositivos móviles. Las unidades remotas se configuran para comprimir los datos de banda base al cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia para producir datos de banda base cuantificados y para transmitir datos binarios representativos de los datos de banda base cuantificados al controlador. Una unidad remota se configura para recibir datos en el dominio del tiempo desde el dispositivo móvil y para aplicar una transformada rápida de Fourier a los datos en el dominio del tiempo para producir los datos de banda base en el dominio de la frecuencia. Una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso fijo. Una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso ajustable. Las tramas de los datos de banda base comprenden símbolos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) y la unidad remota se configura

para seleccionar un tamaño de paso en base a una energía promedio de los datos de banda base cuantificados. La energía promedio es un promedio de energías de datos de banda base que pertenecen a un canal de evolución a largo plazo (LTE). La unidad remota se configura para seleccionar un tamaño de paso en base a una distribución de los datos de banda base en el dominio de la frecuencia. La unidad remota se configura para enviar información secundaria sobre el cuantificador al controlador para que el controlador reconstruya los datos de banda base cuantificados que se reciben. Una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa y un tamaño de paso, la tasa y el tamaño de paso ambos que son ajustables. Las tramas de los datos de banda base comprenden subtramas que comprenden bloques de recursos físicos (PRB) LTE y la unidad remota se configura para ajustar la tasa del cuantificador sobre una base por PRB. La unidad remota se configura para seleccionar una tasa del cuantificador en base a un esquema de modulación y codificación de los datos de banda base que se determinan por el controlador. Las unidades remotas se configuran para cuantificar los datos de banda base mediante el uso de cuantificadores que tienen tasas ajustables. Las tasas del cuantificador para los datos de banda base se ajustan de acuerdo con los bloques de recursos LTE. Las tasas del cuantificador se eligen a cero para depurar las transmisiones de los datos de banda base para algunos de los bloques de recursos. El controlador se configura para enviar información secundaria a las unidades remotas y la información se usa por las unidades remotas para determinar las tasas del cuantificador. El controlador se configura para determinar la información secundaria a enviar a las unidades remotas en base a la información que se recibe de los dispositivos móviles. El controlador se configura para determinar la información secundaria en base a una relación señal a ruido más interferencia (SINR) objetivo en el controlador. La información que se recibe de los dispositivos móviles corresponde a las transmisiones de la Señal de Referencia de Sondeo (SRS) de LTE por los dispositivos móviles. La información que se recibe de los dispositivos móviles corresponde a las transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio (PRACH) de LTE por los dispositivos móviles. La información que se recibe de los dispositivos móviles corresponde a la transmisión del enlace ascendente en el Canal Físico Compartido de Enlace Ascendente (PUSCH) por los dispositivos móviles. Una unidad remota comprende dos o más antenas receptoras para recibir las señales de RF de los dispositivos móviles y la unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base correspondientes a las diferentes antenas mediante el uso de diferentes cuantificadores. Los cuantificadores para diferentes antenas tienen diferentes tamaños de paso. Los cuantificadores para diferentes antenas tienen diferentes tamaños de paso y diferentes tasas. Las diferentes tasas se determinan por el controlador. El controlador se configura para enviar información secundaria a la unidad remota para indicar la tasa del cuantificador que se determina para cada antena de receptora. Una unidad remota comprende dos o más antenas receptoras para recibir las señales de RF de los dispositivos móviles. La unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa que se selecciona en base a la correlación de las señales de RF que se reciben en diferentes receptores de la unidad remota. El controlador se configura para determinar un coeficiente en base a la correlación de las señales de RF y para determinar la tasa del cuantificador mediante el uso del coeficiente. La unidad remota se configura para determinar la tasa del cuantificador mediante el uso de un coeficiente que se determina por el controlador en base a la correlación de las señales de RF. La unidad remota se configura para determinar un coeficiente en base a la correlación de las señales de RF y para determinar la tasa del cuantificador mediante el uso del coeficiente. Todos los datos de banda base, excepto los correspondientes a las transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio (PRACH) de un dispositivo móvil, se comprimen en el dominio de la frecuencia. Una unidad remota se configura para comprimir los datos de banda base mediante la cuantificación de las transmisiones del PRACH que se reciben después de realizar una correlación en el dominio de la frecuencia. La unidad remota se configura para comprimir los datos de banda base mediante la cuantificación de las transmisiones del PRACH que se reciben en un dominio del tiempo después de convertir una salida de la correlación de vuelta en el dominio del tiempo. Al menos un módem del controlador se configura para ejecutar funciones de control de acceso al medio (MAC) en tiempo real para los datos IP correspondientes a la información.

Los aspectos de la descripción también pueden incluir una o más de las siguientes características. La red intermedia comprende múltiples conmutadores. La red externa comprende Internet. Los dispositivos móviles son dispositivos de comunicación celular que se comunican mediante el uso del estándar de evolución a largo plazo (LTE). Las unidades remotas se configuran para realizar algunas funciones de módem. El controlador carece de funcionalidad de radio de RF. La red Ethernet conmutada comprende múltiples conmutadores. Al menos uno de los múltiples conmutadores se conecta a al menos una unidad remota a través de un enlace Ethernet de 1 gigabit/segundo. Cada unidad remota comprende múltiples antenas de RF y se configura para transmitir y/o recibir señales de RF de uno o más dispositivos móviles simultáneamente a través de uno o más canales de radio. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para asociar uno o más de los módems con una o más de las unidades remotas para de esta manera configurar las celdas de comunicación que comprenden una o más unidades remotas. El uno o más dispositivos de procesamiento se programan para asociar uno o más de los módems con una o más de las unidades remotas para de esta manera configurar las celdas de comunicación dinámicamente. El uno o más módems controlan un conjunto de unidades remotas a través de la red Ethernet conmutada para formar una celda, cada unidad remota en la celda que comprende una o más antenas, la una o más antenas que se asocian con un identificador de celda común. El identificador de celda común comprende el ID de celda de evolución a largo plazo (LTE). Todas las unidades remotas asociadas con la celda se configuran para comunicarse a través de un único canal de evolución a largo plazo (LTE). Cada unidad remota asociada con la celda comprende un par de antenas y al menos dos pares de antenas de unidades remotas asociadas con la celda son controlables para comunicarse con un único par de antenas en un único dispositivo móvil. Cada unidad remota asociada con la celda comprende una o más antenas. Cada antena corresponde a un puerto de antena virtual. Todas las antenas que se

asignan a un mismo puerto de antena virtual transmiten en simultáneo una señal común. Las unidades remotas que se asignan al mismo puerto de antena virtual llevan las mismas señales de referencia del enlace descendente LTE asociadas con el mismo puerto de antena virtual. El puerto de antena virtual incluye un ID de codificación de la Señal de Referencia de Información de Estado del Canal (CSI-RS). El dispositivo móvil envía más de una retroalimentación de Información de Estado del Canal (CSI). Cada una de las antenas de las unidades remotas se asigna a un puerto de antena virtual diferente. Las unidades remotas en la celda se sincronizan para comunicarse mediante el uso de una misma frecuencia. Las unidades remotas en la celda se configuran para implementar un protocolo de sincronización que se basa en la red para efectuar la sincronización. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para modificar una asociación de uno o más de los módems con una o más de las unidades remotas para de esta manera reconfigurar las celdas de comunicación existentes que se definen por una o más unidades remotas. La reconfiguración de las celdas de comunicación existentes comprende dividir al menos una celda de comunicación existente en dos o más celdas de comunicación nuevas. La reconfiguración de las celdas de comunicación existentes comprende combinar al menos dos celdas de comunicación existentes en una única celda de comunicación nueva. El controlador se configura para modificar la asociación en base a los comandos que se reciben de un sistema de gestión. El controlador se configura para modificar la asociación en base a la hora del día. El controlador se configura para modificar la asociación en base a los cambios en la distribución de la demanda de capacidad de comunicación. La celda se configura para dividirse virtualmente para enviar datos a dos o más dispositivos móviles en los mismos recursos sin interferencia sustancial en base al aislamiento de radiofrecuencia entre los dos o más dispositivos móviles. Los recursos son recursos de tiempo-frecuencia de la evolución a largo plazo (LTE). El controlador se configura para determinar qué dispositivos móviles envían datos en el mismo recurso en base a las señales que se reciben de los dispositivos móviles. Los dispositivos móviles comprenden receptores y los datos que se envían a los receptores por las unidades remotas en la celda no están en el recurso de tiempo-frecuencia. La celda se configura para dividirse virtualmente para recibir información de dos o más dispositivos móviles en los mismos recursos sin interferencia sustancial en base al aislamiento de radiofrecuencia entre los dos o más dispositivos móviles. Dos o más dispositivos móviles usan la misma secuencia de referencia de demodulación. Los dos o más dispositivos móviles usan el mismo recurso del PUCCH que consiste en un desplazamiento cíclico y un código de cobertura ortogonal. El controlador se configura para detectar transmisiones de preámbulo del RACH de los dos o más dispositivos móviles que se envían en la misma oportunidad del PRACH. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para asociar uno o más módems adicionales con una o más de las unidades remotas en respuesta a un cambio en la demanda de capacidad de comunicación. En respuesta a una disminución en la demanda de capacidad de la red, el uno o más dispositivos de procesamiento se programan para consolidar la una o más unidades remotas entre un número en disminución de uno o más módems. La celda es una primera celda y el módem es un primer módem; y el uno o más módems comprenden un segundo módem que se programa para controlar un segundo conjunto de las unidades remotas a través de la red Ethernet conmutada para formar una segunda celda, cada unidad de RF en la segunda celda que comprende una o más segundas antenas, la una o más segundas antenas, que se asocian con un segundo identificador de celda común. La primera celda y la segunda celda comprenden diferentes números de unidades remotas, diferentes formas y/o transmiten señales de radio que cubren áreas de diferentes tamaños. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para asociar el primer y el segundo módem con diferentes unidades remotas con el fin de cambiar dinámicamente la forma y/o el área que se cubre por cada una de la primera celda o la segunda celda. El primer y el segundo módem se comunican con el controlador y el controlador coordina las transmisiones del primer y del segundo módem para reducir la interferencia entre la primera y la segunda celda. Al menos una unidad remota se configura para intercambiar señales Wi-Fi con un dispositivo correspondiente. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para recibir los segundos datos de la red Ethernet conmutada y para procesar los segundos datos para generar los primeros datos. Al menos algunas de las unidades remotas se configuran para recibir potencia a través de la red Ethernet conmutada. El controlador y las unidades remotas se configuran para comunicarse mediante el uso del protocolo IEEE 1588. El sistema de comunicación también incluye un administrador de red en comunicación con el controlador que dirige la operación del controlador. La red externa comprende una red central del operador y el administrador de red se ubica en la red central del operador. El administrador de red se ubica localmente con respecto al controlador. Dos o más unidades remotas se configuran para enviar los segundos datos a un dispositivo móvil en dos o más canales de RF de modo que el móvil reciba los segundos datos simultáneamente de las dos o más unidades remotas. El controlador se configura para agregar la comunicación de diferentes canales entre el controlador y las unidades remotas y el controlador y la red externa para procesar los primeros datos y para enviar los segundos datos a las unidades remotas.

Los aspectos de la descripción también pueden incluir una o más de las siguientes características. Los primeros datos comprenden datos del Protocolo de Internet (IP) y el controlador se configura para realizar un control de acceso al medio en tiempo real de los datos IP correspondientes a la información. La fuente de temporización de referencia comprende un receptor GPS. El receptor GPS se ubica en el controlador. El controlador y las unidades remotas se configuran para intercambiar sellos de tiempo mediante el uso del protocolo IEEE 1588. El controlador y las unidades remotas comprenden un sistema en chip para generar y procesar los mensajes de sello de tiempo. La red intermedia es una red Ethernet conmutada. La unidad remota usa los mensajes de sello de tiempo para estimar y corregir un error del reloj de la unidad remota. La estimación se basa en un conocimiento a priori sobre los retardos de sello de tiempo del enlace descendente y del enlace ascendente. El conocimiento a priori sobre los retardos de sello de tiempo del

enlace descendente y del enlace ascendente comprende una relación entre el retardo de sello de tiempo del enlace descendente y el retardo de sello de tiempo del enlace ascendente. El conocimiento a priori sobre los retardos de sello de tiempo del enlace descendente y del enlace ascendente comprende una relación de un retardo promedio de sello de tiempo del enlace descendente a un retardo promedio de sello de tiempo del enlace ascendente. El error comprende un error de fase de temporización y la unidad remota se configura para estimar el error de fase de temporización al ponderar y/o desplazar los sellos de tiempo que se miden en el enlace ascendente y el enlace descendente de acuerdo con el conocimiento a priori. Los mensajes de sello de tiempo se transmiten con alta prioridad de acuerdo con el protocolo IEEE 802.1q. Los mensajes de sello de tiempo y los datos de banda base se transmiten en diferentes redes de área local virtuales (VLAN). Los mensajes de sello de tiempo y los datos de banda base se transmiten en la misma red de área local virtual (VLAN) mediante el uso de diferentes marcas de prioridad del protocolo IEEE 802.1q. Los datos de banda base y los mensajes de sello de tiempo se transmiten mediante el uso de puertos Ethernet dedicados y enlaces Ethernet dedicados de la red Ethernet conmutada. El sistema de comunicación comprende una pluralidad de controladores y uno de los controladores es un controlador maestro y se configura para transmitir los mensajes de sello de tiempo con unidades remotas asociadas con el controlador maestro y con unidades remotas asociadas con los otros controladores de la pluralidad de controladores. El controlador se configura para avanzar en el tiempo una subtrama de datos de banda base a suministrar a una unidad remota para compensar un retardo de tiempo entre el reloj de la unidad remota y el reloj del controlador. El controlador se configura para avanzar en el tiempo la subtrama de datos de banda base por una cantidad predeterminada. La cantidad predeterminada se determina en base a un retardo de tiempo para transmitir los datos de banda base a través de la red intermedia. El controlador se configura para enviar información a los dispositivos móviles para que los dispositivos móviles avancen una fase de temporización de las señales de RF a transmitir a las unidades remotas con relación a las señales de RF que se reciben por los dispositivos móviles desde las unidades remotas. El controlador se configura para aumentar el tiempo de procesamiento disponible para que el controlador procese las transmisiones de datos de banda base al elegir una cantidad de la fase de temporización a avanzar que sea mayor que un retardo de tiempo para transmitir las señales de RF en un viaje de ida y vuelta entre una unidad remota y un dispositivo móvil. Una unidad remota se configura para avanzar en el tiempo las subtramas de los datos de banda base a transmitir al controlador. Las unidades remotas se configuran para comunicarse con el controlador en un canal de comunicación y la frecuencia del canal de comunicación se deriva del reloj del controlador. El reloj del controlador comprende un oscilador de cristal que se configura para generar relojes para el procesamiento de banda base en el controlador. El reloj de la unidad remota comprende un oscilador de cristal que se configura para generar relojes para convertidores analógico-digital-analógico (A/D/A), sintetizadores de RF y/o procesamiento de banda base en cada unidad remota. El controlador y la unidad remota se configuran para transmitir los mensajes de sello de tiempo en múltiples viajes de ida y vuelta entre el controlador y la unidad remota. La unidad remota se configura para ajustar el reloj de la unidad remota en base a una de las transmisiones en los múltiples viajes de ida y vuelta que se considera más fiable para corregir un desplazamiento entre el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota. Una de las transmisiones en los múltiples viajes de ida y vuelta que se considera más fiable comprende una transmisión que predice un desplazamiento más pequeño entre el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota. La unidad remota se configura para no hacer ninguna corrección en el reloj de la unidad remota cuando se considera que no es fiable una estimación de un desplazamiento entre el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota en base a las transmisiones de los mensajes de sello de tiempo. La estimación del desplazamiento se considera que no es fiable cuando la estimación excede un umbral preconfigurado. El reloj del controlador está en acoplamiento directo con la fuente de temporización de referencia y el reloj de la unidad remota no está en acoplamiento directo con la fuente de temporización de referencia.

Los aspectos de la descripción también pueden incluir una o más de las siguientes características. La tasa de transmisión de los datos de banda base a través de la red intermedia es a lo máximo de 1 Gb/s. Los datos de banda base se representan por señales de valor complejo que tienen componentes reales e imaginarios y el controlador se configura para comprimir los datos de banda base mediante la cuantificación de las señales de valor complejo en el dominio de la frecuencia para producir datos de banda base cuantificados y para transmitir datos binarios representativos de los datos de banda base cuantificados a las unidades remotas. Las unidades remotas se configuran para reconstruir los datos de banda base cuantificados al recibir los datos de banda base comprimidos. Las unidades remotas se configuran para aplicar una transformada rápida de Fourier inversa en los datos de banda base reconstruidos. El controlador se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso fijo. El controlador se configura para cuantificar independientemente los componentes reales e imaginarios de los datos de banda base en el dominio de la frecuencia. El controlador se configura para enviar información sobre la tasa fija y el tamaño de paso fijo a las unidades remotas cuando las unidades remotas y el controlador se conectan. El controlador se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso ajustable. El controlador se configura para enviar información secundaria sobre la tasa fija y un tamaño de paso a una unidad remota una vez por subtrama. El controlador se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa y un tamaño de paso. Tanto la tasa como el tamaño de paso son ajustables. El controlador ajusta el tamaño de paso de acuerdo con la energía de los datos de banda base cuantificados. El controlador ajusta la tasa de acuerdo con un esquema de modulación y codificación de los datos de banda base. Las señales de RF son compatibles con el estándar de evolución a largo plazo (LTE). El controlador se configura para enviar información secundaria sobre la tasa del cuantificador a una unidad remota para cada uno de los grupos de elementos de recursos (REG) y bloques de recursos físicos (PRB) en cada símbolo de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) de una subtrama. El

controlador se configura para comprimir los datos de banda base al no enviar a las unidades remotas ningún dato para los grupos de elementos de recursos (REG) o bloques de recursos físicos (PRB) no usados en cada símbolo de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) de los datos de banda base. Los datos de banda base en el dominio de la frecuencia pertenecen a o se derivan de, una constelación de señales de amplitud discreta y el controlador se configura para comprimir los datos de banda base sin cuantificación al enviar datos binarios que representan las señales de amplitud discreta a las unidades remotas. La constelación de señales de amplitud discreta comprende una constelación de señales de modulación de amplitud en cuadratura (QAM). Las señales de RF llevan símbolos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) y el controlador se configura para enviar los datos binarios a las unidades remotas en el mismo orden en que los símbolos de OFDM correspondientes deben transmitirse por las unidades remotas a través del aire a los dispositivos móviles. Las unidades remotas se configuran para comprimir los datos de banda base al cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia para producir datos de banda base cuantificados y para transmitir datos binarios representativos de los datos de banda base cuantificados al controlador. Una unidad remota se configura para recibir datos en el dominio del tiempo desde el dispositivo móvil y para aplicar una transformada rápida de Fourier a los datos en el dominio del tiempo para producir los datos de banda base en el dominio de la frecuencia. Una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso fijo. Una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso ajustable. Las tramas de los datos de banda base comprenden símbolos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) y la unidad remota se configura para seleccionar un tamaño de paso en base a una energía promedio de los datos de banda base cuantificados. La energía promedio es un promedio de energías de datos de banda base que pertenecen a un canal de evolución a largo plazo (LTE). La unidad remota se configura para seleccionar un tamaño de paso en base a una distribución de los datos de banda base en el dominio de la frecuencia. La unidad remota se configura para enviar información secundaria sobre el cuantificador al controlador para que el controlador reconstruya los datos de banda base cuantificados que se reciben. Una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa y un tamaño de paso, la tasa y el tamaño de paso ambos que son ajustables. Las tramas de los datos de banda base comprenden subtramas que comprenden bloques de recursos físicos (PRB) LTE y la unidad remota se configura para ajustar la tasa del cuantificador sobre una base por PRB. La unidad remota se configura para seleccionar una tasa del cuantificador en base a un esquema de modulación y codificación de los datos de banda base que se determinan por el controlador. Las unidades remotas se configuran para cuantificar los datos de banda base mediante el uso de cuantificadores que tienen tasas ajustables. Las tasas del cuantificador para los datos de banda base se ajustan de acuerdo con los bloques de recursos LTE. Las tasas del cuantificador se eligen a cero para depurar las transmisiones de los datos de banda base para algunos de los bloques de recursos. El controlador se configura para enviar información secundaria a las unidades remotas y la información se usa por las unidades remotas para determinar las tasas del cuantificador. El controlador se configura para determinar la información secundaria a enviar a las unidades remotas en base a la información que se recibe de los dispositivos móviles. El controlador se configura para determinar la información secundaria en base a una relación señal a ruido más interferencia (SINR) objetivo en el controlador. La información que se recibe de los dispositivos móviles corresponde a las transmisiones de la Señal de Referencia de Sondeo (SRS) de LTE por los dispositivos móviles. La información que se recibe de los dispositivos móviles corresponde a las transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio (PRACH) de LTE por los dispositivos móviles. La información que se recibe de los dispositivos móviles corresponde a la transmisión del enlace ascendente en el Canal Físico Compartido de Enlace Ascendente (PUSCH) por los dispositivos móviles. Una unidad remota comprende dos o más antenas receptoras para recibir las señales de RF de los dispositivos móviles y la unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base correspondientes a las diferentes antenas mediante el uso de diferentes cuantificadores. Los cuantificadores para diferentes antenas tienen diferentes tamaños de paso. Los cuantificadores para diferentes antenas tienen diferentes tamaños de paso y diferentes tasas. Las diferentes tasas se determinan por el controlador. El controlador se configura para enviar información secundaria a la unidad remota para indicar la tasa del cuantificador que se determina para cada antena de receptora. Una unidad remota comprende dos o más antenas receptoras para recibir las señales de RF de los dispositivos móviles. La unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa que se selecciona en base a la correlación de las señales de RF que se reciben en diferentes receptores de la unidad remota. El controlador se configura para determinar un coeficiente en base a la correlación de las señales de RF y para determinar la tasa del cuantificador mediante el uso del coeficiente. La unidad remota se configura para determinar la tasa del cuantificador mediante el uso de un coeficiente que se determina por el controlador en base a la correlación de las señales de RF. La unidad remota se configura para determinar un coeficiente en base a la correlación de las señales de RF y para determinar la tasa del cuantificador mediante el uso del coeficiente. Todos los datos de banda base, excepto los correspondientes a las transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio (PRACH) de un dispositivo móvil, se comprimen en el dominio de la frecuencia. Una unidad remota se configura para comprimir los datos de banda base mediante la cuantificación de las transmisiones del PRACH que se reciben después de realizar una correlación en el dominio de la frecuencia. La unidad remota se configura para comprimir los datos de banda base mediante la cuantificación de las transmisiones del PRACH que se reciben en un dominio del tiempo después de convertir una salida de la correlación de vuelta en el dominio del tiempo. Al menos un módem del controlador se configura para ejecutar funciones de control de acceso al medio (MAC) en tiempo real para los datos IP correspondientes a la información.

Los aspectos de la descripción también pueden incluir una o más de las siguientes características. La red intermedia comprende múltiples conmutadores. La red externa comprende Internet. Los dispositivos móviles son dispositivos de comunicación celular que se comunican mediante el uso del estándar de evolución a largo plazo (LTE). Las unidades remotas se configuran para realizar algunas funciones de módem. El controlador carece de funcionalidad de radio de RF. La red Ethernet conmutada comprende múltiples conmutadores. Al menos uno de los múltiples conmutadores se conecta a al menos una unidad remota a través de un enlace Ethernet de 1 gigabit/segundo. Cada unidad remota comprende múltiples antenas de RF y se configura para transmitir y/o recibir señales de RF de uno o más dispositivos móviles simultáneamente a través de uno o más canales de radio. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para asociar uno o más de los módems con una o más de las unidades remotas para de esta manera configurar las celdas de comunicación que comprenden una o más unidades remotas. El uno o más dispositivos de procesamiento se programan para asociar uno o más de los módems con una o más de las unidades remotas para de esta manera configurar las celdas de comunicación dinámicamente. El uno o más módems controlan un conjunto de unidades remotas a través de la red Ethernet conmutada para formar una celda, cada unidad remota en la celda que comprende una o más antenas, la una o más antenas que se asocian con un identificador de celda común. El identificador de celda común comprende el ID de celda de evolución a largo plazo (LTE). Todas las unidades remotas asociadas con la celda se configuran para comunicarse a través de un único canal de evolución a largo plazo (LTE). Cada unidad remota asociada con la celda comprende un par de antenas y al menos dos pares de antenas de unidades remotas asociadas con la celda son controlables para comunicarse con un único par de antenas en un único dispositivo móvil. Cada unidad remota asociada con la celda comprende una o más antenas. Cada antena corresponde a un puerto de antena virtual. Todas las antenas que se asignan a un mismo puerto de antena virtual transmiten en simultáneo una señal común. Las unidades remotas que se asignan al mismo puerto de antena virtual llevan las mismas señales de referencia del enlace descendente LTE asociadas con el mismo puerto de antena virtual. El puerto de antena virtual incluye un ID de codificación de la Señal de Referencia de Información de estado del canal (CSI-RS). El dispositivo móvil envía más de una retroalimentación de Información de Estado del Canal (CSI). Cada una de las antenas de las unidades remotas se asigna a un puerto de antena virtual diferente. Las unidades remotas en la celda se sincronizan para comunicarse mediante el uso de una misma frecuencia. Las unidades remotas en la celda se configuran para implementar un protocolo de sincronización que se basa en la red para efectuar la sincronización. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para modificar una asociación de uno o más de los módems con una o más de las unidades remotas para de esta manera reconfigurar las celdas de comunicación existentes que se definen por una o más unidades remotas. La reconfiguración de las celdas de comunicación existentes comprende dividir al menos una celda de comunicación existente en dos o más celdas de comunicación nuevas. La reconfiguración de las celdas de comunicación existentes comprende combinar al menos dos celdas de comunicación existentes en una única celda de comunicación nueva. El controlador se configura para modificar la asociación en base a los comandos que se reciben de un sistema de gestión. El controlador se configura para modificar la asociación en base a la hora del día. El controlador se configura para modificar la asociación en base a los cambios en la distribución de la demanda de capacidad de comunicación. La celda se configura para dividirse virtualmente para enviar datos a dos o más dispositivos móviles en los mismos recursos sin interferencia sustancial en base al aislamiento de radiofrecuencia entre los dos o más dispositivos móviles. Los recursos son recursos de tiempo-frecuencia de la evolución a largo plazo (LTE). El controlador se configura para determinar qué dispositivos móviles envían datos en el mismo recurso en base a las señales que se reciben de los dispositivos móviles. Los dispositivos móviles comprenden receptores y los datos que se envían a los receptores por las unidades remotas en la celda no están en el recurso de tiempo-frecuencia. La celda se configura para dividirse virtualmente para recibir información de dos o más dispositivos móviles en los mismos recursos sin interferencia sustancial en base al aislamiento de radiofrecuencia entre los dos o más dispositivos móviles. Dos o más dispositivos móviles usan la misma secuencia de referencia de demodulación. Los dos o más dispositivos móviles usan el mismo recurso del PUCCH que consiste en un desplazamiento cíclico y un código de cobertura ortogonal. El controlador se configura para detectar transmisiones de preámbulo del RACH de los dos o más dispositivos móviles que se envían en la misma oportunidad del PRACH. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para asociar uno o más módems adicionales con una o más de las unidades remotas en respuesta a un cambio en la demanda de capacidad de comunicación. En respuesta a una disminución en la demanda de capacidad de la red, el uno o más dispositivos de procesamiento se programan para consolidar la una o más unidades remotas entre un número en disminución de uno o más módems. La celda es una primera celda y el módem es un primer módem; y el uno o más módems comprenden un segundo módem que se programa para controlar un segundo conjunto de las unidades remotas a través de la red Ethernet conmutada para formar una segunda celda, cada unidad de RF en la segunda celda que comprende una o más segundas antenas, la una o más segundas antenas, que se asocian con un segundo identificador de celda común. La primera celda y la segunda celda comprenden diferentes números de unidades remotas, diferentes formas y/o transmiten señales de radio que cubren áreas de diferentes tamaños. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para asociar el primer y el segundo módem con diferentes unidades remotas con el fin de cambiar dinámicamente la forma y/o el área que se cubre por cada una de la primera celda o la segunda celda. El primer y el segundo módem se colocan con el controlador y el controlador coordina las transmisiones del primer y del segundo módem para reducir la interferencia entre la primera y la segunda celda. Al menos una unidad remota se configura para intercambiar señales Wi-Fi con un dispositivo correspondiente. El controlador comprende uno o más dispositivos de procesamiento, el uno o más dispositivos de procesamiento que se programan para recibir los segundos datos de la red Ethernet conmutada y para procesar los segundos datos para

generar los primeros datos. Al menos algunas de las unidades remotas se configuran para recibir potencia a través de la red Ethernet conmutada. El controlador y las unidades remotas se configuran para comunicarse mediante el uso del protocolo IEEE 1588. El sistema de comunicación también incluye un administrador de red en comunicación con el controlador que dirige la operación del controlador. La red externa comprende una red central del operador y el administrador de red se ubica en la red central del operador. El administrador de red se ubica localmente con respecto al controlador. Dos o más unidades remotas se configuran para enviar los segundos datos a un dispositivo móvil en dos o más canales de RF de modo que el móvil reciba los segundos datos simultáneamente de las dos o más unidades remotas. El controlador se configura para agregar la comunicación de diferentes canales entre el controlador y las unidades remotas y el controlador y la red externa para procesar los primeros datos y para enviar los segundos datos a las unidades remotas.

Los aspectos de la descripción también pueden incluir una o más de las siguientes características. Los primeros datos comprenden datos del Protocolo de Internet (IP) y el controlador se configura para realizar un control de acceso al medio en tiempo real de los datos IP correspondientes a la información. La fuente de temporización de referencia comprende un receptor GPS. El receptor GPS se ubica en el controlador. El controlador y las unidades remotas se configuran para intercambiar sellos de tiempo mediante el uso del protocolo IEEE 1588. El controlador y las unidades remotas comprenden un sistema en chip para generar y procesar los mensajes de sello de tiempo. La red intermedia es una red Ethernet conmutada. La unidad remota usa los mensajes de sello de tiempo para estimar y corregir un error del reloj de la unidad remota. La estimación se basa en un conocimiento a priori sobre los retardos de sello de tiempo del enlace descendente y del enlace ascendente. El conocimiento a priori sobre los retardos de sello de tiempo del enlace descendente y del enlace ascendente comprende una relación entre el retardo de sello de tiempo del enlace descendente y el retardo de sello de tiempo del enlace ascendente. El conocimiento a priori sobre los retardos de sello de tiempo del enlace descendente y del enlace ascendente comprende una relación de un retardo promedio de sello de tiempo del enlace descendente a un retardo promedio de sello de tiempo del enlace ascendente. El error comprende un error de fase de temporización y la unidad remota se configura para estimar el error de fase de temporización al ponderar y/o desplazar los sellos de tiempo que se miden en el enlace ascendente y el enlace descendente de acuerdo con el conocimiento a priori. Los mensajes de sello de tiempo se transmiten con alta prioridad de acuerdo con el protocolo IEEE 802.1q. Los mensajes de sello de tiempo y los datos de banda base se transmiten en diferentes redes de área local virtuales (VLAN). Los mensajes de sello de tiempo y los datos de banda base se transmiten en la misma red de área local virtual (VLAN) mediante el uso de diferentes marcas de prioridad del protocolo IEEE 802.1q. Los datos de banda base y los mensajes de sello de tiempo se transmiten mediante el uso de puertos Ethernet dedicados y enlaces Ethernet dedicados de la red Ethernet conmutada. El sistema de comunicación comprende una pluralidad de controladores y uno de los controladores es un controlador maestro y se configura para transmitir los mensajes de sello de tiempo con unidades remotas asociadas con el controlador maestro y con unidades remotas asociadas con los otros controladores de la pluralidad de controladores. El controlador se configura para avanzar en el tiempo una subtrama de datos de banda base a suministrar a una unidad remota para compensar un retardo de tiempo entre el reloj de la unidad remota y el reloj del controlador. El controlador se configura para avanzar en el tiempo la subtrama de datos de banda base por una cantidad predeterminada. La cantidad predeterminada se determina en base a un retardo de tiempo para transmitir los datos de banda base a través de la red intermedia. El controlador se configura para enviar información a los dispositivos móviles para que los dispositivos móviles avancen una fase de temporización de las señales de RF a transmitir a las unidades remotas con relación a las señales de RF que se reciben por los dispositivos móviles desde las unidades remotas. El controlador se configura para aumentar el tiempo de procesamiento disponible para que el controlador procese las transmisiones de datos de banda base al elegir una cantidad de la fase de temporización a avanzar que sea mayor que un retardo de tiempo para transmitir las señales de RF en un viaje de ida y vuelta entre una unidad remota y un dispositivo móvil. Una unidad remota se configura para avanzar en el tiempo las subtramas de los datos de banda base a transmitir al controlador. Las unidades remotas se configuran para comunicarse con el controlador en un canal de comunicación y la frecuencia del canal de comunicación se deriva del reloj del controlador. El reloj del controlador comprende un oscilador de cristal que se configura para generar relojes para el procesamiento de banda base en el controlador. El reloj de la unidad remota comprende un oscilador de cristal que se configura para generar relojes para convertidores analógico-digital-analógico (A/D/A), sintetizadores de RF y/o procesamiento de banda base en cada unidad remota. El controlador y la unidad remota se configuran para transmitir los mensajes de sello de tiempo en múltiples viajes de ida y vuelta entre el controlador y la unidad remota. La unidad remota se configura para ajustar el reloj de la unidad remota en base a una de las transmisiones en los múltiples viajes de ida y vuelta que se considera más fiable para corregir un desplazamiento entre el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota. Una de las transmisiones en los múltiples viajes de ida y vuelta que se considera más fiable comprende una transmisión que predice un desplazamiento más pequeño entre el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota. La unidad remota se configura para no hacer ninguna corrección en el reloj de la unidad remota cuando se considera que no es fiable una estimación de un desplazamiento entre el reloj del controlador y el reloj de la unidad remota en base a las transmisiones de los mensajes de sello de tiempo. La estimación del desplazamiento se considera que no es fiable cuando la estimación excede un umbral preconfigurado. El reloj del controlador está en acoplamiento directo con la fuente de temporización de referencia y el reloj de la unidad remota no está en acoplamiento directo con la fuente de temporización de referencia.

Los aspectos de la descripción también pueden incluir una o más de las siguientes características. La tasa de transmisión de los datos de banda base a través de la red intermedia es a lo máximo de 1 Gb/s. Los datos de banda base se representan por señales de valor complejo que tienen componentes reales e imaginarios y el controlador se

configura para comprimir los datos de banda base mediante la cuantificación de las señales de valor complejo en el dominio de la frecuencia para producir datos de banda base cuantificados y para transmitir datos binarios representativos de los datos de banda base cuantificados a las unidades remotas. Las unidades remotas se configuran para reconstruir los datos de banda base cuantificados al recibir los datos de banda base comprimidos. Las unidades remotas se configuran para aplicar una transformada rápida de Fourier inversa en los datos de banda base reconstruidos. El controlador se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso fijo. El controlador se configura para cuantificar independientemente los componentes reales e imaginarios de los datos de banda base en el dominio de la frecuencia. El controlador se configura para enviar información sobre la tasa fija y el tamaño de paso fijo a las unidades remotas cuando las unidades remotas y el controlador se conectan. El controlador se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso ajustable. El controlador se configura para enviar información secundaria sobre la tasa fija y un tamaño de paso a una unidad remota una vez por subtrama. El controlador se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa y un tamaño de paso. Tanto la tasa como el tamaño de paso son ajustables. El controlador ajusta el tamaño de paso de acuerdo con la energía de los datos de banda base cuantificados. El controlador ajusta la tasa de acuerdo con un esquema de modulación y codificación de los datos de banda base. Las señales de RF son compatibles con el estándar de evolución a largo plazo (LTE). El controlador se configura para enviar información secundaria sobre la tasa del cuantificador a una unidad remota para cada uno de los grupos de elementos de recursos (REG) y bloques de recursos físicos (PRB) en cada símbolo de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) de una subtrama. El controlador se configura para comprimir los datos de banda base al no enviar a las unidades remotas ningún dato para los grupos de elementos de recursos (REG) o bloques de recursos físicos (PRB) no usados en cada símbolo de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) de los datos de banda base. Los datos de banda base en el dominio de la frecuencia pertenecen a o se derivan de, una constelación de señales de amplitud discreta y el controlador se configura para comprimir los datos de banda base sin cuantificación al enviar datos binarios que representan las señales de amplitud discreta a las unidades remotas. La constelación de señales de amplitud discreta comprende una constelación de señales de modulación de amplitud en cuadratura (QAM). Las señales de RF llevan símbolos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) y el controlador se configura para enviar los datos binarios a las unidades remotas en el mismo orden en que los símbolos de OFDM correspondientes deben transmitirse por las unidades remotas a través del aire a los dispositivos móviles. Las unidades remotas se configuran para comprimir los datos de banda base al cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia para producir datos de banda base cuantificados y para transmitir datos binarios representativos de los datos de banda base cuantificados al controlador. Una unidad remota se configura para recibir datos en el dominio del tiempo desde el dispositivo móvil y para aplicar una transformada rápida de Fourier a los datos en el dominio del tiempo para producir los datos de banda base en el dominio de la frecuencia. Una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso fijo. Una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso ajustable. Las tramas de los datos de banda base comprenden símbolos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) y la unidad remota se configura para seleccionar un tamaño de paso en base a una energía promedio de los datos de banda base cuantificados. La energía promedio es un promedio de energías de datos de banda base que pertenecen a un canal de evolución a largo plazo (LTE). La unidad remota se configura para seleccionar un tamaño de paso en base a una distribución de los datos de banda base en el dominio de la frecuencia. La unidad remota se configura para enviar información secundaria sobre el cuantificador al controlador para que el controlador reconstruya los datos de banda base cuantificados que se reciben. Una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa y un tamaño de paso, la tasa y el tamaño de paso ambos que son ajustables. Las tramas de los datos de banda base comprenden subtramas que comprenden bloques de recursos físicos (PRB) LTE y la unidad remota se configura para ajustar la tasa del cuantificador sobre una base por PRB. La unidad remota se configura para seleccionar una tasa del cuantificador en base a un esquema de modulación y codificación de los datos de banda base que se determinan por el controlador. Las unidades remotas se configuran para cuantificar los datos de banda base mediante el uso de cuantificadores que tienen tasas ajustables. Las tasas del cuantificador para los datos de banda base se ajustan de acuerdo con los bloques de recursos LTE. Las tasas del cuantificador se eligen a cero para depurar las transmisiones de los datos de banda base para algunos de los bloques de recursos. El controlador se configura para enviar información secundaria a las unidades remotas y la información se usa por las unidades remotas para determinar las tasas del cuantificador. El controlador se configura para determinar la información secundaria a enviar a las unidades remotas en base a la información que se recibe de los dispositivos móviles. El controlador se configura para determinar la información secundaria en base a una relación señal a ruido más interferencia (SINR) objetivo en el controlador. La información que se recibe de los dispositivos móviles corresponde a las transmisiones de la Señal de Referencia de Sondeo (SRS) de LTE por los dispositivos móviles. La información que se recibe de los dispositivos móviles corresponde a las transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio (PRACH) de LTE por los dispositivos móviles. La información que se recibe de los dispositivos móviles corresponde a la transmisión del enlace ascendente en el Canal Físico Compartido de Enlace Ascendente (PUSCH) por los dispositivos móviles. Una unidad remota comprende dos o más antenas receptoras para recibir las señales de RF de los dispositivos móviles y la unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base correspondientes a las diferentes antenas mediante el uso de diferentes cuantificadores. Los cuantificadores para diferentes antenas tienen diferentes tamaños de paso. Los cuantificadores

para diferentes antenas tienen diferentes tamaños de paso y diferentes tasas. Las diferentes tasas se determinan por el controlador. El controlador se configura para enviar información secundaria a la unidad remota para indicar la tasa del cuantificador que se determina para cada antena de receptora. Una unidad remota comprende dos o más antenas receptoras para recibir las señales de RF de los dispositivos móviles. La unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa que se selecciona en base a la correlación de las señales de RF que se reciben en diferentes receptores de la unidad remota. El controlador se configura para determinar un coeficiente en base a la correlación de las señales de RF y para determinar la tasa del cuantificador mediante el uso del coeficiente. La unidad remota se configura para determinar la tasa del cuantificador mediante el uso de un coeficiente que se determina por el controlador en base a la correlación de las señales de RF. La unidad remota se configura para determinar un coeficiente en base a la correlación de las señales de RF y para determinar la tasa del cuantificador mediante el uso del coeficiente. Todos los datos de banda base, excepto los correspondientes a las transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio (PRACH) de un dispositivo móvil, se comprimen en el dominio de la frecuencia. Una unidad remota se configura para comprimir los datos de banda base mediante la cuantificación de las transmisiones del PRACH que se reciben después de realizar una correlación en el dominio de la frecuencia. La unidad remota se configura para comprimir los datos de banda base mediante la cuantificación de las transmisiones del PRACH que se reciben en un dominio del tiempo después de convertir una salida de la correlación de vuelta en el dominio del tiempo. Al menos un módem del controlador se configura para ejecutar funciones de control de acceso al medio (MAC) en tiempo real para los datos IP correspondientes a la información.

Otras características, objetos y ventajas de la descripción serán evidentes a partir de la descripción y los dibujos y a partir de las reivindicaciones.

Descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama de bloques de un ejemplo de una red de radio.

Las Figuras 2A y 2B son diagramas de bloques que muestran un ejemplo de una celda que se conecta a un controlador (CU) y dos celdas que se conectan a un controlador (CU).

La Figura 2C es un diagrama esquemático de un ejemplo de una unidad remota (RU).

La Figura 3 es un diagrama de bloques que muestra esquemáticamente el despliegue de un ejemplo de red de radio en un sitio.

Las Figuras 4A-4C son diagramas de bloques esquemáticos de ejemplos de esquemas de mapeo de antena en una celda.

La Figura 5A es un diagrama de bloques que muestra esquemáticamente un ejemplo de división virtual en una celda.

La Figura 5B es un diagrama de bloques que muestra esquemáticamente un ejemplo de un controlador que detecta las transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio (PRACH).

Las Figuras 6A y 6B son diagramas de bloques esquemáticos de un ejemplo de una red de radio con diferentes configuraciones de celdas en diferentes momentos.

La Figura 7 es un diagrama de bloques que muestra ejemplos de dos cuadrículas de recursos para dos antenas respectivas de una unidad remota (RU). La Figura 8 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de transmisiones de señales entre un equipo de usuario (UE) y una unidad remota (RU).

La Figura 9 es un diagrama de bloques que muestra esquemáticamente un ejemplo de compresión del enlace ascendente.

La Figura 10 es un diagrama de bloques que muestra esquemáticamente un ejemplo de información secundaria en el enlace ascendente y el enlace descendente entre un controlador (CU) y una unidad remota (RU).

La Figura 11 es un diagrama de bloques que muestra esquemáticamente un ejemplo de cuantificación predictiva para un PUSCH.

La Figura 12 es un diagrama que muestra un ejemplo de límites de subtramas.

La Figura 13 es un diagrama que muestra un ejemplo de operación de solicitud de repetición automática híbrida (HARQ) del enlace descendente.

La Figura 14 es un diagrama que muestra un ejemplo de alineación de subtrama.

Las Figuras 15 y 16 son diagramas que muestran ejemplos de temporización de HARQ para el enlace descendente y el enlace ascendente, respectivamente. La Figura 17A es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de Reutilización de Frecuencia Suave (SFR) en LTE.

La Figura 17B es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de dos celdas que implementan una programación coordinada.

La Figura 18 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de sincronización entre un controlador y una unidad remota.

La Figura 19 es un diagrama esquemático que muestra un ejemplo de una subtrama especial usada en la transición de la transmisión DL a la transmisión UL.

Las Figuras 20A-20C son diagramas esquemáticos que muestran ejemplos de la combinación de señales de diferentes módems de banda base en el controlador, por los módems de banda base y en las unidades remotas, respectivamente.

Descripción detallada

Con referencia a la Figura 1, una red de radio 12 se despliega en un sitio 10 de modo que uno o más operadores móviles, tales como el operador A 14, el operador B 16, puedan proporcionar acceso a la red móvil a uno o más equipo(s) de usuario (UE) 18, 20, tal como los teléfonos inteligentes, en el sitio 10. El sitio puede ser un edificio empresarial o corporativo, un lugar público, tal como un hotel, un hospital, un campus universitario o incluso un área al aire libre, tal como una estación de esquí, un estadio o el centro de la ciudad densamente poblado. La red de radio 12 incluye controladores (cada uno de los cuales puede denominarse también como Unidad de Controlador (CU)) 22, 24 y Unidades Remotas (RU) 26a-26i que se conectan por una red Ethernet 28. Las CU 22, 24 se conectan (con red de retorno) a la red central del operador, que puede incluir nodos definidos en el estándar de Evolución a Largo Plazo (LTE), tales como la entidad de gestión de la movilidad (MME) 14a, 16a y las Puertas de Enlace de Servicio (SGW) 14b, 16b, opcionalmente a través de Puertas de Enlace eNodoB Domésticas (HeNB GW) 30, 32. Las CU pueden conectarse a la red central del operador a través de Internet u otra red de transporte de paquetes basada en IP 30 (para el propósito de la descripción, podemos referirnos solamente a la red 30 como Internet, aunque otras redes son posibles). Las CU también pueden incluir cierta funcionalidad de MME (no mostrada) y funcionalidad de SGW (no mostrada), por tanto, permite que el tráfico fluya directamente entre el UE y un nodo de destino 31 en Internet o en la red IP local en el sitio 10 sin atravesar la red central del operador.

Cada CU 22, 24 realiza las funciones de una estación base, excepto ciertas funciones de módem de banda base y RF que se realizan por las RU. Cada CU también gestiona una o más de las RU. Cada CU puede asociarse a un operador móvil de manera que las RU que gestione puedan operar en un espectro que le pertenece a ese operador móvil. También es posible que una CU se comparta entre múltiples operadores móviles. Entre otras cosas, las CU programarán el tráfico hacia/desde los UE. Cada CU 22, 24 también se conecta a un gestor de servicios 40, 42, que típicamente se ubica en la red central del operador. El gestor del servicio es responsable de la configuración, activación y monitoreo de la red de radio. También puede haber un administrador de servicios de instalaciones locales, que puede permitir que un personal de IT local instale y mantenga la red de radio. Las RU 26a-26i contienen los transceptores de RF para transmitir señales de RF hacia y desde el equipo de usuario y realizar funciones de frontales de RF, entre otras funciones.

Generalmente, una estación base tradicional, tal como una celda pequeña tradicional, incluye una unidad de Radiofrecuencia (RF), una unidad de módem de banda base digital y una unidad de procesamiento de red. Tal estación base tradicional realiza tanto la funcionalidad de RF como el procesamiento de la banda base. En algunas implementaciones, una o más estaciones base tradicionales pueden encontrarse en comunicación con un controlador centralizado. Las funcionalidades de banda base pueden dividirse entre la estación base tradicional y el controlador centralizado de la(s) estación(es) base tradicional(es) de manera que el controlador centralizado realice solamente las funciones de procesamiento de la capa superior (por ejemplo, capa 3 o mayor) de la funcionalidad de banda base.

Las CU de la descripción no realizan ninguna de las funciones de RF. Cada CU puede incluir uno o más módems de banda base, cada uno para realizar las funciones de todas las capas de funcionalidades de banda base, que incluyen el procesamiento de la capa de Control de Acceso al Medio (MAC) (Capa 2) y el procesamiento de la capa superior (Capa 3 y superiores). Por ejemplo, la programación en tiempo real, que forma parte de la capa de MAC, se realiza mediante un módem de banda base de una CU de la descripción. Los módems de banda base también pueden realizar procesamiento de capa física (Capa 1). Además, los módems de banda base o las CU también pueden realizar otras funciones similares a la estación base tradicional, tal como la función de la unidad de procesamiento de red, por ejemplo, el procesamiento de datos del Protocolo de Internet (IP).

En algunas implementaciones, la programación en tiempo real se refiere a la asignación de los datos de usuario a los recursos de tiempo y/o frecuencia en base a la CSI. En la programación del enlace descendente, la CSI se suministra por el UE. En el estándar LTE, la CSI del enlace descendente puede incluir un Indicador de Calidad del Canal (CQI), un Indicador de la Matriz de Precodificación (PMI) o un Indicador de Rango (RI). En la programación del enlace ascendente, la CSI se determina por el controlador en base a las transmisiones que se reciben de los UE. En el estándar LTE, la CSI del enlace ascendente puede determinarse en base a las señales que se transmiten por el UE, por ejemplo, la Señal de Referencia de Sondeo (SRS). Las funciones del módem de banda base que se realizan por el controlador también pueden incluir la codificación de control de errores del enlace descendente, la decodificación de control de errores del enlace ascendente, la combinación de diversidad de múltiples antenas del enlace ascendente de las señales que se reciben por diferentes RU, la estimación de canal y otras funciones de capa superior que se relacionan con la transmisión o recepción inalámbrica.

Las CU y las RU de la red 12 realizan funciones distintivas en la red de radio y se conectan por la red Ethernet 28. Las CU 22, 24 determinan la capacidad de transmisión de datos/señales en el sitio 10, mientras que las RU 26a-26i proporcionan cobertura de RF/señal al sitio 10.

Las CU 22, 24 contienen uno o más procesadores en los que se almacena el software para instruir a los procesadores para realizar ciertas funciones de red y de módem de banda base. Los procesadores pueden ser hardware que se forma por Circuitos Integrados (IC) y otros componentes eléctricos. Cada CU 22, 24 contiene uno o más procesadores de módem de banda base (ver Figuras 2A y 2B) o se configura para realizar las funciones de uno o más módems de banda base. Cada módem de banda base puede implementarse en uno o múltiples procesadores. Cuando un módem de banda base se implementa en múltiples procesadores, cada procesador puede ser responsable de procesar las

señales asociadas con grupos que se seleccionan de los UE. Las CU se configuran para no realizar funcionalidades de RF. Las RU se controlan por las CU y se implementan mediante bloques de hardware, tal como los transceptores de radio (véanse las Figuras 2A y 2B).

- 5 Las RU pueden tener antenas de transmisión que se integran en ellas o las antenas pueden ser externas y conectarse a las RU a través de cables de antena. Puede haber menos funcionalidad de software que se ejecuta en las RU en comparación con las CU 22, 24. En algunas implementaciones, las RU se configuran para no realizar funcionalidades de módem de banda base. En algunas implementaciones, las RU pueden realizar alguna funcionalidad de módem de banda base. Por ejemplo, en el estándar LTE, las RU pueden implementar las funciones de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y de la FFT Inversa (IFFT).
- 10 En algunas implementaciones, las RU pueden realizar funciones adicionales de módem de banda base del enlace descendente. Los módems de banda base en las CU y las RU se conectan a través de una red Ethernet conmutada comercial estándar 28 con uno o más conmutadores Ethernet 34, 36, 38. En algunas implementaciones, todas las CU y RU en el sitio 10 se conectan entre sí a través de la red Ethernet 28.
- 15 Una o más RU junto con un módem de banda base en una CU dada forman una celda física. En el ejemplo que se muestra en la Figura 1, una celda 44 incluye las RU 26a-26d que se controlan por uno o más módems de banda base (no se muestran) en la CU 22 y una celda 46 incluye las RU 26e-26i que se controlan por uno o más módems de banda base (no se muestran) en la CU 24. Las RU 26a-26i pueden desplegarse en diferentes ubicaciones del sitio 10, por ejemplo, diferentes habitaciones, pisos, edificios, etc., para proporcionar una cobertura de RF a través del sitio lo más uniformemente posible. Cada CU puede tener uno o más módems de banda base y puede controlar una o más celdas. Nominalmente, cada módem de banda base tiene la capacidad de transmisión de datos de un único sector LTE. La cantidad de módems de banda base disponibles en el sitio determina la capacidad de datos que puede suministrarse al sitio.
- 20
- 25 La red de radio 12 de la Figura 1 puede implementarse con diversas tecnologías de interfaz aérea. Actualmente, se espera que la 4G LTE se vuelva la tecnología inalámbrica dominante alrededor del mundo. La LTE es un estándar desarrollado por la organización de estándares 3GPP. La primera versión del estándar LTE estuvo disponible en la versión 8 del 3GPP. Subsecuentemente, el estándar LTE se perfeccionó en las versiones 9 y 10. La versión 11 está actualmente en desarrollo y se desarrollarán varias versiones más del estándar en el futuro. En el resto de esta descripción, se usa 3 GPP versiones 8-11 para el estándar LTE como ejemplos para describir las implementaciones de las redes de radio. Sin embargo, las redes de radio y otros sistemas y métodos de esta descripción pueden usarse con cualquier versión del estándar LTE, que incluyen las variantes de Dúplex por División de Frecuencia (FDD) y Dúplex por División de Tiempo (TDD) o con una variedad de otras tecnologías de interfaz aérea futuras o existentes, tales como la IEEE 802.11, que se conoce más popularmente como Wi-Fi o la IEEE 802.16, que también se conoce como Wi-Max o incluso interfaces aéreas 3G tal como el Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal (UMTS).
- 30
- 35

La mayoría de las redes LTE comerciales son síncronas, de modo que las fases de temporización de todas las transmisiones de los eNodeB se alinean con la hora del GPS (sistema de posicionamiento global) o el UTC (tiempo universal coordinado). En un eNodeB LTE independiente, la hora del GPS/UTC se proporciona por un receptor GPS, que es un componente físico del hardware del eNodeB. En algunas implementaciones, el hardware de las CU 22, 24 incluye un receptor GPS físico para proporcionar temporización a la red de radio 12. En los despliegues donde las CU 22, 24 están lejos de cualquier vista satelital, por ejemplo, que se ubican en lo profundo dentro de un edificio, el receptor GPS físico (no se muestra) puede ser externo al hardware de la CU y puede suministrar la información de temporización a las CU 22, 24 a través de, por ejemplo, el IEEE 1588 PTP (protocolo de tiempo de precisión). En alguna implementación, una fuente de temporización para la red de radio 12 es un servidor de temporización (no mostrado) ubicados en la red del operador (por ejemplo, la red 14, 16) que proporciona temporización a las CU 22, 24 mediante el uso, por ejemplo, del protocolo IEEE 1588. Las RU 26a-26i no contienen necesariamente ningún receptor GPS y reciben información de temporización ya sea de las CU o directamente de un receptor GPS externo a través del IEEE 1588 u otros protocolos de temporización de alta precisión. La sincronización se describe en detalle más abajo.

40

45

50

Con referencia a la Figura 2A, una CU 60 incluye un módem de banda base 62 que se conecta a las RU 66a-66e a través de una red Ethernet 68. Las RU 66a-66e pertenecen a la misma celda 64. Las posiciones de las RU se eligen para proporcionar cobertura de RF, que depende principalmente de la potencia del transmisor de las RU y del entorno de propagación de RF en el sitio. La capacidad de datos de un único módem de banda base puede compartirse por todos los UE que están en el área de cobertura de las RU que pertenecen a la celda correspondiente. El número de RU a asignar a una única celda puede determinarse en base al número de UE en el área de cobertura de las RU, las necesidades de capacidad de datos de cada UE, así como también la capacidad de datos disponible de un único módem de banda base, que, a su vez, depende de las diversas características de mejora de la capacidad soportadas por el módem de banda base.

55

60

En una red de radio, el tamaño y la forma de las celdas pueden variarse en un sitio de acuerdo con la demanda de tráfico. En áreas de alto tráfico, las celdas pueden hacerse más pequeñas que en las áreas de poco tráfico. Cuando la distribución de la demanda de tráfico a través del sitio varía de acuerdo con la hora del día u otros factores, el tamaño y la forma de las celdas también pueden variarse para adaptarse a esas variaciones. Por ejemplo, durante el día puede suministrarse más capacidad a las áreas del vestíbulo de un hotel que a las áreas de las habitaciones, mientras que en la noche puede suministrarse más capacidad a las áreas de las habitaciones que a las áreas del vestíbulo.

65

Las RU 66a-66e pueden proporcionar una intensidad de señal uniforme a lo largo de la celda 64 sin introducir ningún límite de celda. Cuando la capacidad de un único módem de banda base 62 es insuficiente para dar servicio al área, pueden añadirse módems adicionales a la CU o pueden habilitarse módems no usados en la CU para dividir una celda existente en múltiples celdas. Puede suministrarse más capacidad con múltiples celdas. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 2B, una CU 80 incluye los módems 82, 84 que controlan las celdas respectivas 86, 88 a través de una red Ethernet 96. Cada celda 86, 88 incluye una o más RU 90a, 90b, 92a, 92b para proporcionar cobertura de RF a los UE 94a-94d. Las celdas 86, 88 pueden usarse por los abonados de un operador móvil o por diferentes operadores móviles. Si es necesario, también pueden añadirse CU adicionales con más módems de banda base. Pueden añadirse RU adicionales para expandir o mejorar la cobertura de RF.

Además de los módems o funcionalidades del módem, la CU 80 contiene una unidad de coordinación 98 que coordina globalmente la programación de la transmisión y recepción de los módems 82, 84 para reducir o eliminar posibles interferencias entre las celdas 86, 88. Por ejemplo, la coordinación centralizada permite que los dispositivos 94c, 94d que se ubican dentro de la región de límite de solapamiento 100 de las dos celdas 86, 88 se comuniquen sin interferencia sustancial entre celdas. Los detalles de la coordinación centralizada se describen más abajo. Los problemas de interferencia que probablemente tengan lugar en las regiones límites de múltiples celdas dentro de todo el edificio o sitio ocurren con menos frecuencia debido al número relativamente pequeño de celdas necesarias. Las CU pueden realizar fácilmente la coordinación centralizada para el número relativamente pequeño de celdas y evitar la interferencia entre celdas. En algunas implementaciones, la unidad de coordinación 98 puede usarse como un punto de agregación para los datos actuales del enlace descendente. Esto puede ser útil para combinar el tráfico del enlace descendente asociado con diferentes celdas cuando se usa MIMO multiusuario entre usuarios con servicios en diferentes celdas. La unidad de coordinación también puede usarse como un punto de agregación para el tráfico entre diferentes procesadores de módem que pertenecen al mismo módem de banda base.

A menos que se especifique, las descripciones más abajo se dirigen mayormente a una celda y pueden extenderse fácilmente a múltiples celdas. Con referencia a la Figura 2C, una RU 200 para su uso en la red de radio de las Figuras 1 y 2A-2B pueden tener dos antenas 202, 204 para transmitir señales de RF. Cada antena 202, 204 transmite señales de RF en uno o más canales LTE (o portadores). La celda a la que pertenecen la RU 200 y sus antenas 202, 204 lleva un ID (ID de celda). La CU y sus RU y antenas pueden soportar múltiples canales LTE, cada uno con un ID de celda diferente. Además, cada antena 202, 204 se asigna a un único puerto de antena lógico de la versión 8 (puertos 0, 1, 2 o 3) y posiblemente a único puerto de antena lógico de la versión 9/10 (puertos 15, 16, ..., 22). Para el propósito de la descripción, las antenas 202, 204 también se denominan antenas físicas, mientras que los puertos de antena lógicos también se denominan puertos de antena virtuales. En el ejemplo que se muestra en la Figura 2C, la antena 202 se asigna al puerto de antena lógico 0 de la versión 8 y al puerto de antena lógico 15 de la versión 9/10; y la antena 204 se asigna al puerto de antena lógico 1 de la versión 8 y al puerto de antena lógico 16 de la versión 9 o versión 10. Los puertos de antena lógicos, junto con el ID de celda y otros parámetros que se configuran en la CU, determinan la CS-RS (señal de referencia específica de celda) 206 que transmiten las antenas en la versión 8 o la CSI-RS (señal de referencia de Información de Estado del Canal) 208 que transmiten las antenas en la versión 9 o versión 10.

Las señales de RF que se transmiten por las antenas 202, 204 llevan las señales de sincronización PSS/SSS de LTE, que incluyen un marcador para el ID de celda. En uso, un UE inactivo monitorea las señales de referencia asociadas con un ID de celda, que representa un canal LTE en una celda. Un UE conectado puede transmitir y recibir señales de RF en múltiples canales LTE en base a la agregación de canales, una característica del estándar LTE que se define en la versión 10 (los detalles se describen más abajo).

La RU 200 también puede tener más de dos antenas, por ejemplo, cuatro, seis u ocho antenas. En algunas implementaciones, todas las RU en la red de radio (por ejemplo, la red de radio 12 de la Figura 1) tienen el mismo número de antenas de transmisión y recepción. En otras implementaciones, las RU tienen diferentes números de antenas de transmisión o recepción.

Las redes de radio descritas anteriormente pueden actualizarse fácilmente en las CU, por ejemplo, para soportar futuros estándares LTE u otros, sin hacer cambios sustanciales, por ejemplo, ningún cambio, en las RU que se despliegan. En algunas implementaciones, cuando las RU soportan múltiples canales de frecuencia simultáneamente, puede realizarse una actualización para la agregación de portadoras al habilitar canales adicionales en la misma RU o, alternativamente, al desplegar nuevas RU que añadan más canales. En la agregación de portadoras mediante el uso de una única RU o múltiples RU, los canales que se agregan pueden encontrarse en la misma o en diferentes bandas de frecuencia. Igualmente, cuando las RU soportan bandas de frecuencia para la versión TDD (dúplex por división de tiempo) del estándar LTE, la capacidad LTE por división de tiempo (TD) puede añadirse en una fecha posterior al actualizar las CU y posiblemente el software/microprograma de la RU o al añadir una nueva CU. Si se requiere soporte de Wi-Fi, puede añadirse la capacidad de Wi-Fi a las RU. Los transceptores WiFi en las RU pueden gestionarse por el mismo controlador o por uno diferente y pueden gestionarse por los mismos gestores de servicios, tanto en el sitio como en la red del operador. Tales actualizaciones pueden realizarse de manera rentable, por ejemplo, al hacer cambios de hardware (a veces a lo máximo) en un número relativamente pequeño de CU en una ubicación central (lo opuesto a reemplazar un gran número de RU que están dispersas a través del sitio).

Despliegue de la Red de Radio

Con referencia a la Figura 3, una red de radio 120 se despliega en un sitio 122. Una o más CU 124 se instalan en una habitación 126, por ejemplo, una habitación de telecomunicaciones, localmente en el sitio 122. Las RU 128a-1281 se distribuyen alrededor del sitio 122. En algunas implementaciones, algunas RU se montan en la pared con antenas integradas, algunas RU se ocultan en uno o más armarios y algunas RU se instalan sobre la placa del techo y se unen a una antena que se monta en la pared a través de un cable de antena externo.

Las RU 128a-1281 se conectan a las CU 124 a través de una red Ethernet conmutada 130, que incluye cables de par trenzado y/o de fibra óptica y uno o más conmutadores Ethernet. Los componentes de la red Ethernet 130 son equipos comerciales estándar disponibles en el mercado. En algunas implementaciones, la red Ethernet 130 se dedica solamente a la red de radio. En otras implementaciones, la red de radio 120 comparte la red Ethernet 130 con otro tráfico de área local en el sitio 122. Por ejemplo, en una red empresarial, tal otro tráfico puede incluir tráfico local que se genera por diversos ordenadores en la empresa que pueden conectarse a los mismos conmutadores Ethernet. El tráfico de la red de radio puede segregarse de otro tráfico al formar una red de área local virtual (VLAN) separada y puede asignarse una QoS (Calidad de Servicio) de alta prioridad a la VLAN para controlar la latencia. En el ejemplo que se muestra en la Figura 3, las CU 124 se conectan a un conmutador Ethernet 132 ubicado (en la misma habitación 126). En algunas implementaciones, la conexión 134 usa un único enlace Ethernet de 10 Gb/s que se ejecuta a través de fibra óptica o cable de par trenzado de Categoría 6 o múltiples enlaces Ethernet de 1 Gb/s que se ejecutan a través de cables de par trenzado de Categoría 5/6.

Esas RU (no se muestran en la Figura 3) que están cerca de la habitación de telecomunicaciones 126 pueden conectarse directamente al conmutador Ethernet 132 en la habitación de telecomunicaciones 126. En algunas implementaciones, se colocan conmutadores Ethernet adicionales 136, 138, 140 entre el conmutador Ethernet 132 y las RU 128a-1281, por ejemplo, en armarios de cableado cerca de las RU. Cada armario de cableado puede contener más de un conmutador Ethernet (como el conmutador 136, 138, 140) y muchos conmutadores Ethernet pueden colocarse en varios armarios de cableado u otras habitaciones dispersas alrededor del sitio. En algunas implementaciones, se usa un único cable de par trenzado de Categoría 5/6 entre una RU y su conmutador Ethernet más cercano (por ejemplo, entre la RU 128a y el conmutador Ethernet 136). Los conmutadores Ethernet 136, 138, 140 se conectan al conmutador Ethernet 132 en la habitación de telecomunicaciones 126 a través de uno o más enlaces Ethernet de 1 Gb/s o de 10 Gb/s que se ejecutan a través de cables de fibra óptica o de par trenzado de Categoría 6. En algunas implementaciones, se integran múltiples RU en un único dispositivo físico (no se muestra) para soportar múltiples frecuencias y posiblemente múltiples operadores móviles.

Mapecto de antena en una Celda

Con referencia a la Figura 4A, una celda 300 (que se controla por un único módem o una única CU) contiene dieciséis RU 302a-302p. Las N antenas físicas (un entero, por ejemplo, 1, 2, 4, etc.) de cada RU pueden mapearse al mismo grupo de puertos de antena virtuales de la CS-RS o de la CSI-RS 0... N-1. En el ejemplo que se muestra en la Figura 4A, N es dos y el mapeo se hace de la misma manera que se muestra en la Figura 2C. Todas las RU 302a-302p en la celda 300 transmiten el mismo ID de celda en el mismo canal LTE y todas las antenas comparten el mismo ID de celda y difunden el mismo ID de celda en las Señales de Sincronización Primaria y Secundaria (PSS/SSS). (Cuando una RU da servicios a múltiples canales, diferentes canales pueden usar diferentes ID de celda). Cuando un UE se ubica en la celda 300, el UE recibe las señales de referencia del mismo puerto de antena lógico, por ejemplo, el puerto 0, desde diferentes antenas físicas de diferentes RU. Para el UE, las RU aparecen como parte de una única celda en un único canal LTE.

Alternativamente, se forman múltiples conglomerados de RU, cada uno que contiene una o más RU, dentro de una única celda. Las antenas en el conglomerado se asignan a diferentes puertos de antena virtuales de la CS-RS o de la CSI-RS, pero comparten el mismo ID de celda. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 4B, una celda 320 contiene 16 RU 322a-322p, cada una que tiene dos antenas y ocho conglomerados 324a-324f, cada uno que contiene dos RU. Dentro de cada conglomerado 324a-324f, las cuatro antenas físicas de las dos RU vecinas se asignan a cuatro puertos de antena virtuales de la CS-RS diferentes 0, 1, 2 y 3 y a cuatro puertos de antena virtuales de la CSI-RS diferentes 15 a 18. Como resultado, un grupo que tiene un total de N (N es cuatro en la Figura 4B) antenas físicas aparece para el equipo de usuario como una única celda con N puertos de antena de transmisión.

En comparación con la configuración de la celda que se muestra en la Figura 4A, el número de puertos de antena vistos por el equipo de usuario se duplica en la Figura 4B. La configuración de la Figura 4B puede mejorar el rendimiento del UE, especialmente cuando el UE está cerca de los límites de cobertura de dos o más RU vecinas. Al suponer que el UE tiene dos antenas para recibir señales, en la versión 8, el UE puede comunicarse con la red de radio a través de MIMO de usuario único 4x2. En los sistemas compatibles con las versiones 9-11 del estándar LTE, pueden usarse hasta 4 RU con 2 antenas de transmisión cada una para formar un conglomerado de 8 antenas y entonces el UE puede implementar MIMO de usuario único 8x2. El mismo UE dentro de una red de radio que tiene la configuración que se muestra en la Figura 4A puede comunicarse a través de MIMO de usuario único 2x2. Incluso la comunicación MIMO de orden superior, por ejemplo, 4x4, 8x8, es posible para los UE con 4 u 8 antenas de recepción.

Aumentar el número de antenas físicas de transmisión involucradas en las comunicaciones MIMO, por ejemplo, mediante el uso de la configuración de la Figura 4B, no aumenta sustancialmente la complejidad del procesamiento,

excepto cuando aumenta el número de capas en la multiplexación espacial, por ejemplo, de 2 (Figura 4A) a 4 (Figura 4B). Aunque se muestran y describen grupos de dos RU, como se explicó anteriormente, un conglomerado puede incluir otros números de RU y la celda 320 puede incluir grupos que tienen diferentes tamaños.

- 5 En algunas implementaciones, una estructura envolvente se usa por la CU en la asignación de las antenas físicas a los puertos de antena lógicos (o virtuales), de manera que en cualquier lugar dentro de la cobertura de la celda 320, un UE puede recibir desde tantos puertos de antena lógicos como sea posible. Esta estructura envolvente puede permitir que el MIMO de lazo cerrado de usuario único opere dentro de la celda 320 perfectamente a través de una gran área de cobertura.

10 Transmisión en simultáneo del enlace descendente y transmisión coordinada

Con referencia de nuevo a las Figuras 4A y 4B, todas las antenas se asignan al mismo puerto de antena lógico (o virtual) y transmiten las mismas señales de referencia (CS-RS o CSI-RS) de manera sincronizada en el tiempo. La asignación puede reducir los efectos del desvanecimiento de la sombra a través de la macrodiversidad. La asignación también puede presentar un canal multitrayecto a cada UE (no se muestra). En la versión 8, un UE informa de una única retroalimentación de la CSI (que incluye el CQI (indicador de calidad del canal) y el PMI/RI (indicador de matriz de precodificación/indicador de rango)) en base a las señales de referencia de la CS-RS o de la CSI-RS que recibe de todos los puertos de antena de transmisión en la celda. Cuando las antenas de diferentes RU transmiten la misma señal de referencia, el UE puede experimentar una dispersión más rica y un canal de tipo Rayleigh más amigable con MIMO sin interferencias significativas de otras antenas de transmisión en la misma celda. Además, el UE solamente ve una celda y no hay necesidad de ningún traspaso cuando el UE está en el área de cobertura de múltiples RU que pertenecen a la misma celda.

25 Un único canal de difusión PBCH (canal físico de difusión) se usa en la celda 300 o en la celda 320. Las celdas 300, 320 también implementan una única región de control del enlace descendente para transmitir señales en el PDCCH (canal físico de control del enlace descendente), el PHICH (canal físico de indicador híbrido-ARQ (solicitud de repetición automática)) y el PCFICH (canal físico indicador de formato de control). También se comparten otros canales lógicos comunes, tales como el canal de radio búsqueda PCCH, que se transmiten a través del PDSCH (canal físico compartido del enlace descendente).

Como se describió previamente, todas las antenas físicas que se asignan a los mismos puertos de antena lógicos o virtuales, tales como los puertos de antena lógicos de la versión 8 y los recursos de la CSI-RS de la versión 10, transmiten las mismas señales de control y señales de referencia. En el ejemplo que se muestra en la Figura 4B, todas las transmisiones del PDCCH/PHICH/PCFICH usan diversidad de TX de 4 antenas y todas las transmisiones de esas antenas que se asignan al mismo puerto de antena lógico son idénticas. Un UE dentro de la celda 320 percibe las transmisiones de esas antenas que se asignan al mismo puerto de antena como si las transmisiones se suministraran desde una única antena a través de un canal multitrayecto.

Además, pueden implementarse nuevas capacidades en la versión 11 para mejorar la operación MIMO del enlace descendente dentro de una celda grande, como las celdas 300, 320, que tiene muchas RU. En la versión 11, pueden usarse múltiples recursos de la CSI-RS distintos de cero dentro de una única celda. Como ejemplo, con referencia a la Figura 4C, cada RU 402a-402p (o grupos de RU) de una celda 400 se asigna a un recurso diferente de la CSI-RS con un ID de codificación de la CSI distinto 404a-404p. Cada RU con el ID de codificación de la CSI distinto opera como si fuera una celda virtual, aunque comparten el mismo ID de celda con otras RU en la misma celda. Los múltiples recursos de la CSI-RS (y los ID de codificación) en la celda 400 se monitorean por el UE. En algunas implementaciones, el UE puede configurarse por la CU (no se muestra, por ejemplo, la CU 22, 24 de la Figura 1) de la red de radio para realizar el monitoreo de múltiples recursos de la CSI-RS.

Un UE (no se muestra) en la celda 400 envía múltiples informes de la CSI a la CU de la red de radio para múltiples RU cuyas transmisiones de la CSI-RS monitorea el UE. De cada informe de la CSI, la CU obtiene un CQI para la RU respectiva y usa el CQI para determinar la intensidad de la señal de esa RU. La CU puede usar estos múltiples informes del CQI junto con múltiples informes del PMI/RI que se reciben del UE para determinar con mayor precisión los coeficientes del precodificador. En consecuencia, los múltiples informes de la CSI pueden reducir el error de cuantificación de la CSI y mejorar el rendimiento general de la red de radio. Por ejemplo, cuando un UE informa de la CSI independientemente para dos RU adyacentes, tales como las RU 402a, 402b, la CU determina los coeficientes del precodificador con mayor precisión que cuando solamente se informa un único recurso de la CSI-RS distinto de cero. Además, la versión 11 soporta informes del CQI mejorados en base a las mediciones de interferencia precisas por el UE. La versión 11 también incluye un E-PDCCH (canal físico de control del enlace descendente mejorado), que puede usarse para aumentar la capacidad del canal de control en la celda 400. Todas estas características de la versión 11 mejoran la funcionalidad de la presente descripción.

En algunas implementaciones donde la red de radio soporta múltiples celdas, las transmisiones del enlace descendente en diferentes celdas pueden coordinarse para reducir la interferencia. La coordinación puede lograrse mediante el uso de técnicas tal como la Reutilización de Frecuencia Dura y Suave (HFR/SFR) o el Multipunto Coordinado (CoMP) de la versión 11, que se describen en más detalle posteriormente.

Recepción de diversidad del enlace ascendente

Las transmisiones del enlace ascendente por un UE que tiene servicio por una celda con múltiples unidades remotas se recibirán por todas las antenas de RX en estas unidades remotas. Cuando el UE está cerca de los límites de cobertura de dos o más RU, sus transmisiones pueden recibirse por las antenas de RX de estas RU. En esta situación, el rendimiento del enlace ascendente puede mejorarse al realizar la combinación de diversidad (es decir, la Combinación de Relación Máxima (MRC), la Combinación de Rechazo de Interferencia (IRC) o la Cancelación de Interferencia Sucesiva (SIC) en el controlador) a través de las señales que se reciben por las múltiples RU. Al tener múltiples RU que envían los datos IQ recibidos al controlador, puede lograrse una combinación de múltiples antenas/múltiples RU.

Cuando hay dos o más celdas en la red de radio, las transmisiones del enlace ascendente de un UE que tiene servicio por una primera celda pueden recibirse por las antenas RX de una o más RU que pertenecen a otras celdas. En esta situación, el rendimiento del enlace ascendente también puede mejorarse al realizar la combinación de diversidad (por ejemplo, MRC, IRC o SIC) a través de las señales que se reciben por múltiples RU, que incluyen las RU que pertenecen a diferentes celdas.

División de celdas virtuales

La capacidad en la red de radio puede aumentarse mediante un procedimiento de división de celdas. En el procedimiento, las RU en una única celda se dividen entre dos celdas, lo que aumenta la capacidad en el sitio. Las dos celdas pueden suministrar hasta el doble de la capacidad porque dos UE pueden tener servicio en dos celdas diferentes en el mismo recurso de tiempo-frecuencia.

Alternativamente, la capacidad de una única celda puede aumentarse mediante el uso de la división de celdas virtuales. Las celdas, cada una que contiene múltiples RU, como se describió anteriormente, pueden dividirse virtualmente, al permitir que múltiples UE transmitan simultáneamente mediante el uso de los mismos recursos de tiempo-frecuencia, mediante el uso de o MIMO multiusuario, que es una extensión de MIMO de usuario único a múltiples UE soportados en el estándar LTE o aislamiento de RF. Por el contrario, a la división de celdas real, la división de celdas virtuales no impacta en las señales de referencia o los canales de control comunes. La división de celdas virtuales aumenta la capacidad de la celda al permitir que múltiples UE transmitan o reciban datos mediante el uso de los mismos recursos de tiempo frecuencia.

1. División de celdas virtuales del enlace descendente

A. MIMO multiusuario

En algunas implementaciones, la división de celdas virtuales se implementa con MIMO multiusuario, que se usa para enviar datos a múltiples UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia del PDSCH. Los múltiples UE pueden servirse en el mismo recurso de tiempo-frecuencia incluso cuando estos UE reciben fuertes señales de RF de las mismas antenas. La técnica MIMO multiusuario es una parte integral del estándar LTE.

En MIMO multiusuario, se aplica un conjunto único de pesos del precodificador a los símbolos de modulación que se destinan a cada UE para prevenir la interferencia entre los UE coprogramados. En particular, cuando cada UE tiene una única antena, se forman haces generalizados individualmente para cada UE. Cuando cada UE tiene múltiples antenas, la CU y las RU pueden proporcionar multiplexación espacial (es decir, enviar múltiples capas de símbolos de modulación) a cada UE, además de dar servicio a los múltiples UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia.

El MIMO multiusuario puede usarse con los esquemas de mapeo de antena que se muestran en las Figuras 4A y 4B. Por ejemplo, en el esquema de mapeo de antena de la Figura 4A, dos UE pueden servirse en el mismo recurso de tiempo-frecuencia por una o más RU. La CU para la celda 300 forma dos haces en las direcciones de las trayectorias de RF más fuertes para los dos UE, sin causar una interferencia significativa entre los dos UE.

En la versión 8, el MIMO multiusuario se soporta en el modo de transmisión del enlace descendente 5. Cada UE que tiene una única antena informa a la CU un vector de precodificación 2×1 que se selecciona de un libro de códigos de precodificación de 4 entradas y un CQI asociado, que se basa en la formación de haces de un usuario único mediante el uso del vector de precodificación que se selecciona. Cuando los vectores de precodificación que se seleccionan por dos UE son ortogonales entre sí, la CU puede programar los dos UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia mediante el uso de la mitad de la energía de transmisión disponible para cada UE.

Para dos UE que no tienen capacidades de cancelación de interferencia entre usuarios, el MIMO multiusuario con el esquema de mapeo de antena de la Figura 4A no introduce una interferencia sustancial cuando cada UE recibe las señales del enlace descendente de ambas antenas de una RU con aproximadamente la misma intensidad y cuando los vectores de precodificación que se seleccionan de los dos UE son ortogonales entre sí.

El MIMO multiusuario también puede implementarse con UE avanzados que son capaces de usar el conocimiento sobre la estructura de modulación de las señales de interferencia de los UE coprogramados para reducir la

interferencia. En algunas implementaciones, un UE con dos o más antenas puede eliminar parte de la interferencia mediante el uso del filtrado espacial.

En el modo de transmisión 8 o 9 de la versión 9 o 10, puede implementarse el MIMO multiusuario mediante el uso de la DM-RS (señal de referencia de demodulación), lo que permite a la CU usar cualquier precodificador sin limitarse a los precodificadores que se definen en el estándar en los llamados libros de códigos. El UE informa a la CU de la CSI implícitamente al seleccionar un precodificador de un libro de códigos predeterminado. En algunas implementaciones, el UE determina la CSI mediante el uso de la señal de referencia de la CSI-RS, que puede soportar hasta 8 puertos de antena. En la versión 10, la misma señal de la CSI-RS se transmite desde todas las antenas físicas de las RU que se asignan al mismo puerto de antena lógico de la CSI-RS y el UE informa solamente una CSI (es decir, CQI/PMI/RI) para cada celda (física). En el modo de transmisión 9, la CU puede programar hasta 4 UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia con hasta 2 capas por UE y hasta 4 capas por RB (Bloque de Recurso). La CU transmite los DM-RS en 12 RE (Elementos de Recurso) por RB y los 12 RE se usan para todos los UE que se coprograman en el mismo recurso. La transmisión en base a los DM-RS puede proporcionar flexibilidad y simplificación en la programación.

En algunas implementaciones, cuando la CU conoce los coeficientes del canal, elige los vectores de precodificación para que los UE proporcionen a cada UE con la máxima SINR (Relación Señal a Interferencia y Ruido) sin que el UE experimente una interferencia sustancial. Como se describió previamente, las capacidades de supresión de interferencia que se proporcionan por los UE pueden facilitar aún más una MIMO multiusuario fiable.

La versión 11 soporta el uso de múltiples señales de la CSI-RS dentro de una celda física y permite a un UE enviar más de un informe de CQI/PMI/RI por celda física. Esto puede mejorar el rendimiento del MIMO multiusuario. Por ejemplo, en la versión 11, cada RU (o cada grupo de RU) puede asignarse a una secuencia de señales de referencia de la CSI-RS que es diferente de las que se asignan a las otras RU en la misma celda. Se requiere que cada UE informe la CSI individualmente para múltiples RU en la celda. La información de CQI/PMI/RI que se obtiene de los múltiples informes puede ser más precisa que la información que se obtiene de un único informe. En base a la información precisa, la CU puede determinar con mayor precisión los vectores de precodificación en MIMO multiusuario y reducir la interferencia entre usuarios. En algunas implementaciones, la CU configura cada UE con un conjunto seleccionado, por ejemplo, pero no necesariamente todo el conjunto, de recursos de la CSI-RS disponibles en la celda de modo que el UE no tenga que enviar informes de la CSI para todos los recursos de la CSI-RS en la célula.

B. Aislamiento de RF

La división de celdas virtuales en una celda también puede lograrse en base al aislamiento de RF entre los UE en la celda. En algunas implementaciones, múltiples UE se sirven simultáneamente en el mismo recurso de tiempo-frecuencia a través de las RU o antenas cuyas áreas de cobertura no se solapan sustancialmente. Para un primer UE, en lugar de transmitir en simultáneo la misma señal del PDSCH en todas las antenas físicas que se asignan al mismo puerto de antena virtual, solamente se permite que transmitan las señales al primer UE unas pocas RU y antenas físicas que proporcionan las señales más potentes al UE dado. Se depuran las transmisiones de otras RU y antenas físicas hacia el primer UE. Una o más de las RU que no transmiten al primer UE pueden, en su lugar, transmitir a un segundo UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia. Cuando las transmisiones de las antenas físicas de las RU que dan servicio al primer UE se reciben a un nivel muy bajo por el segundo UE, e igualmente cuando las transmisiones de las antenas físicas de las RU que dan servicio al segundo UE se reciben a un nivel muy bajo por el primer UE, no ocurren interferencias significativas, incluso cuando los UE no tienen ninguna capacidad de supresión de interferencias. Las señales de referencia de DM-RS se transmiten de manera similar a las señales del PDSCH. Por ejemplo, las señales de referencia de los DM-RS para el primer UE se transmiten solamente desde las antenas de las RU que dan servicio al primer UE. En la versión 10, puede usarse MIMO multiusuario para enviar hasta 4 capas a dos o más UE. Generalmente, tales limitaciones no se aplican en el método de aislamiento de RF, pero en algunas implementaciones, puede ser necesario implementarse etapas adicionales para reducir o evitar la interferencia entre los UE.

En el ejemplo que se muestra en la Figura 5A, dos UE 502, 506 en diferentes ubicaciones en una única celda 500 se coprograman en el mismo recurso de tiempo-frecuencia en base al aislamiento de RF con hasta 2 capas por UE. La celda 500 incluye 12 RU 506a-506l, cada una que tiene dos antenas físicas y transmite la CSI-RS en los puertos de antena virtuales 15 y 16. Para dar servicio a los dos UE que están separados espacialmente en una subtrama dada, la celda única 500 se divide virtualmente para formar tres celdas virtuales 508a, 508b, 508c. Las RU 506a, 506b, 506g, 506h en la celda virtual 508a dan servicio al equipo de usuario 502. Las RU 506e, 506f, 506k, 506l en la celda virtual 508b dan servicio al equipo de usuario 506. Las RU 506c, 506d, 506i, 506j en la celda virtual 508c no dan servicio a ningún UE con el fin de evitar causar interferencia a los UE 502 y 506. El número total de capas coprogramadas en la celda única 500 es 4. Las celdas virtuales descritas anteriormente no son estáticas como las celdas físicas. Las celdas virtuales pueden variar dinámicamente de una subtrama a la siguiente y a través de los bloques de recursos. En algunas implementaciones, la variación dinámica se aplica solamente al canal de datos compartidos del PDSCH. Por ejemplo, puede que no haya división de celdas virtuales en una subtrama, mientras que, en otra subtrama, pueden aplicarse dos divisiones de celdas virtuales diferentes en dos grupos diferentes de bloques de recursos. En algunas implementaciones, una celda virtual puede tener una única RU sin transmisión en simultáneo, lo que puede eliminar el multitrayecto intencional que se causa mediante la transmisión en simultáneo. Las celdas virtuales representan la

capacidad del sistema para dar servicio a múltiples UE en la misma celda en el mismo recurso de tiempo-frecuencia.

Las RU dentro de la misma celda virtual transmiten la misma señal de referencia de los DM-RS que se selecciona de los cuatro puertos/índice de codificación disponibles {7,0, 7,1, 8,0, 8,1}. Las celdas virtuales que se ubican adyacentes entre sí (o cerca entre sí sin colindar directamente entre sí), tal como las celdas virtuales 508a, 508b y las celdas virtuales 508b, 508c, usan diferentes números de puerto de los DM-RS. Aquellas celdas virtuales que están relativamente separadas, por ejemplo, las celdas virtuales 508a, 508c, pueden reutilizar la misma señal de referencia de los DM-RS en base al aislamiento de RF. En tales implementaciones, las transmisiones de señales entre los UE y la red de radio se realizan sin interferencia significativa entre las celdas virtuales.

En algunas implementaciones, la CU elige un MCS (Esquema de Modulación y Codificación) para cada UE coprogramado en base a los valores del CQI, que se determinan por el UE a partir de las señales de la CS-RS o de la CSI-RS, que se informan por el UE. Las señales de la CS-RS o de la CSI-RS se transmiten continuamente por todas las antenas físicas en la celda física, que incluye algunas antenas que a veces pueden no transmitir en el canal de datos compartidos del PDSCH. Las señales de la CS-RS o de la CSI-RS que se transmiten desde las antenas físicas que están cerca del UE, cuando se reciben con una intensidad suficientemente alta, se ven por el UE como trayectorias de transmisión múltiples o multitrayecto de RF. En algunas implementaciones, el UE puede predecir un CQI mayor (o menor) en base al multitrayecto que el CQI actual del UE experimentará cuando se recibe en el PDSCH con menos multitrayecto. En tales implementaciones, la capacidad de HARQ (solicitud de repetición automática híbrida) en el estándar LTE puede proporcionar adaptabilidad dinámica para reducir el efecto que se causa por el desajuste entre el CQI previsto y el CQI actual. En algunas implementaciones, cuando las condiciones actuales del canal son peores que las condiciones previstas por el CQI, la CU retransmite los datos o señales con redundancia incremental para lograr la tasa máxima de datos que el canal puede soportar.

Las técnicas de división de celdas virtuales descritas anteriormente mediante el uso de MIMO multiusuario o aislamiento de RF pueden usarse en sistemas que son compatibles con todas las versiones del estándar LTE. Los UE de la versión 8 usan la CS-RS, en lugar de los DM-RS, para la demodulación, lo que, en algunas situaciones, puede causar un desajuste durante la demodulación. Todavía en muchos casos, la división de celdas virtuales de la manera descrita anteriormente es muy conveniente cuando hay un fuerte aislamiento de RF entre las antenas transmisoras y no transmisoras, de manera que los UE pueden lograr un rendimiento total mayor que cuando cualquiera de los UE se sirve en un recurso de tiempo-frecuencia dedicado.

En las versiones 9 y 10, en algunas implementaciones, la única retroalimentación de CQI/PMI/RI que se envía por los UE puede no ser suficiente para que la CU determine de manera fiable qué RU y antenas físicas son más probables para proporcionar la señal más fuerte a cada UE (en la dirección del enlace descendente). En tales implementaciones, la CU también puede usar información sobre la intensidad de las señales del enlace ascendente, tal como la Señal de Referencia de Sondeo (SRS) o las señales de control del PUCCH o los datos del enlace ascendente del PUSCH, que se reciben por las RU de los UE para determinar las antenas que probablemente proporcionen la señal más fuerte a cada UE en el enlace descendente. Después de que la CU determina las RU o las antenas físicas para la transmisión a un UE dado, la CU elige los pesos del vector de precodificación como se describió anteriormente de modo que las señales a un UE se transmitan desde antenas que el UE escuche fuertemente.

La división de celdas virtuales mediante el uso del aislamiento de RF puede implementarse con mayor precisión en la versión 11, donde los UE son capaces de enviar múltiples informes del CQI para diferentes RU. La CU usa estos informes del CQI para determinar qué RU o antenas físicas transmiten señales que probablemente se reciban por los UE coprogramados con una alta intensidad.

2. División de celdas virtuales del enlace ascendente

Con referencia de nuevo a la Figura 5A, es posible implementar la división de celdas virtuales también en el enlace ascendente. La CU puede programar múltiples UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia y reducir o eliminar cualquier interferencia entre los UE coprogramados en la CU mediante el uso de una Combinación de Rechazo de Interferencia (IRC) o Cancelación de Interferencia Sucesiva (SIC). Estas técnicas pueden depender del filtrado espacial como en MIMO multiusuario o como en el aislamiento de RF. En el enlace ascendente, los UE 502, 504, 506 comparten ciertos recursos del enlace ascendente que están disponibles en la celda 500. Los recursos del enlace ascendente pueden incluir el desplazamiento cíclico para las señales de referencia de los DM-RS y el Código de Cobertura Ortogonal (OCC) que se asignan a los UE para las transmisiones del PUSCH (Canal Físico Compartido de Enlace Ascendente) y los índices de recursos que se asignan a los UE para las transmisiones del PUCCH (Canal Físico de Control de Enlace Ascendente). La CU puede crear celdas virtuales en el enlace ascendente al reusar los mismos recursos entre los UE en la misma celda física. La cantidad de UE que pueden transmitir simultáneamente en el mismo recurso de tiempo-frecuencia se limita, al menos parcialmente, por la disponibilidad de los recursos del enlace ascendente en la celda única. Reusar los mismos recursos entre los UE puede aumentar la capacidad total disponible en el enlace ascendente.

A. Transmisiones del PUSCH

Las señales de referencia de los DM-RS que se usan por un UE dependen del número de Bloques de Recursos (RB) que se asignan a ese UE. Para las transmisiones del PUSCH, el número de RB puede llegar a ser tan alto como 108. Una señal de referencia de los DM-RS que tiene una longitud de $12 \times N$ se deriva de una secuencia base de la misma longitud, donde N es el número de RB que se asignan al UE. Pueden derivarse hasta 12 secuencias de referencia de los DM-RS (o, de manera intercambiable, señales) de cada secuencia base mediante el uso de un desplazamiento cíclico en el dominio del tiempo. Estas secuencias de referencia desplazadas cíclicamente son ortogonales entre sí. Cuando el canal para transmitir las secuencias de referencia es suficientemente plano a través de un RB, dos UE pueden transmitir sus señales de referencia de los DM-RS con diferentes desplazamientos cíclicos en el mismo RB. La CU puede entonces estimar los respectivos canales del enlace ascendente para las transmisiones desde los dos UE sin experimentar ninguna interferencia sustancial entre ellos. Cuando el canal no es lo suficientemente plano, pueden generarse menos de 12 secuencias de referencia de los DM-RS ortogonales al desplazar cíclicamente una secuencia base.

En algunas implementaciones, las secuencias de referencia de los DM-RS ortogonales se usan para la multiplexación espacial de usuario único (hasta 4 capas) y MIMO multiusuario. En la versión 10, puede aplicarse un código de cobertura ortogonal a las dos secuencias de los DM-RS de manera que dos capas pueden transmitirse mediante el uso del mismo desplazamiento cíclico, mientras se mantienen las señales de referencia de los DM-RS ortogonales.

En algunas implementaciones, los UE que se sirven por la misma celda física (por ejemplo, la celda 500 de la Figura 5A) usan la misma secuencia base para las transmisiones del PUSCH. Cuando múltiples UE transmiten en el mismo recurso de tiempo-frecuencia, la CU coordina la asignación de desplazamientos cíclicos y las coberturas ortogonales en la programación del enlace ascendente para mantener las señales de referencia de los DM-RS que se transmiten en el mismo recurso de tiempo-frecuencia ortogonal. En tales implementaciones, permanece disponible un número suficiente de desplazamientos cíclicos para la asignación y para su uso en multiplexación espacial o MIMO multiusuario en cada celda. Por ejemplo, cuando se dispone de 6 desplazamientos cíclicos de la secuencia base y los 6 desplazamientos cíclicos se acoplan con un código de cobertura ortogonal por pares, la CU puede dar servicio a hasta 12 capas en el mismo recurso de tiempo-frecuencia del enlace ascendente con señales de referencia de los DM-RS ortogonales.

En algunas implementaciones, una celda física descrita previamente (por ejemplo, la celda única 500 de la Figura 5A) puede ser arbitrariamente grande. En una celda grande, cuando hay un uso extensivo de transmisiones simultáneas del enlace ascendente en el mismo recurso de tiempo-frecuencia, la CU puede encontrarse con poca disponibilidad de desplazamientos cíclicos y de coberturas ortogonales para mantener la ortogonalidad entre las señales de referencia de los DM-RS. De manera similar al aislamiento de RF en el enlace descendente, el enlace ascendente puede reutilizar la una o más señales de referencia de los DM-RS en el mismo recurso de tiempo-frecuencia cuando las transmisiones del enlace ascendente por los respectivos UE coprogramados no interfieren sustancialmente entre sí. En algunas implementaciones, cuando no hay un solapamiento sustancial entre las señales que se reciben de los UE coprogramados por ciertos grupos de RU o antenas receptoras, puede usarse la misma señal de referencia de los DM-RS para esos UE. La CU puede determinar qué grupos de antenas receptoras o RU reciben señales significativas de un UE en base al PUCCH, las SRS (Señales de Referencia de Sondeo) y las transmisiones del PUSCH anteriores y puede asignar desplazamientos cíclicos y OCC en consecuencia.

En algunas implementaciones, cuando hay múltiples celdas que se sirven por uno o más controladores, también es posible asignar la misma secuencia base a todas las celdas. Esto permite al controlador asignar todos los UE a desplazamientos cíclicos de la misma secuencia base y garantizar la ortogonalidad entre los UE, que incluyen aquellos UE que se sirven por diferentes celdas. En base al aislamiento de RF, el controlador también puede reutilizar los mismos desplazamientos cíclicos en diferentes partes del sitio y aumentar el número de UE que pueden soportarse.

En una red de radio compatible con los estándares de la versión 11, pueden asignarse diferentes RU en una celda (tal como la celda 500 de la Figura 5A) a diferentes secuencias de base de los DM-RS. En algunas implementaciones, no se garantiza la ortogonalidad entre diferentes desplazamientos cíclicos de diferentes secuencias de bases, pero se aumenta el número de secuencias de los DM-RS disponibles. En consecuencia, puede aumentarse el tamaño de la celda y puede darse servicio a más UE en el mismo recurso de tiempo-frecuencia.

B. Transmisiones del PUCCH y el PRACH

Para las transmisiones del PUCCH, por ejemplo, para transmitir ACK/NAK de HARQ o Información de Estado del Canal (CSI), diferentes transmisiones de UE en diferentes celdas usan diferentes secuencias de base para evitar colisiones entre las transmisiones de UE en las diferentes celdas físicas. Esto puede lograrse al asegurar que los ID de celda que se usan por las celdas vecinas no solapen al módulo 30. El salto de grupo, una característica del estándar LTE, también puede usarse para aleatorizar la interferencia entre las transmisiones del PUCCH de diferentes UE en diferentes celdas físicas.

Los desplazamientos cíclicos ortogonales de las secuencias base (y posiblemente los OCC) se usan en las transmisiones del PUCCH para permitir que múltiples UE transmitan en los mismos recursos de tiempo-frecuencia. En algunas implementaciones, es posible reutilizar los desplazamientos cíclicos (y los OCC cuando se usan) en diferentes

partes de la celda para aumentar el número de UE que transmiten al mismo tiempo. El aislamiento de RF puede usarse por el controlador para determinar qué UE pueden reutilizar el uno o más desplazamientos cíclicos de secuencia base y coberturas ortogonales para el mismo recurso de tiempo-frecuencia en base a las transmisiones que se reciben de los UE, por ejemplo, en el PRACH (Canal Físico de Acceso Aleatorio) o en las transmisiones previas del PUCCH o del PUSCH.

La interferencia entre una celda (por ejemplo, cualquier celda única descrita previamente) y cualquier macrocelda cercana (por ejemplo, una red móvil que proporciona cobertura fuera del sitio 10 en la Figura 1) se aleatoriza y se mantiene pequeña. En algunas implementaciones, la CU elige las secuencias de bases para su uso en las transmisiones del PUSCH o del PUCCH que son diferentes de las secuencias de bases usadas en macroceldas cercanas. Además, la CU también puede implementar el salto de grupo.

En algunas implementaciones, también es posible que dos o más UE que transmiten en el Canal de Acceso Aleatorio (RACH) mediante el uso del mismo preámbulo se detecten por la red de radio de la presente descripción. Cada celda tendrá 64 preámbulos disponibles en cada oportunidad del PRACH. Al procesar individualmente las señales que se reciben de cada RU o grupo de RU, el controlador puede detectar de manera fiable múltiples transmisiones del PRACH que usan el mismo preámbulo y que están libres de interferencias significativas entre ellas. Por ejemplo, con referencia a la Figura 5B, el controlador 550 procesa individualmente las señales de cada RU o grupo de RU (por ejemplo, celdas virtuales 508a, 580b, 508c) para detectar múltiples transmisiones del PRACH 552, 554, 556 que usan el mismo preámbulo.

Cobertura dinámica y ajuste de la capacidad

Con referencia de nuevo a las Figuras 2A y 2B, la cobertura y la capacidad de RF que se proporcionan en la red de radio se desacoplan. Las RU 66a-66e, 90a, 90b, 92a, 92b proporcionan la cobertura y los módems de banda base 62, 82, 84 o las CU 60, 80 proporcionan la capacidad. En algunas implementaciones, algunas RU en una red de radio se despliegan de manera más densa y con más potencia de transmisión que otras RU con el fin de superar la posible interferencia de los eNodoB cercanos, por ejemplo, macroceldas. En algunas redes de radio de esta descripción, las RU se despliegan muy cercanas entre sí, porque pueden pertenecer a la misma celda y, por lo tanto, no causan ninguna interferencia entre celdas. Tales implementaciones tan densas a veces no son posibles con las estaciones base tradicionales. El número de módems de banda base (y celdas) necesarios para un sitio depende del número de usuarios, la cantidad de uso de datos por usuario y la distribución de usuarios a través del sitio en función del tiempo, etc. En general, se usa un número mínimo de módems de banda base (y celdas) para mantener el costo bajo y evitar límites de celda innecesarios. Cuando la demanda de cobertura y/o capacidad cambia, la red de radio de esta descripción puede ajustar dinámicamente su cobertura y capacidad.

1. Reasignación dinámica de la capacidad

En algunas implementaciones, cuando múltiples RU comparten la misma celda/módem de banda base, la capacidad del módem de banda base se comparte por todos los UE que caen dentro del área de cobertura de todas las RU que se asignan al módem de banda base. En un área de uso de datos relativamente alto, las RU que forman la celda pueden cubrir un área más pequeña que las RU en otra celda que cubre un área de uso de datos relativamente bajo. Por ejemplo, en un sitio que usa 4 módems (y 4 celdas) y 24 RU, las 4 celdas pueden tener 2, 4, 8 y 10 RU, respectivamente, lo que proporciona diferentes tamaños de celda que se ajusten a la demanda de cobertura y capacidad. La asignación de RU a las celdas puede cambiarse dinámicamente en base a los cambios en la demanda de capacidad. Los cambios pueden hacerse manualmente, por ejemplo, al tener una persona local que modifique el mapeo de la RU al controlador, semiautomáticamente, por ejemplo, en base a la hora del día (ToD) o automáticamente, por ejemplo, por el controlador en base a la detección de un cambio en la distribución del tráfico. Los cambios pueden redistribuir la capacidad en el sitio, sin ningún cambio sustancial en el equipo desplegado.

Como ejemplo, con referencia a las Figuras 6A y 6B, una red de radio 602 que incluye tres módems 604a, 604b, 604c que controlan tres celdas respectivas 608a, 608b, 608c a través de una red Ethernet comercial 606 se despliega en un sitio 600. El sitio 600 puede ser un edificio comercial que incluya áreas de compras y espacios de oficinas, que tienen diferentes demandas de capacidad (como se muestra esquemáticamente por diferentes números de usuarios en las figuras) en diferentes ToD. Cada una de las celdas puede incluir diferentes números de RU (no se muestran) para cubrir áreas de diferente tamaño, mientras proporcionan sustancialmente la misma capacidad de tráfico. Las formas de las áreas cubiertas por las diferentes celdas también pueden ser diferentes.

Con referencia particularmente a la Figura 6A, en un momento dado (hora 1, por ejemplo, horas de trabajo en un día laborable), la mayoría de los usuarios del sitio 600 se concentran en las áreas pequeñas 610, 612 (por ejemplo, espacios de oficina), mientras que la densidad de usuarios es relativamente baja en el área más grande 614 (por ejemplo, las áreas de compras). Para satisfacer las diferentes demandas de capacidad en las diferentes áreas del sitio 600, las celdas 608a, 608b que tienen un número relativamente pequeño de RU se forman para cubrir las áreas 610, 612 y se forma la celda 608c que tiene un número relativamente grande de RU para cubrir el área 614. Cada celda 608a, 608b, 608c tiene sustancialmente la misma capacidad.

Las demandas de capacidad en el sitio 600 pueden cambiar dinámicamente. Con referencia a la Figura 6B, en otro momento dado (hora 2, por ejemplo, las horas de almuerzo en un día laborable), hay una alta densidad de usuarios en las áreas 618, 620 (por ejemplo, áreas de restaurantes en el área de compras 614 de la Figura 6A) y hay relativamente pocos usuarios que están en el área 616 (por ejemplo, áreas de oficinas 610, 612 y áreas de tiendas en el área de compras 614 de la Figura 6A). En respuesta, una o más RU en el sitio 600 se reasignan a diferentes módems, de manera manual, semiautomática o automática, para formar nuevas celdas 622a, 622b, 622c que cubren las respectivas áreas 616, 620, 618. La celda 622a contiene un número relativamente grande de RU. Las celdas 622b, 622c contienen un número relativamente pequeño de RU. Cada celda 622a, 622b, 622c tiene sustancialmente la misma capacidad. La reasignación dinámica de la capacidad se implementa a través de la red Ethernet.

2. Aumento de la capacidad total

En algunas implementaciones, en lugar de o además de la redistribución de las demandas de capacidad en un sitio (por ejemplo, el sitio 600 de las Figuras 6A y 6B), el sitio también experimenta un aumento en la demanda de capacidad total. Por ejemplo, aumenta el número de abonados móviles y/o aumenta la cantidad de demanda de datos por abonado. En estas implementaciones, puede(n) introducirse un(os) módem(s) adicional(es) (y, en consecuencia, una(s) celda(s) adicional(es)). Por ejemplo, puede habilitarse un módem sin usar existente en una CU de la red de radio y algunas de las RU ya desplegadas en el sitio pueden reasignarse al nuevo módem. Esta es una forma de división de celdas real, que puede implementarse de manera conveniente, por ejemplo, como una actualización de software y típicamente no requiere ningún cambio de hardware en las RU instaladas. Alternativamente o, además, pueden añadirse uno o más módems nuevos en una CU y/o una o más CU nuevas pueden añadirse a la red de radio en el sitio. En algunas implementaciones, la capacidad total del sitio puede aumentarse sin afectar los módems, celdas y RU desplegadas previamente. La adición de más módems o hardware de CU es significativamente menos costosa, tanto en términos de equipo como de coste de instalación, en comparación con añadir muchos puntos de acceso nuevos a través del sitio. El método de división de celdas físicas descrito anteriormente se implementa mediante el uso de la red Ethernet.

Control de interferencia entre celdas del enlace descendente

En algunas implementaciones, la interferencia entre celdas en el PDSCH se reduce mediante el uso de la reutilización de frecuencia dura (HFR). La HFR puede implementarse como un esquema estático o semiestático, donde los bloques de recursos disponibles se dividen entre grupos de celdas de acuerdo con la reutilización de frecuencia de la vía K, donde K es típicamente 3 o 7, de modo que cada celda use un tercio (o un séptimo) de los bloques de recursos disponibles. Cuando solamente una celda transmite en cada bloque de recursos, las celdas en el mismo grupo de reutilización de frecuencia no verán ninguna interferencia del PDSCH de las demás. Implementar la HFR puede costar $(K-1)/K \times 100 \%$ del ancho de banda disponible.

Alternativamente, la interferencia entre celdas en el PDSCH puede reducirse mediante el uso de reutilización de frecuencia suave (SFR). En la SFR, los recursos disponibles se particionan entre las celdas vecinas en el mismo grupo de reutilización de frecuencia. A diferencia de la HFR, donde a cada bloque de recursos se le asigna un estado binario (encendido/apagado), es decir, la potencia completa o sin potencia en absoluto, en la SFR, a cada bloque de recursos puede asignarse cualquier nivel de potencia de transmisión. Por ejemplo, considere el siguiente esquema con 3 niveles de potencia diferentes (alto (H), medio (M), bajo (L)). Con referencia a la Figura 17A, en cada celda 2400a, 2400b, 2400c, cada bloque de recursos 2402 se asigna a uno de estos niveles de potencia (H, L o M), de manera que en los bloques de recursos donde a una celda se le asigna una potencia alta, a sus dos celdas vecinas se les asigna una potencia baja. Como resultado, cada celda tendrá dos veces más bloques de recursos de baja potencia que de alta potencia. Cada eNodeB asignará a los UE a los que da servicio uno de los niveles de potencia, típicamente durante el establecimiento de la conexión, en base a la SNR promedio que experimenta el UE y posiblemente otros factores, tal como la cantidad de datos que el UE tiene para la transmisión. A los UE que están en buenas condiciones, por ejemplo, que se ubican cerca del centro de una celda dada o que tienen pocos datos para enviar, se les asigna un nivel de potencia del PDSCH bajo, mientras que, a los UE en malas condiciones, por ejemplo, que se ubican cerca del borde de la celda o que tienen muchos datos para transmitir se les asigna una potencia del PDSCH alta. En consecuencia, cuando el controlador da servicio a un usuario del borde de la celda, el UE experimentará tanto una potencia de señal recibida mayor como un nivel de potencia de interferencia menor, lo que incrementa su SNR recibida promedio. Cuando los UE se mueven y sus condiciones de canal cambian, el controlador puede cambiar el nivel de potencia de transmisión para el UE al enviar un mensaje de reconfiguración de capa superior. Cuando se programan los UE para la transmisión en bloques de recursos, el controlador puede necesitar efectivamente ejecutar programadores paralelos, uno por nivel de potencia. En algunas implementaciones, la partición estricta de los recursos puede conducir a la pérdida de eficiencia en la programación, por ejemplo, debido a la pérdida de alguna diversidad multiusuario. Tales ineficiencias pueden volverse visibles cuando la distribución de potencia del PDSCH de los UE activos no se ajusta con relación a la distribución de potencia de los bloques de recursos. La asignación de potencia fija también puede ser ineficiente porque a veces fuerza innecesariamente una transmisión de baja potencia para un UE, aunque una transmisión a un nivel de potencia mayor puede no causar ninguna interferencia a un UE del borde de la celda que se sirve por una celda vecina en el mismo grupo de reutilización de frecuencia cuando el UE está en el lado opuesto de la celda vecina.

Programación coordinada

Las eficiencias de la SFR pueden mejorarse al implementar la partición de recursos/potencia dinámicamente como parte de un programador multicelda centralizado en el controlador. El controlador puede asignar dinámicamente bloques de recursos y potencia de transmisión en base a los informes de gestión de recursos de radio (RRM) que se reciben de los UE. La implementación puede evitar la necesidad de asignar niveles de potencia de transmisión a bloques de recursos de forma semiestática como en la HFR o la SFR.

En LTE, cada celda difundirá periódicamente su lista de vecinos en un Bloque de Información del Sistema (SIB) de tipo 4 (SIB4). Un UE conectado monitoreará las celdas en la lista de vecinos y enviará Informes de Medición a la celda de servicio. Estos informes pueden enviarse periódicamente o en base a ciertos activadores. El período del informe y los activadores se configuran por la celda de servicio mediante el uso de un mensaje de Reconfiguración de RRC. El informe de medición de cada UE incluye dos mediciones por celda: i) Potencia Recibida de la Señal de Referencia (RSRP) y ii) Calidad Recibida de la Señal de Referencia (RSRQ). La RSRP es la potencia promedio que se recibe de un RE de la CS-RS y es indicativo de la intensidad de señal que se recibe y la RSRQ es un indicador adicional de la calidad de la señal, que también proporciona una medida aproximada de la interferencia. En algunas implementaciones, la programación coordinada en el controlador funcionará como sigue:

Cada módem de banda base enviará al coordinador central los informes de la RSRP de la lista de vecinos que se reciben de cada uno de los UE conectados a los que da servicio, así como también la cantidad de datos que cada UE tiene en espera para la transmisión. Los módems de banda base pueden enviar estos informes tras la activación de ciertos eventos, por ejemplo, cuando un UE se conecta o desconecta recientemente o cuando hay un cambio significativo en los informes de la RSRP de los UE. También es posible que el coordinador central encueste los módems de banda base para obtener estos informes de la RSRP.

El coordinador central usará la información que se recibe para construir un mapa del ancho de banda y asignación de potencia del PDSCH para cada UE y enviará periódicamente esta información a sus módems de banda base de servicio. La lógica básica para crear este mapa de asignación de ancho de banda se describe más abajo.

Los módems de celdas individuales comunican la asignación de la potencia del PDSCH a los UE, por ejemplo, poco después de establecer la conexión. Para cada subtrama, los módems de banda base individuales programan datos UE para su transmisión en el PDSCH. Los módems de banda base programan las transmisiones de manera que sea consistente con los niveles de potencia y los recursos de ancho de banda que se asignan a cada UE por el coordinador central.

Seguidamente, se proporcionan ejemplos que usan dos celdas adyacentes con la Figura 17B. Suponga que cada celda 2410a, 2410b tiene un UE conectado y que cada UE tiene cantidades similares de datos en espera para la transmisión. Si ambos UE están fuera del límite de la celda, el coordinador central asignaría la banda de transmisión completa a ambos UE ya que ninguno experimentaría una interferencia significativa entre celdas. Si ambos UE están cerca del límite de la celda, entonces el coordinador de la celda asignaría el 50 % del ancho de banda de transmisión a cada UE a la potencia completa. Si un UE está cerca del límite de la celda, pero el otro está lejos del límite de la celda, entonces el coordinador de la celda podría asignar la banda de transmisión completa a ambos UE, pero asignar un nivel de potencia menor al UE lejos del límite de la celda para reducir la interferencia con el UE cerca del límite de la celda en la otra celda. Cuando los UE tienen cantidades significativamente diferentes de datos en espera para la transmisión, el coordinador de celda puede dar más ancho de banda al UE con más datos.

En un caso más complejo donde cada celda tiene 10 UE conectados con un 50 % cerca del límite de la celda y un 50 % lejos del límite de la celda y los UE cerca del límite de la celda tienen cantidades de datos similares a las de los UE lejos del límite de la celda, el coordinador central podría asignar recursos como sigue: A los UE que están lejos del límite de la celda se les asigna el ancho de banda de transmisión completo, pero a un nivel de potencia reducido y a los UE que están cerca del límite de la celda se les asigna el 50 % de la banda de transmisión de manera no solapada, pero a máxima potencia. Esto se ilustra en el diagrama más abajo.

Si la relación del número de UE en el borde de la celda y el número de UE en el centro de la celda es diferente de 1:1 o la cantidad de datos que los UE tienen para transmitir cerca del borde de la celda es diferente de la cantidad de datos que los UE tienen para transmitir en el centro de la celda, el coordinador central puede ajustar el ancho de banda y el esquema de asignación de potencia para que se ajuste a las necesidades de datos de los UE. La adaptabilidad de la asignación puede hacer que el sistema sea significativamente más eficiente en cuanto al ancho de banda, mientras mejora el rendimiento del borde de la celda para los UE desventajados.

En algunos casos, puede haber interferencia entre la red de radio y otras redes, tales como la macrored y tal interferencia también se considera y se reduce. La versión 8 soporta mensajes en la interfaz X2 para permitir que los eNodeB intercambien información en los niveles de potencia que se usan en cada uno de los bloques de recursos de los eNodeB. En algunas implementaciones, la interfaz X2 se usa entre el controlador de la descripción y los eNodeB de las otras redes de radio (por ejemplo, macroceldas). El uso puede facilitar el intercambio de información entre el controlador y los eNodeB para soportar la programación coordinada. Como ejemplo, cada eNodeB puede indicar al controlador para cada bloque de recursos si el nivel de potencia en ese bloque de recursos permanecerá más abajo de

un cierto umbral, que también se señala por separado. Esto permitirá que el controlador programe aquellos UE que se ubican en los bordes de las celdas en bloques de recursos donde las celdas vecinas transmiten más abajo de un cierto nivel de potencia. Pueden usarse técnicas similares para coordinar las transmisiones por diferentes controladores en la misma red de radio, en la que cada controlador puede informarse sobre las asignaciones de potencia de la SFR (Reutilización de Frecuencia Suave) a través de un sistema de gestión o mediante el uso de una variante de la interfaz X2.

Técnicas de control de interferencias para los UE de la versión 10

En algunas implementaciones, la interferencia del canal de control entre celdas para redes jerárquicas con acceso cerrado o extensión de intervalo puede reducirse al hacer que las celdas apaguen (en blanco) la potencia en todos los bloques de recursos en ciertas subtramas. Cuando no se transmiten datos del PDSCH en una subtrama, tampoco se envían mensajes de control en el canal de control del enlace descendente, lo que reduce significativamente la interferencia del PDCCH. Además, al configurar estas tramas en blanco como las llamadas MBSFN (Subtramas de Multidifusión/Difusión), también puede eliminarse la interferencia de los RE de la CS-RS en la región del PDSCH.

En una subtrama de MBSFN, la CS-RS solamente se transmite en la región de control de la subtrama. Esto elimina al menos la interferencia de la CS-RS en transmisiones del PDSCH (aunque no necesariamente al PDCCH) en celdas vecinas. Las subtramas de MBSFN en LTE se desarrollaron en la versión 8 para llevar señales de difusión/multidifusión, pero también pueden usarse para no enviar ningún dato. Una celda puede configurarse para enviar subtramas de MBSFN de acuerdo con un cierto patrón y el patrón puede comunicarse a los UE a través del Bloque de Información del Sistema (SIB). Solamente 6 de las 10 subtramas (#1, 2, 3 y 6, 7, 8) en una trama de radio pueden usarse para la MBSFN. Las tramas de MBSFN tienen una región de control de hasta 1 símbolo de OFDM para 1 o 2 antenas de TX y 2 símbolos de OFDM para 4 antenas de TX.

El uso solamente de subtramas de MBSFN en blanco puede no eliminar la interferencia entre celdas entre el PBCH, la información del sistema (SIB) y las transmisiones de la PSS/SSS. En algunas implementaciones, la interferencia entre celdas es entre una celda pequeña y una única macrocelda y la interferencia puede reducirse o eliminarse al desplazar la numeración de subtramas en la celda pequeña con relación a la macrocelda. Por ejemplo, si el número de subtrama relativo de la red de celdas pequeñas tiene un desplazamiento de 2 con relación a la red de macroceldas (es decir, la subtrama #0 en la red de celdas pequeñas coincide con la subtrama #2 en la red de macroceldas) y las subtramas de macroceldas 2 y 7 son subtramas de ABS/MBFSN, los UE de celdas pequeñas pueden recibir la PSS/SSS y el PBCH sin ninguna interferencia de la macrocelda.

En algunas implementaciones, la macrocelda coordina sus transmisiones solamente con el controlador y no es necesario que el eNodeB de la macrocelda coordine sus transmisiones con múltiples estaciones base.

Multipunto coordinado (CoMP)

El CoMP se refiere a un amplio conjunto de técnicas que involucran la coordinación entre celdas vecinas para reducir los efectos de la interferencia entre celdas. La coordinación completa se denomina como transmisión conjunta (JT). En JT, dos o más módems de banda base cooperan para dar servicio a sus UE a través de todas las RU que controlan conjuntamente. Todas las antenas disponibles pueden usarse para dar servicio a un UE con MIMO de Usuario Único o a múltiples UE simultáneamente mediante el uso de MIMO Multiusuarios. En algunos casos donde se implementa la JT, los UE envían retroalimentación de la CSI no solamente para los puertos de antena de su celda de servicio, sino también para los puertos de antena de las celdas vecinas.

En JT, similar al MIMO multiusuario de celda única, los bloques de transporte para diferentes UE se procesan en paralelo y entonces se combinan antes de la IFFT. Sin embargo, diferentes módems de banda base manejan el procesamiento de los bloques de transporte de los UE en diferentes celdas. En algunas implementaciones, el controlador puede incluir una unidad de coordinación para coordinar la programación en diferentes módems de banda base. La unidad de coordinación también puede servir como un punto de agregación para combinar bloques de transporte procesados que se originan en diferentes módems de banda base. Como ejemplo, una red de radio 2700 que se muestra en la Figura 20A incluye tres celdas que se forman por el módem de banda base 2706 y la(s) unidad(es) remota(s) 2716, el módem de banda base 2708 y la(s) unidad(es) remota(s) 2718 y el módem de banda base 2710 y la(s) unidad(es) remota(s) 2720. El controlador 2704 que controla las tres celdas incluye una unidad de coordinación 2702, que sirve como un punto de agregación para combinar (que se representa por el símbolo " $\oplus$ ") bloques de transporte que se originan desde diferentes módems 2704, 2708, 2710.

Alternativamente, como se muestra en la Figura 20B, en una red de radio 2730, los módems de banda base 2732, 2734, 2736 que controlan las celdas que incluyen la(s) unidad(es) remota(s) 2742, la(s) unidad(es) remota(s) 2744, la(s) unidad(es) remota(s) 2746, respectivamente, pueden intercambiar datos directamente entre ellos de modo que cada módem de banda base pueda combinar todas las señales que se destinan a los UE (no se muestran) a los que dan servicio.

En algunas implementaciones, con referencia a la Figura 20C, en una red de radio 2760, cada módem de banda base

2762, 2764, 2766 envía bloques de transporte procesados a las RU 2772, 2774, 2776 y las RU realizan la combinación antes de aplicar la IFFT.

- 5 Una capacidad del CoMP algo reducida se llama Selección Dinámica de Puntos (DPS). En la DPS, la celda de servicio envía una transmisión del PDSCH en un recurso de tiempo-frecuencia a través de solamente una celda de antenas de TX en base a la selección de la celda de retroalimentación que se recibe del UE. La celda que se selecciona puede variarse dinámicamente de una subtrama a la siguiente, e incluso entre bloques de recursos dentro de la misma subtrama. La celda que se selecciona puede ser diferente de la celda de servicio del UE.
- 10 Otra forma del CoMP es la conformación de haces coordinado (CB). En la CB, cuando una celda de servicio transmite a un UE desde sus RU, también tiene en cuenta la interferencia que creará para otro UE en una celda vecina. Al elegir el(los) vector(es) de precodificación para anular la interferencia con el UE de la celda vecina, el controlador permite que el módem de banda base de una celda vecina de servicio al otro UE a una tasa de datos mayor.
- 15 La versión 11 tiene nuevas capacidades para soportar la transmisión coordinada. Por ejemplo, la versión 11 permite que los UE informen la CSI para múltiples CSI-RS, que pueden pertenecer a diferentes celdas.

Comunicaciones entre los controladores y las unidades remotas

- 20 Como se explicó previamente, las CU y las RU de una red de radio se conectan a través de una red Ethernet conmutada (véase, por ejemplo, la Figura 3). Nominalmente, la interfaz entre las CU y las RU llevará los símbolos IQ en el dominio del tiempo (a veces también denominados como señales) en tramas de Ethernet. Sin embargo, la tasa de bits de los símbolos IQ en el dominio del tiempo puede ser demasiado alta para una red Ethernet. En algunas implementaciones, en lugar de enviar los símbolos IQ en el dominio del tiempo, se envía una representación comprimida de los símbolos IQ en el dominio del tiempo para reducir la tasa de bits y para proporcionar una tasa de datos entre las CU y las RU que sea compatible con la red Ethernet conmutada de bajo coste. En algunas implementaciones, en el enlace descendente, las CU de la red de radio envían los símbolos IQ cuando están en el dominio de la frecuencia y antes de realizar la IFFT (transformada rápida de Fourier inversa) en los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia. Una CU envía los datos IQ en el dominio de la frecuencia que representan cada símbolo de OFDM a una RU, por ejemplo, al cuantificar los componentes reales e imaginarios de los símbolos en el dominio de la frecuencia. Los bits de salida del cuantificador se empaquetan entonces en tramas Ethernet y se transmiten a las RU a través de la red Ethernet. La RU reconstruye los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia cuantificados antes de aplicar la IFFT, insertar un prefijo cíclico y realizar el filtrado, la modulación y el procesamiento de RF.
- 35 Para el propósito de la descripción, se usa como ejemplo una red de radio para un sistema FDD LTE de 10 MHz. Para cada puerto de antena de TX, cada símbolo de OFDM tiene 600 subportadoras y hay 14 símbolos de OFDM en cada subtrama de 1 ms. Cada subtrama tiene 8400 elementos de recursos (RE) en total. Cada RE corresponde a una subportadora en un símbolo de OFDM. En el enlace descendente, los primeros 1-3 símbolos de OFDM en una subtrama se usan principalmente para la señalización de control (por ejemplo, PDCCH, PHICH y PCFICH) y los símbolos de OFDM restantes llevan principalmente los datos de usuario en el canal de datos compartidos (PDSCH). Las señales de referencia y otros canales comunes se dispersan a través del eje de tiempo-frecuencia.
- 40

- 45 La compresión de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia puede reducir la tasa de bits del tráfico que se envía a través de la red Ethernet. Los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia comprimidos se transmiten a través de la red Ethernet sin ceros de banda de guarda o cualquier prefijo cíclico. Cuando la CU usa un cuantificador de 12 bits para comprimir los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia, la tasa de bits nominal del flujo IQ en el dominio de la frecuencia es de aproximadamente 403 Mb/s para 2 antenas de TX y 806 Mb/s para 4 antenas de TX. Esto representa una reducción del 45 % en la tasa de bits en comparación con la cuantificación del flujo IQ en el dominio del tiempo mediante el uso del mismo cuantificador (735 Mb/s para 2 antenas de TX y 1471 Mb/s para 4 antenas de TX). La tasa entre la CU y las RU se reduce y se permite que la CU y las RU se comuniquen a través de enlaces Ethernet que operan a una velocidad en el orden de Gb/s con menos latencia.
- 50

- 55 En el enlace ascendente, además del procesamiento y la demodulación de RF, las RU eliminan el prefijo cíclico de las muestras IQ en el dominio del tiempo para cada símbolo de OFDM que se recibe y aplican la FFT para producir los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia. La información que se lleva por los símbolos entonces se cuantifica, se empaqueta en tramas Ethernet y se transmite a la CU a través de la red Ethernet. Cuando se usa el cuantificador de 12 bits, la tasa de bits resultante de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia en el enlace ascendente es sustancialmente la misma que la descrita para el enlace descendente.

- 60 Más abajo se describen varias técnicas más que pueden reducir aún más significativamente la tasa de datos entre la CU y las RU.

1. Compresión del enlace descendente dentro de una celda

- 65 A. Descripción general de la compresión del enlace descendente

Típicamente, todas las antenas de las RU que pertenecen al mismo puerto de antena en la misma celda (a menos que se especifique explícitamente como una celda virtual, las celdas son físicas) transmiten la misma señal LTE. En consecuencia, en el enlace descendente, para cada puerto de antena, la CU envía el mismo símbolo IQ en el dominio de la frecuencia a cada RU en la celda. Los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que la CU necesita enviar a las RU incluyen las señales de referencia de la CS-RS y la CSI-RS, los canales de control del PUCCH, PCFICH y PHICH, el canal de datos compartidos del PDSCH y los canales comunes del PBCH y las PSS/SSS.

En algunas implementaciones, la CU realiza una forma simple de compresión mediante la difusión de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia a todas las RU en la celda mediante el uso de tramas Ethernet de difusión. Para implementar la difusión, todas las RU en la misma celda se configuran para pertenecer a la misma VLAN (red de área local virtual). La CU envía a su conmutador Ethernet más cercano una trama de difusión Ethernet que lleva un ID de la VLAN. El conmutador Ethernet, a su vez, envía la trama de difusión Ethernet a todas las RU en la VLAN que se unen directamente al conmutador Ethernet y a otros conmutadores Ethernet que proporcionan trayectorias a otras RU en la misma VLAN. En tales implementaciones, la carga de tráfico en los conmutadores Ethernet en el enlace descendente no crece con el número de RU que pertenecen a la misma celda.

La difusión en la red Ethernet y la implementación de las VLAN pueden simplificar la complejidad del procesamiento y reducir la tasa de datos entre la CU y la red Ethernet. La reducción de la tasa de datos es conveniente para reducir el tamaño de la trama Ethernet y las latencias en los conmutadores.

Para el propósito de la descripción, el ejemplo que se introduce previamente de una red de radio que implementa FDD LTE de 10 MHz con 2 antenas de TX también se usa como ejemplo en la descripción más abajo. Los 8400 símbolos IQ en el dominio de la frecuencia en cada subtrama de 1 ms se organizan en forma de una cuadrícula de recursos que tiene 600 subportadoras de OFDM en 14 símbolos de OFDM. Los 14 símbolos de OFDM se dividen en dos ranuras de tiempo, cada una que tiene una duración de 0,5 ms. Cada ranura de tiempo se divide además en 50 PRB (bloques de recursos físicos), cada uno que contiene 84 símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que se disponen en forma de cuadrícula de 7 x 12. En algunas implementaciones, cada PRB lleva a lo máximo un PDSCH que se mezcla con señales de referencia, tal como la CS-RS y la CSI-RS. Los PRB también pueden llevar uno o más canales de control del enlace descendente LTE PDCCH, PHICH o PCFICH o los canales comunes de PSS/SSS y el PBCH, que se mezclan con la CS-RS y la CSI-RS.

Los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia del enlace descendente son símbolos de amplitud discreta que se eligen de una constelación de señales. La PSS/SSS se lleva en símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que están en un círculo. El PDCCH, PCFICH, PBCH, CS-RS, CSI-RS y DM-RS se llevan en símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que se eligen de una constelación de señales de QPSK/BPSK. Sin precodificación, los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que llevan el PDSCH se eligen de una constelación de señales de QPSK (codificación de desplazamiento de fase en cuadratura), 16-QAM (modulación de amplitud en cuadratura) o 64-QAM. El orden de modulación del PDSCH se elige en base a la calidad de la señal que se informa por un UE. En presencia de precodificación, los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que llevan el PDSCH se basan en el producto de una matriz de precodificación con un vector de entrada, cuyos componentes son símbolos que se eligen de una constelación de QPSK, 16-QAM o 64-QAM.

La CU puede elegir símbolos IQ en el dominio de la frecuencia del enlace descendente directamente de una constelación de QAM de amplitud discreta o al aplicar una operación de matriz a los símbolos que se eligen de una constelación de QAM de amplitud discreta. La energía promedio de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia puede variar entre diferentes canales del enlace descendente, pero es fija para un canal dado dentro de un grupo de elementos de recursos o REG (para canales de control) o un PRB (para el PDSCH). Un REG es un grupo de 4 RE consecutivos en un símbolo de OFDM. En algunas implementaciones, el PDSCH en el 4^{to} símbolo de OFDM de la ranura puede tener un nivel de energía promedio diferente de esos niveles de energía promedio fijos.

B. Métodos de compresión de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia

Los símbolos que se transmiten entre la CU y las RU pueden comprimirse de diversas formas. En la descripción más abajo, los primeros tres métodos, los Métodos I, II y III, se basan en la cuantificación y el cuarto método, el Método IV, se basa en la compresión a nivel de modulación.

I. Cuantificación Fija

En este método, los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia se cuantifican mediante el uso de un cuantificador escalar uniforme fijo que tiene una tasa fija R y un tamaño de paso fijo Δ . El tamaño de paso se selecciona por la CU en base a la distribución de probabilidad que se espera de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia. En las implementaciones, la CU cuantifica los componentes reales e imaginarios de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia en serie y transmite los datos binarios que representan los símbolos IQ que se cuantifican para cada antena de TX a las RU. Los valores de R y Δ se envían a las RU cuando las RU se conectan inicialmente a la CU. Las RU usan la información sobre la tasa R y el tamaño de paso Δ para reconstruir los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia en base a los datos que se reciben de la red Ethernet. En algunas implementaciones, cuando hay un cambio importante

en la configuración de la red de radio que cambia R y/o Δ , la CU envía la R y/o Δ modificada a las RU. En el ejemplo con FDD LTE de 10 MHz que tiene 2 antenas de TX por RU y un cuantificador fijo de 12 bits, el flujo IQ en el dominio de la frecuencia cuantificado tiene una tasa de datos de 403 Mb/s entre la CU y las RU.

5 II. Cuantificación de tamaño de paso adaptativo

En lugar de aplicar un tamaño de paso A de cuantificador fijo, en este método, el tamaño de paso varía dinámicamente en base a los niveles de energía promedio de los canales del enlace descendente, que pueden ser diferentes para diferentes canales. Ajustar dinámicamente el tamaño de paso del cuantificador puede reducir los errores de
10 cuantificación cuadráticos promedio para una tasa de bits R dada del cuantificador. En algunas implementaciones, el tamaño de paso que se ajusta dinámicamente también puede usarse para reducir la tasa del cuantificador R sin aumentar el error de cuantificación.

La información sobre los tamaños de paso del cuantificador que se ajustan dinámicamente se contiene en la
15 información secundaria que una CU envía a las RU. Las RU pueden reconstruir los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia cuantificados en base a la información del tamaño de paso. En algunas implementaciones, la CU envía alguna información secundaria a las RU una vez por subtrama y la otra información secundaria una vez por REG o una vez por PRB. Al comienzo de cada subtrama, la CU envía información secundaria que contiene información sobre la posición de la CS-RS y la CSI-RS, el tamaño de paso asociado con la CS-RS y la CSI-RS y la longitud de la región de control. En algunas implementaciones, la información sobre el tamaño de paso actual del cuantificador se envía antes
20 de cada REG (en la región de control) o antes de enviar cualquier dato del PDSCH en cada PRB (en la región del PDSCH). Los niveles de energía del PDSCH pueden ser diferentes en el 4^{to} símbolo de OFDM de una ranura de tiempo. En consecuencia, pueden enviarse dos tamaños de paso por PRB. La transmisión de información secundaria puede distribuirse uniformemente a través de la subtrama para reducir el pico de la tasa de datos. Cuando cada
25 tamaño de paso se representa por un índice de 12 bits, la información secundaria ocupa menos de 5 Mb/s de capacidad del enlace.

En algunas implementaciones, se usa el mismo tamaño de paso para ambas antenas de TX de una RU para limitar la cantidad de información secundaria. En otras implementaciones, los tamaños de paso para las dos antenas de TX
30 pueden ser diferentes.

La tasa R del cuantificador se elige de modo que el ruido de cuantificación no impacte en el rendimiento del receptor de los UE, lo que incluye cuando se usa el MCS (esquema de modulación y codificación) más exigente (es decir, el más sensible al ruido) en el PDSCH. En algunas implementaciones, un cuantificador de 9 bits o 10 bits suministra una
35 SQNR (relación señal a ruido de cuantificación) en el intervalo de 50-60 dB, que es más de 20 dB mayor que la SINR (relación señal a interferencia más ruido) objetivo que se requiere para 64-QAM sin codificar. Una tasa del cuantificador de 9-10 bits puede producir una tasa de datos máxima de 302-336 Mb/s, lo que representa una compresión del 17-25 % con relación a la tasa de datos máxima en el Método I.

40 III. Cuantificación de tasa y tamaño de paso adaptativos

En un tercer método de compresión, tanto la tasa R como el tamaño de paso A del cuantificador se ajustan dinámicamente en base a la tolerancia al ruido de cuantificación de cada canal del enlace descendente. La variación
45 dinámica de la tasa del cuantificador R puede reducir la tasa de datos promedio, pero no reduce el pico de la tasa de datos y la tasa de datos promedio que se reduce puede reducir la longitud promedio de los paquetes y las latencias en los conmutadores Ethernet.

La relación entre la tasa del cuantificador R y el rendimiento del canal del enlace descendente se explica más abajo mediante el uso de un escenario de ejemplo donde cada UE tiene una antena de RX y cada RU tiene una antena de
50 TX. Las descripciones y los cálculos pueden extenderse fácilmente a los UE y RU que tienen más de una antena. En el ejemplo, el símbolo IQ en el dominio de la frecuencia r que se recibe por el UE puede escribirse como:

$$r = (s + q) \times h + i + w,$$

donde s representa un símbolo IQ en el dominio de la frecuencia de valor complejo que tiene una energía promedio E_s , h es la correspondiente ganancia de canal en el dominio de la frecuencia de valor complejo, q es el ruido de cuantificación, e i y w representan la interferencia que se recibe y el ruido térmico, respectivamente. La relación señal a ruido de cuantificación del cuantificador, SQNR, se define como E_s/E_q , donde E_q es la energía promedio del ruido de
60 cuantificación.

La relación señal a interferencia más ruido que se recibe en el UE se denota como SINR' y puede escribirse como:

$$\begin{aligned} \text{SINR}' &= E_s \times |h|^2 / (E_i + E_w + E_q |h|^2) \\ &= \text{SINR} / (1 + \text{SINR}/\text{SQNR}), \end{aligned}$$

donde $SINR = E_s \times |h|^2 / (E_i + E_w)$ es la SINR que se recibe en el UE en ausencia de cualquier ruido de cuantificación, E_i es la energía del ruido de interferencia y E_w es la energía del ruido térmico. En base a la ecuación para $SINR'$, cuando $SQNR \gg SINR$, $SINR' \ll SINR$. En otras palabras, el ruido de cuantificación no tiene un impacto sustancial o perceptible en el rendimiento de la señal que se recibe en el UE cuando $SQNR \gg SINR$.

La SQNR aumenta con la tasa del cuantificador R, por ejemplo, por aproximadamente 6 dB por cada incremento de R en 1 cuando R es grande. Si $SINR_{objetivo}$ representa la SINR conveniente que se requiere en el UE para un MCS (esquemas de modulación y codificación) dado para una recepción fiable, la implementación de la cuantificación no causa que la $SINR'$ caiga perceptiblemente más abajo de la $SINR_{objetivo}$ cuando la tasa del cuantificador R se elige de manera que $SQNR \gg SINR_{objetivo}$. En consecuencia, cuando el SINR objetivo para un formato de modulación es bajo, la velocidad R (es decir, la precisión) del cuantificador puede reducirse.

En algunas implementaciones, la tasa del cuantificador R para la transmisión del PDSCH será la más alta para el MCS del PDSCH de 28 y será la más baja para el MCS del PDSCH de 0, que corresponden respectivamente a los esquemas de modulación y codificación más y menos demandantes (en términos de sensibilidad al ruido) actualmente soportados en el estándar LTE. En los canales de control, el formato de modulación subyacente es la QPSK/BPSK y puede usarse una tasa del cuantificador R relativamente baja. En algunas implementaciones, cuando se usa una tasa del cuantificador relativamente baja, la SINR que se recibe en los UE que tienen buenas condiciones de canal puede reducirse por el ruido de cuantificación. Sin embargo, la SINR reducida no afecta sustancialmente el rendimiento del UE cuando la SINR reducida está por encima de la SINR objetivo.

Similar al Método II, la CU envía información secundaria que contiene información sobre el tamaño de paso del cuantificador a las RU para ayudar a las RU a reconstruir los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia a partir de los bits de datos que se reciben. Además, la CU también envía dinámicamente la tasa del cuantificador R a las RU para cada REG y PRB y para las señales de referencia de la CS-RS y la CSI-RS. La variación dinámica de la tasa del cuantificador y el tamaño de paso puede reducir el ruido de cuantificación que se causa por una tasa de cuantificación promedio fija. Alternativamente, cuando se permite una cierta cantidad promedio de ruido de cuantificación para las transmisiones de señales, la tasa del cuantificador promedio puede reducirse cuando la tasa del cuantificador se ajusta dinámicamente en lugar de ser fija.

Además de comprimir los símbolos que se envían a las RU, la CU puede reducir aún más la tasa de datos promedio entre la CU y las RU al no enviar ningún dato para los REG o los PRB no usados. Por ejemplo, cuando solamente el 50 % de los REG y los PRB en una ranura de tiempo están en uso, por ejemplo, al llevar datos, la tasa de datos promedio se reduce aún más en un 50 %.

Cuando se usan múltiples antenas de TX, puede usarse la misma tasa del cuantificador y el mismo tamaño de paso para todas las antenas de cada RU, de modo que la cantidad de información secundaria no crezca con el número de antenas de TX. En algunas implementaciones, la tasa del cuantificador y el tamaño de paso pueden ser diferentes para cada antena y la tasa del cuantificador promedio entonces se reduce aún más.

En la descripción de los cuantificadores en los Métodos I-III, se ha asumido un cuantificador uniforme escalar, debido a su facilidad de implementación. Sin embargo, estos métodos son igualmente aplicables a otros tipos de cuantificadores, tales como los cuantificadores escalares no uniformes, los cuantificadores vectoriales, etc. Se variaron el tamaño de paso y la tasa del cuantificador para adaptar el cuantificador a las características de los símbolos cuantificados. También es posible variar otros parámetros del proceso de cuantificación, tal como la ganancia de la entrada del cuantificador.

IV. Compresión a nivel de modulación

En este cuarto método de compresión, la CU envía los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia en forma de datos binarios en base a la estructura de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que se conoce por la CU y sin implementar ninguna cuantificación. Como se describió previamente, los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia pertenecen a una constelación de señales de amplitud discreta o pueden derivarse mediante la transformación de símbolos de modulación que se eligen de una constelación de señales de amplitud discreta. Al enviar los datos binarios que representan las señales de amplitud discreta junto con la información secundaria que se requiere para aplicar cualquiera de las transformaciones que se requieren, el controlador puede evitar el ruido de cuantificación.

En uso, la CU envía los datos binarios que representan los símbolos de modulación a las RU, un símbolo de OFDM a la vez, en el mismo orden en que las RU deben transmitir los símbolos a través del aire. En particular, los datos binarios que representan los canales de control se envían en grupos de REG y los datos binarios que representan los canales de datos compartidos se envían en grupos de bloques de 12 símbolos que pertenecen al mismo PRB. Además, al comienzo de cada ranura de tiempo, la CU envía algunas porciones de información secundaria a las RU. Otras porciones de la información secundaria se envían al comienzo de cada REG en la región de control y antes de enviar los datos en el primer símbolo de OFDM del PDSCH de esa ranura de tiempo. Las RU analizan los datos que se reciben y reconstruyen los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia en base a la información secundaria.

En este método, algunas de las funciones del transmisor del módem de banda base se implementan en la CU y

algunas otras funciones del transmisor del módem de banda base se implementan en las RU. Por ejemplo, la función de corrección de errores hacia adelante se implementa en la CU, mientras que las funciones de precodificación y la IFFT se implementan en las RU. El procesamiento del enlace descendente puede partitionarse entre la CU y la RU de muchas otras maneras. Incluso es posible mover todo el procesamiento del módem del enlace descendente a la RU. En este caso, el controlador envía todos los datos necesarios, que incluyen los datos del bloque de transporte, a la RU junto con toda la información secundaria necesaria. Esto reducirá, por ejemplo, minimizará la tasa de datos entre el controlador y las RU, pero puede aumentar la cantidad de procesamiento en las RU. En algunos casos, la interfaz entre el controlador y las RU se implementa mediante el uso de la llamada FAPI (Interfaz de Plataforma de Aplicación Femto) desarrollada por la Small Cell Forum, excepto que la FAPI se implementará a través de una red Ethernet.

Más abajo, se describe la representación de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia mediante datos binarios para cada tipo de canal del enlace descendente.

(i) Símbolos de referencia de la CS-RS

Los símbolos de referencia de la CS-RS son símbolos binarios de valor complejo que se eligen de una constelación de QPSK, cuya ganancia puede permanecer constante durante la subtrama. Cuando cada RU tiene múltiples antenas de TX, los símbolos de referencia de la CS-RS también incluyen símbolos "cero" para evitar interferencias entre las antenas. Los símbolos de referencia de la CS-RS en diferentes antenas difieren solamente en sus posiciones relativas en la cuadrícula de recursos (véase, por ejemplo, las cuadrículas 730, 740 de la Figura 7). La CU incluye en la información secundaria un índice de 3 bits para representar el desplazamiento de frecuencia de la CS-RS y un número de 12 bits para representar la ganancia. La información secundaria se envía a las RU al comienzo de cada subtrama, a través de la cual las RU conocen sobre las posiciones de todos los símbolos de referencia de la CS-RS en la cuadrícula de recursos para todas las antenas de TX, excepto por un desplazamiento del índice de frecuencia fijo entre 0 y 5. El desplazamiento del índice de frecuencia depende del ID de la celda. En base al desplazamiento del índice de frecuencia, las RU pueden determinar la posición de los RE cero, para los que no se necesita enviar bits de datos. Para los RE de la CS-RS distintos de cero, dos bits son suficientes para representar cada símbolo de la CS-RS. Las RU que reciben los datos binarios, dos bits para cada RE, pueden reconstruir el símbolo IQ al insertar los símbolos de la CS-RS de valor complejo correctos y los RE "cero" en la cuadrícula de recursos para cada antena de TX en base a la información secundaria.

(ii) Símbolos de referencia de la CSI-RS

La CU puede manejar los símbolos de la CSI-RS usados en el Modo de Transmisión 9 de la versión 10 de manera similar a los símbolos de referencia de la CS-RS descritos en la sección (i). Al comienzo de cada subtrama, la CU envía a las RU información secundaria para indicar la posición de los símbolos de la CSI-RS en la cuadrícula de recursos. La información secundaria puede basarse en parámetros tales como la configuración de la CSI, el índice de la CSI-RS de potencia cero, el factor de escala, etc. Mediante el uso de la información secundaria y los datos que se reciben de la CU, que son dos bits para cada RE, las RU pueden insertar los símbolos de la CSI-RS de valor complejo correctos y los RE "cero" en la cuadrícula de recursos para cada antena de TX.

(iii) Símbolos de control

Los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia en la región de control (es decir, los primeros 1-3 símbolos de OFDM designados) que no son usados por la CS-RS pertenecen al PCFICH, PHICH o PDCCH. En algunas implementaciones, los símbolos de control se representan por datos binarios en una base por REG. Cada REG tiene 4 RE que son contiguos, excepto por los símbolos de referencia de la CS-RS que se insertan entre ellos. Cada canal de control se lleva en múltiples REG que se dispersan en frecuencia (es decir, los REG se ubican en diferentes partes de la banda de frecuencia de transmisión). Para cada REG, la CU envía información secundaria a la RU para que la RU analice los datos binarios que se reciben. La información secundaria se envía por el REG y puede incluir datos de 2 bits para representar el tipo de canal (por ejemplo, PDCCH, PCFICH, PHICH o no usado) y datos de 12 bits para representar la ganancia del canal. Al comienzo de cada subtrama, la CU envía a la RU información secundaria de 2 bits para indicar la longitud de la región de control. En algunas implementaciones, para procesar las señales que se reciben, las RU no necesitan conocer de antemano la ubicación de los diferentes canales de control en la región de control.

Cuando cada RU tiene múltiples antenas de TX (por ejemplo, N antenas de TX, donde N es un entero mayor que 1), la red de radio transmite los símbolos de control mediante el uso de la diversidad de TX de Alamouti. En las implementaciones, la CU envía los datos binarios de 16 bits que representan los 4 símbolos de QPSK (codificación de desplazamiento de fase en cuadratura) en cada REG a la RU. La RU implementa las operaciones cambio de signo y conjugación para la diversidad de TX para generar los $4 \times N$ símbolos de QPSK que representan los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia en el REG para todas las N antenas de TX.

El PHICH puede representarse mediante datos binarios en base al hecho de que los símbolos en el dominio de la frecuencia que se transmiten para el PHICH también se eligen de una constelación de señales discretas. Cada PHICH representa 1 bit de información de ACK/NAK (acuse de recibo/acuse de recibo negativo) para el enlace ascendente de

HARQ (solicitud de repetición automática híbrida). El bit del PHICH se codifica en una secuencia de 12 símbolos de valor complejo que se eligen de una constelación de señales binarias de BPSK con una rotación de 45 grados. La CU puede transmitir datos binarios que representan hasta 8 bits del PHICH juntos en un grupo del PHICH. Para la transmisión, los símbolos de valor complejo que representan todos los bits del PHICH en el grupo del PHICH se suman juntos para obtener 12 símbolos del grupo del PHICH de valor complejo. Como puede verse, estos símbolos se eligen de una constelación de amplitud discreta. Cada uno de los componentes reales e imaginarios de los 12 símbolos del grupo del PHICH de valor complejo puede representarse por un entero en el intervalo [-6, 6], junto con una ganancia que puede permanecer constante durante la subtrama. Los 12 símbolos del grupo del PHICH de valor complejo se asignan a 3 REG, por ejemplo, en el primer símbolo de OFDM de la región de control después de aplicar la diversidad de TX en una base por REG. La CU envía a las RU un valor de ganancia que se representa por un índice de 12 bits, seguido de datos de 8 bits que representan los componentes reales e imaginarios de cada símbolo del grupo del PHICH de valor complejo antes de aplicar la diversidad de TX. Las RU pueden usar la información que se recibe para aplicar la diversidad de TX y reconstruir los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia para todas las antenas de TX.

En algunas implementaciones, los símbolos del PHICH también pueden transmitirse mediante el uso de una representación de 16 bits de los componentes reales e imaginarios de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia para cada antena. En comparación con la representación de 8 bits, la tasa de datos entre la CU y las RU para la representación de 16 bits es mayor; sin embargo, las RU pueden reconstruir los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia de una manera más sencilla.

El PCFICH y el PDCCH también pueden representarse fácilmente mediante datos binarios y transmitirse desde la CU a las RU. En particular, cada REG para el PCFICH o el PDCCH lleva 4 símbolos de QPSK, que se envían en múltiples antenas de TX mediante el uso de la diversidad de TX de Alamouti. La CU envía 2 bits de datos por RE, u 8 bits de datos por REG a las RU, que representan los símbolos modulados antes de la diversidad de TX.

(iv) Símbolos del PDSCH

La mayoría de los RE en los símbolos de OFDM que están fuera de la región de control son usados por el PDSCH, excepto que el PBCH usa las 72 subportadoras intermedias en los primeros 4 símbolos de OFDM en la primera ranura de tiempo de cada trama de radio de 10 ms y que la PSS/SSS usa las 72 subportadoras intermedias en los últimos 2 símbolos de OFDM en las ranuras de tiempo 0 y 10 de cada trama de radio de 10 ms. Los símbolos del PDSCH para la transmisión de antena única son de valor complejo y se eligen de una constelación de QPSK, 16-QAM o 64-QAM, que pueden representarse mediante 2, 4 o 6 bits de datos, respectivamente. La ganancia de un símbolo del PDSCH dado puede permanecer constante durante la subtrama (excepto posiblemente en el 4^{to} símbolo de OFDM de cada ranura de tiempo) y la ganancia para diferentes canales del PDSCH puede ser diferente. Los recursos que se asignan a cada PDSCH están en uno o más VRB (bloques de recursos virtuales) consecutivos y pueden asignarse a PRB de manera localizada (consecutiva) o distribuida (no consecutiva). En algunas implementaciones, la CU asume que el PDSCH cambia en cada límite del PRB y envía información secundaria a las RU sobre una base por PRB. La actualización de la información secundaria sobre una base por PRB puede simplificar la operación de las RU en la reconstrucción de los símbolos del PDSCH. En otras implementaciones, se usa la asignación de recursos localizados y la CU envía información secundaria sobre una base por canal, lo que es menos frecuente que enviar la información secundaria sobre una base por PRB.

Para el propósito de la descripción, se asume que la CU envía la información secundaria por PRB antes de enviar el primer símbolo de OFDM de la ranura de tiempo fuera de la región de control. La información secundaria incluye un índice de 1 bit que indica si los símbolos del PDSCH están presentes o no para la transmisión y otro índice de 1 bit que indica la presencia de PSS/SSS en ranuras de tiempo pares o la presencia del PBCH en ranuras de tiempo impares. La información secundaria también incluye un índice de 2 bits que representa el orden de modulación (BPSK para los DM-RS, QPSK, 16-QAM o 64-QAM), un índice de 4 bits que representa el modo de transmisión del PDSCH (por ejemplo, la Figura 8, TM#1-9) y un índice que representa los coeficientes de precodificación o una representación de 16 bits de cada coeficiente de precodificación de valor complejo (TM#9). La información secundaria se sigue por los datos binarios que representan los símbolos de modulación del PDSCH.

Las RU usan la información secundaria para completar las operaciones del módem de banda base y generar los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia. En las implementaciones donde el PDSCH usa el Modo de Transmisión 9, los símbolos de referencia de demodulación (DM-RS) también pueden verse como símbolos de QPSK que usan la misma ganancia que los símbolos del PDSCH. En consecuencia, puede no requerirse un tratamiento especial para los RE de los DM-RS.

En el ejemplo descrito previamente en el que una red de radio implementa FDD LTE de 10 MHz, hay 50 PRB en cada ranura de tiempo de 0,5 ms. Cada símbolo de OFDM que no lleva la CS-RS tiene 12 RE del PDSCH en cada PRB, mientras que los símbolos de OFDM que llevan la CS-RS tienen 8 RE del PDSCH por PRB (se asume que hay 2 antenas de TX). Un PRB que lleva el PBCH tiene 32 RE para el PDSCH.

Cuando están en uso múltiples antenas para un PDSCH, la CU puede reducir la cantidad de datos que necesitan enviarse a las RU en base al conocimiento de la estructura subyacente del transmisor de múltiples antenas. Los

símbolos IQ en el dominio de la frecuencia en la diversidad de TX se eligen de una constelación de QAM y al menos algunos de estos símbolos IQ están en dependencia entre sí. Por ejemplo, un grupo de N^2 símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que se transmiten en N antenas de TX puede derivarse de N símbolos de modulación de entrada, que se eligen de una constelación de valor complejo de amplitud discreta, mediante el uso de operaciones tales como los cambios de signo o conjugaciones complejas. En consecuencia, en lugar de enviar información para $N \times N = N^2$ símbolos IQ en el dominio de la frecuencia, la CU puede enviar información para los N símbolos de modulación de entrada e indicar que se usa la diversidad de TX. Las RU pueden implementar las operaciones de diversidad de TX para producir los N^2 símbolos para la transmisión en N subportadoras en N antenas de TX. Como resultado, la tasa de transmisión de datos entre la CU y las RU no aumenta cuando se aumenta el número de antenas de TX.

En general, los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia para un transmisor MIMO de N antenas pueden escribirse como:

$Y = PX$, donde X es un vector de entrada del PDSCH de K dimensiones cuyos componentes se eligen de la constelación de señales de QAM subyacente, P es una matriz de precodificación $N \times K$ y K es el número de capas que se transmiten. En lugar de cuantificar Y como si fuera algún vector aleatorio continuo, la CU envía los bits de datos que representan los símbolos de modulación K en el vector X junto con la matriz de precodificación. La matriz de precodificación no varía dentro de una subtrama y, en algunas implementaciones, la CU solamente envía la matriz de precodificación una vez por PRB en lugar de una vez por cada símbolo de OFDM.

Para el MIMO de lazo cerrado de la versión 8, la matriz de precodificación se elige de un conjunto fijo y la matriz de precodificación puede representarse mediante un índice de precodificación corto de unos pocos bits. En el modo de transmisión 9 de la versión 10, se necesitan menos de 64 bits para representar los coeficientes del precodificador (16 bits por coeficiente complejo) (se supone que hay 2 antenas de TX).

La tasa de datos para los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia puede reducirse significativamente cuando el número de capas K es menor que el número de N antenas de TX. La tasa de datos aumenta con el número de capas. Sin embargo, incluso cuando $K = N$ (es decir, multiplexación espacial de rango completo), el envío de datos binarios que representan los símbolos de modulación de QAM en lugar de enviar los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia precodificados puede reducir la tasa de datos y evitar el ruido de cuantificación. Para transmitir K capas, la tasa de datos para los datos de entrada del PDSCH es K veces la tasa de datos para una única capa.

(v) Otros símbolos

La CU puede manejar fácilmente la representación binaria de símbolos en los otros canales comunes del enlace descendente. Por ejemplo, los RE del PBCH pueden tratarse de manera similar al PDSCH mediante el uso de modulación de QPSK y la diversidad de TX. La CU puede usar 1 bit de información secundaria para indicar la presencia o la ausencia del PBCH en ranuras de tiempo impares. En algunas implementaciones, los RE que llevan los símbolos de sincronización de PSS/SSS se envían sin ninguna compresión como los enteros de 16 bits para representar los componentes reales e imaginarios de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia. De manera similar, puede usarse 1 bit de información secundaria para indicar la presencia o la ausencia de PSS/SSS en ranuras de tiempo pares.

(vi) Resumen

En el método que se describe anteriormente, las funciones del módem de banda base del enlace descendente se dividen entre la CU y las RU de tal manera que se reduce la tasa de datos en la red Ethernet, mientras se mantiene muy baja la complejidad del procesamiento en las RU. Por ejemplo, mediante el uso de la partición específica descrita anteriormente, la tasa de bits en la red Ethernet puede reducirse a alrededor de 100 Mb/s para dos antenas de transmisión y transmisión del PDSCH de dos capas. La tasa de datos actual será aún menor cuando los recursos del enlace aéreo no se utilicen al 100 %. Además de una menor tasa de bits, el método también elimina completamente el ruido de cuantificación. Son posibles otras maneras de particionar los datos entre la CU y las RU. Por ejemplo, es posible que las RU realicen todas las funciones de la capa física, mientras que la programación y el procesamiento de la capa superior se realizan en la CU.

2. Compresión del enlace ascendente dentro de una celda

A. Descripción general de la compresión del enlace ascendente

El enlace ascendente LTE en la red de radio de esta descripción es diferente del enlace descendente en muchas maneras. Por ejemplo, las señales del enlace ascendente que se reciben por diferentes RU en la misma celda no son idénticas. Las diferentes señales del enlace ascendente pueden tener diferentes ganancias de canal, niveles de ruido y niveles de interferencia que pueden explotarse por el controlador para ganancias de potencia y diversidad. Sin embargo, cuando una celda contiene múltiples RU y todas las RU envían sus señales recibidas a la CU, la CU recibe una cantidad de datos mayor en el enlace ascendente que la que difunde a las RU en el enlace descendente.

Similar a las técnicas usadas en la compresión del enlace descendente, las técnicas de compresión del enlace

ascendente también tienen en cuenta una o más de las siguientes diferencias adicionales entre el enlace ascendente y el enlace descendente. Primero, en el enlace ascendente, sin una demodulación y decodificación completas, las RU no pueden conocer con precisión los símbolos de modulación de amplitud discreta que se transmiten por los UE.

Segundo, el formato de modulación en el enlace ascendente de LTE, SC-FDMA (acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única), es diferente del esquema de OFDMA usado en el enlace descendente. En lugar de usar los símbolos modulados o sus versiones precodificadas como los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia, los símbolos de modulación en el SC-FDMA son señales en el dominio del tiempo. Estas señales en el dominio del tiempo se transforman por el UE en símbolos IQ en el dominio de la frecuencia mediante el uso de una DFT (Transformada Discreta de Fourier). En comparación con los símbolos en el enlace descendente, los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que se obtienen de la transformación de la DFT pueden exhibir una estadística menos uniforme y más parecida a una gaussiana truncada, especialmente cuando al UE se le asignan muchos RB.

En el enlace ascendente, los recursos en un PRB se asignan de manera contigua y pueden utilizarse saltos de frecuencia entre dos ranuras de tiempo de una subtrama. Como ejemplo, los PRB del PUSCH (con los DM-RS en el intermedio) que se asignan a un UE son consecutivos y pueden saltar entre las ranuras 0 y 1 con un espacio conocido entre ellas. El 4^{to} símbolo de OFDM de cada PRB del PUSCH que se asigna es un DM-RS. La SRS, si está presente, se transmite en el último símbolo de la subtrama, por ejemplo, en cualquier otra subportadora. Las transmisiones del PUCCH incluyen símbolos de QPSK que modulan una secuencia de fase compleja y una cobertura ortogonal que se transmite sobre dos PRB en los bordes opuestos de una banda. En algunas implementaciones, múltiples UE pueden transmitir señales del PUCCH en los mismos PRB en la misma subtrama. Los primeros pares L (que es un entero) de PRB llevan transmisiones de CQI/PMI/RI, posiblemente junto con el ACK/NAKs de HARQ, mediante el uso del Formato 2. Hay pares de PRB adicionales disponibles para los ACK/NAK de HARQ y solicitudes de programación.

Con referencia a la Figura 8, para la transmisión del PUSCH, un UE 1204 modula 1200 y transforma 1210 símbolos en el dominio del tiempo x 1202 en símbolos en el dominio de la frecuencia s 1203, realiza un mapeo de recursos 1212 y entonces realiza una IFFT completa 1214 para generar las señales en el dominio del tiempo para la transmisión a través del aire a las RU. Una o más RU 1206 en una celda reciben las señales que se transmiten a través de uno o más canales 1208 a través de sus antenas, aplican el procesamiento de RF para generar las señales IQ en el dominio del tiempo que se reciben y aplican una FFT 1220, 1222 para producir las señales IQ en el dominio de la frecuencia que se reciben r₁ 1216, r₂ 1218.

Al suponer que una celda incluye K RU, donde K es un entero positivo y que la k-ésima RU tiene dos antenas para recibir señales (antenas de RX) de un UE que tiene una antena de TX para transmitir las señales, el símbolo IQ en el dominio de la frecuencia, r_{ki}, que se recibe en la l-ésima antena de RX (i=1 o 2) de la k-ésima RU en alguna posición de frecuencia fija en un símbolo de OFDM puede expresarse en las siguientes formas:

$$r_{k1} = s x h_{k1} + i_{k1} + W_{k1},$$

$$r_{k2} = s x h_{k2} + i_{k2} + W_{k2},$$

donde s es el símbolo IQ en el dominio de la frecuencia que se transmite por el UE (véase, por ejemplo, la Figura 8), h_{k1} y h_{k2} son los coeficientes del canal, i_{k1} e i_{k2} representan la interferencia de los UE en otras celdas, w_{k1} y w_{k2} son el ruido térmico, respectivamente, para las dos antenas de RX.

Los niveles de energía totales de los símbolos que se reciben r_{k1} y r_{k2} en la k-ésima RU son:

$$E_{t,kl} = E_s \times |h_{kl}|^2 + E_{i,kl} + E_{w,kl}$$

donde l=1, 2, E_s x |h_{kl}|², E_{i,kl} y E_{w,kl} representan la energía promedio de los símbolos que se reciben y la energía promedio de la interferencia y el ruido que se recibe a través de la l-ésima antena de recepción de la k-ésima RU, respectivamente. Generalmente, las energías promedio de los símbolos que se reciben, E_s|h_{kl}|², son diferentes en diferentes canales del enlace ascendente porque la SINR que se requiere en estos canales cambia en base al formato del PUCCH (Formato 1, 1a, 1b, 2, 2a, 2b) y el MCS del PUSCH (por ejemplo, QPSK o 64-QAM). La energía de interferencia, que se causa por otras transmisiones de UE en celdas cercanas, también puede variar entre diferentes PRB, lo que puede causar variaciones adicionales en los niveles de energía de los símbolos que se reciben en las RU.

Las RU implementan la compresión del enlace ascendente mediante el uso de un cuantificador para reducir la tasa de datos de las transmisiones de las RU a las CU. Para el propósito de la descripción, se asume que el cuantificador es un cuantificador escalar uniforme que tiene una tasa R_{kl} y un tamaño de paso Δ_{kl} y cuantifica los componentes reales e imaginarios de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que se reciben independientemente en la l-ésima antena de la k-ésima RU. Otras técnicas de cuantificación, tal como la cuantificación escalar no uniforme o la cuantificación vectorial, también pueden usarse con las técnicas que se describen más abajo.

Con referencia a la Figura 9, la RU 1300 envía los bits 1302 que representan una salida del cuantificador 1304 a la CU 1306 en tramas Ethernet a través de una red Ethernet 1308. La CU 1306 reconstruye una versión cuantificada r'_{kl} de

cada símbolo que se recibe r_{kl} :

$$r_{kl}' = s \times h_{kl} + i_{kl} + W_{kl} + q_{kl},$$

- 5 donde q_{kl} es el ruido de cuantificación de valor complejo que tiene una energía promedio $E_{q,kl}$. El rendimiento del cuantificador 1304 puede medirse por su relación señal a ruido de cuantificación (SQNR), que se define como:

$$SQNR_{k1} = E_{t,k1}/E_{q,k1},$$

- 10 donde $E_{q,kl} = 2 \times \text{MSE}$ y MSE es el error cuadrático medio del cuantificador escalar uniforme.

Los símbolos cuantificados se envían a la CU a través de la red Ethernet. En algunas implementaciones, la tasa R_{kl} del cuantificador se elige de modo que el ruido de cuantificación no afecte sustancialmente el rendimiento de los receptores en la CU. En ausencia de ruido de cuantificación y si se asume que el ruido y la interferencia que se reciben en todas las antenas no se correlacionan, el rendimiento de un receptor en la CU para MRC (un combinador de relación máxima) puede representarse por la SINR efectiva: $SINR = \sum_k (SINR_{k1} + SINR_{k2})$, donde $SINR_{kl} = E_s \times |h_{kl}|^2 / (E_{i,kl} + E_{w,kl})$ es el SINR en la l-ésima antena RX de la k-ésima RU.

20 Cuando la interferencia i_{kl} en diferentes antenas de RX se correlaciona, la CU que recibe los símbolos comprimidos de las RU puede aplicar la IRC (combinación de rechazo de interferencia). El rendimiento de la IRC se determina en base a la suma de las SINR en todas las antenas de RX, como se muestra por la ecuación anterior, excepto que cada SINR para una antena de RX dada incluye el efecto del filtro de blanqueado espacial.

25 Seguidamente, se considera el efecto del ruido de cuantificación distinto de cero en el rendimiento de los receptores en la CU. La relación señal a interferencia más ruido más ruido de cuantificación a la salida del receptor de MRC en la CU, $SINR'$, es:

$$SINR' = \sum_k (SINR_{k1}' + SINR_{k2}'),$$

donde

$$\begin{aligned} SINR_{k1}' &= E_s \times |h_{k1}|^2 / (E_{i,k1} + E_{w,k1} + E_{q,k1}) \\ &= SINR_{k1} / (1 + (1 + SINR_{k1}) / SQNR_{k1}). \end{aligned}$$

35 En otras palabras, la $SINR'$ es la suma de las relaciones de señal a interferencia más ruido más ruido de cuantificación en cada rama de la MRC que recibe símbolos cuantificados de las respectivas antenas en la celda. Si las tasas del cuantificador R_{kl} se eligen para todas las antenas (para todos los k y l) de manera que:

$$SQNR_{k1} \gg 1 + SINR_{k1},$$

40 entonces $SINR_{kl}' \approx SINR_{kl}$ y $SINR'$ es aproximadamente igual a la SINR ideal sin ruido de cuantificación, es decir, $SINR' \approx SINR = \sum_k (SINR_{k1} + SINR_{k2})$.

45 La cantidad de degradación que se causa por el ruido de cuantificación distinto de cero en la $SINR_{kl}$ efectiva para cada antena de la RU también puede determinarse mediante el uso de la fórmula anterior. La cantidad puede calcularse como $SINR_{kl} / SINR_{kl}'$, que puede escribirse como una función de $SQNR_{kl} / (1 + SINR_{kl})$.

50 La Tabla 1 muestra la cantidad de degradación en la $SINR_{kl}$ por antena de RX debido al ruido de cuantificación como una función de la relación $SQNR_{kl} / (1 + SINR_{kl})$. Los datos ilustran que cuando la $SQNR_{kl}$ es al menos 20 dB por encima de $1 + SINR_{kl}$, la reducción en la $SINR_{kl}$ debido al ruido de cuantificación es inferior a 0,05 dB.

Tabla 1. Reducción en la $SINR_{kl}$ debido al Ruido de Cuantificación

SQNR/(1+SINR)	SINR/SINR'
0	3,01
5	1,19
10	0,41
15	0,14
20	0,04
25	0,01

B. Métodos de cuantificación

Más abajo, se describen cuatro métodos de cuantificación diferentes para la compresión del enlace ascendente, con un aumento de la relación de compresión desde el Método I hasta el Método IV.

I. Cuantificación fija

En este método, se usa un cuantificador escalar uniforme fijo que tiene una tasa fija $R_{kl} = R_0$ y un tamaño de paso fijo $\Delta_{kl} = \Delta_0$. Como ejemplo, $R_0 = 12$ y el flujo IQ cuantificado se envía desde una RU a la CU a una tasa de bits total de aproximadamente 403 Mb/s para dos antenas de RX de la RU. En consecuencia, el cuantificador fijo que tiene un tamaño de paso de 12 bits puede implementarse sin un alto nivel de complicación y sin afectar sustancialmente el rendimiento de la transmisión de la señal. La tasa de datos de 403 Mb/s entre la CU y las RU es relativamente alta. Cuando las K RU envían símbolos IQ en el dominio de la frecuencia cuantificados a una tasa de datos de 403 Mbps hacia la CU para el mismo símbolo de OFDM, la tasa de bits que se agrega entre el conmutador Ethernet más cercano y la CU es $K \times 403$ Mb/s, que puede ser relativamente alto para grandes K.

II. Cuantificación de tamaño de paso adaptativo

En este método, la cuantificación se implementa mediante el uso de un cuantificador escalar uniforme que tiene una tasa fija $R_{kl} = R_0$ y un tamaño de paso Δ_{kl} que se ajusta dinámicamente. En una implementación, el tamaño de paso puede actualizarse sobre una base por PRB e independientemente para cada antena. Para cada símbolo de OFDM, los tamaños de paso Δ_{kl} varían individualmente para cada canal del enlace ascendente que usa recursos en ese símbolo de OFDM. Por ejemplo, Δ_{kl} puede seleccionarse en base a la energía promedio de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que se reciben en cada canal del enlace ascendente. En algunas implementaciones, la energía promedio de los símbolos IQ en un canal dado se estima mediante el uso de los símbolos a cuantificar en las RU. El tamaño de paso del cuantificador puede entonces ajustarse en base a la distribución que se asume de los símbolos a cuantificar. En algunas implementaciones, la distribución se determina en base al tamaño de la DFT usada por el UE. Optimizar el tamaño de paso dinámicamente e independientemente para cada canal puede permitir que las señales se transmitan desde las RU a la CU a una mayor SQNR a la misma tasa de datos. Además, la optimización del tamaño de paso dinámicamente e independientemente para cada canal puede usarse para disminuir la tasa de datos sin reducir la SQNR.

En algunas implementaciones, puede que no sea necesario variar el tamaño de paso del cuantificador Δ_{kl} en cada símbolo de OFDM, por ejemplo, cuando la energía promedio de un símbolo que se recibe por la RU de un UE no varía significativamente dentro de una subtrama. En tales implementaciones, el tamaño de paso para el primer símbolo de OFDM se determina mediante el uso de los símbolos IQ que se reciben en el primer símbolo de OFDM, por ejemplo, para evitar retardos. Cuando el número de símbolos disponibles es insuficiente para estimar con precisión la energía promedio en el primer símbolo del OFDM, la estimación de energía promedio y el tamaño de paso pueden refinarse en los símbolos de OFDM subsecuentes.

La tasa del cuantificador R_0 se elige lo suficientemente alta de modo que el rendimiento del receptor en la CU no se degrade para el MCS más alto. Por ejemplo, cuando $R_0 = 10$, la SQNR del cuantificador es de aproximadamente 52 dB (se asume una entrada gaussiana), que es más de 20 dB mayor que la SINR mínima que se requiere para las comunicaciones fiables en el MCS del enlace ascendente más alto.

Como se muestra en el Método I, una SQNR que es de 20 dB por encima de la SINR mínima que se requiere permite que el receptor en la CU opere con una degradación del rendimiento debido a la cuantificación de no más de 0,05 dB. Una tasa del cuantificador R_0 de 10 puede producir una tasa de datos IQ de aproximadamente 336 Mb/s para dos antenas de RX de una RU. Esto representa una relación de compresión de 10/12 o es un 17 % más alta en comparación con la tasa de compresión del Método I. Debido a que la tasa del cuantificador R_0 es fija, todos los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que se reciben por las RU, que incluyen los símbolos IQ que no llevan información, se cuantifican y se envían a la CU. Cuando se usa un tamaño de paso optimizado, el valor de la tasa del cuantificador requerida para lograr una SQNR conveniente es menor que cuando el tamaño de paso no se optimiza.

Las RU usan diferentes tamaños de paso para diferentes canales PUSCH/PUCCH/SRS/PRACH en base a la información sobre los límites del canal del enlace ascendente que se recibe de la CU. En algunas implementaciones, los límites del canal del enlace ascendente para cada PRB se indican mediante la información secundaria del enlace descendente que se envía por la CU a las RU. Con referencia a la Figura 10, la información secundaria 1404 para su uso en una subtrama N del enlace ascendente (UL) se envía por la CU 1400 en la subtrama N-4 (1406) del enlace descendente (DL) a las RU 1402.

Los ejemplos de la información secundaria del enlace descendente 1404, por ejemplo, los contenidos y tamaños, son los siguientes. Los PRB del PUSCH o del PUCCH que se asignan al mismo canal son consecutivos y los límites del canal para el PUSCH y el PUCCH pueden indicarse mediante un índice de posición de 6 bits y un campo de longitud de 6 bits. La CU también puede enviar indicaciones del tipo de canal (por ejemplo, PUSCH, PUCCH, SRS, PRACH, etc.) a las RU mediante el uso de un índice de 2 bits para facilitar que las RU modelen la distribución estadística de los símbolos que se reciben. Además, un bit de la información secundaria puede usarse para indicar la presencia de la SRS (señal de referencia de sondeo), que puede ocupar el último símbolo de OFDM de la subtrama. Además, la posición del PRACH, cuando está presente, puede indicarse mediante un índice de 6 bits.

En base al conocimiento de los límites del canal del PUSCH/PUCCH, las RU determinan para cada símbolo de OFDM la energía promedio de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia recibidos que pertenecen al mismo canal (o del mismo UE). Las RU entonces eligen el tamaño de paso Δ_{kl} del cuantificador en base a la energía promedio que se

determina. En algunas implementaciones, una RU determina el tamaño de paso óptimo sin distinguir los diferentes tipos de canales (es decir, PUSCH o PUCCH). En algunas implementaciones, una RU usa la información secundaria del enlace descendente sobre el tipo de canal para facilitar la elección del tamaño de paso óptimo sin ninguna medición que se relacione con los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia que se reciben (por ejemplo, la energía promedio). Para la SRS, las RU pueden estimar la energía promedio a través de todo el símbolo de OFDM y determinar el tamaño de paso óptimo. Alternativamente, las RU pueden dividir las subportadoras en un símbolo de OFDM que lleva la SRS en subbandas y optimizar el tamaño de paso para cada subbanda. En algunas implementaciones, puede usarse un tamaño de paso predeterminado fijo para cuantificar la señal SRS. Para el PRACH, el tamaño de paso puede determinarse en base al valor del pico de potencia de la señal que se recibe o puede fijarse.

La RU puede implementar la cuantificación escalar uniforme con tamaños de paso variables al aplicar una ganancia γ_{kl} para normalizar la energía de los símbolos IQ a cuantificar. Las RU cuantifican entonces los componentes reales e imaginarios de los símbolos IQ mediante el uso de un cuantificador escalar uniforme que tiene un tamaño de paso fijo $\Delta_{kl} = \Delta_l$. En algunas implementaciones, los componentes real e imaginario son simétricos y puede usarse la misma ganancia y cuantificador escalar para ambos componentes, el real y el imaginario.

Las RU envían información secundaria del enlace ascendente sobre los tamaños de paso que se seleccionan a la CU, junto con los bits de datos que representan los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia cuantificados, en base a los cuales la CU reconstruye los símbolos IQ que se reciben.

En algunas implementaciones, cada tamaño de paso del cuantificador se representa por un índice de 12 bits en la información secundaria. En algunas implementaciones, las RU actualizan el tamaño de paso en cada símbolo de OFDM, lo que puede aumentar la cantidad de información secundaria que se transmite en una ranura de tiempo por hasta un factor de 7. Para la SRS, las RU envían a la CU la información secundaria del enlace ascendente sobre el tamaño de paso para cada subbanda antes de enviar los datos. Para el PRACH, la información sobre el tamaño de paso puede enviarse antes de que se envíen los datos del PRACH cuantificados.

III. Cuantificación de tasa y tamaño de paso adaptativos

En este método, además de ajustar dinámicamente el tamaño de paso Δ_{kl} del cuantificador, la tasa R_{kl} del cuantificador también se ajusta dinámicamente para comprimir (o cuantificar) el flujo IQ. Para el propósito de la descripción de este método, no se distinguen los símbolos del PUSCH que llevan datos de usuario y los símbolos del PUSCH que llevan la UCI (información de control del enlace ascendente). Además, se aplica la misma tasa del cuantificador a todos los símbolos que se envían por el mismo UE.

La tasa del cuantificador puede ajustarse dinámicamente, por ejemplo, sobre una base por PRB. Como se describió previamente, para los PRB que llevan símbolos IQ del PUSCH de un MCS relativamente bajo, puede usarse una tasa del cuantificador más baja que la tasa para los PRB que llevan símbolos IQ del PUSCH desde un MCS relativamente alto. De manera similar, algunos PRB que llevan símbolos del PUCCH pueden cuantificarse a una tasa relativamente baja. La SINR que se requiere para que estos PRB (para el PUSCH o el PUCCH) proporcionen una recepción fiable en la CU puede ser relativamente baja. En consecuencia, estos PRB pueden tolerar un nivel relativamente alto de ruido de cuantificación. Además, no es necesario cuantificar aquellos PRB que no lleven ningún dato. La alta tolerancia al ruido de cuantificación y el número reducido de PRB a cuantificar en el enlace ascendente pueden ahorrar ancho de banda de transmisión entre las RU y la CU. Ajustar la tasa del cuantificador en base a estas consideraciones puede reducir la tasa de datos promedio en el enlace ascendente.

Como se describió previamente, la tasa del cuantificador para cada antenna de la RU se elige para que sea relativamente alta, de manera que $SQNR_{kl} \gg 1 + SINR_{kl}$, donde $SQNR_{kl}$ es el cuantificador de la SQNR y $SINR_{kl}$ es el receptor SINR para la l-ésima antenna de la k-ésima RU de una celda. Cuando se satisface tal relación entre la $SQNR_{kl}$ y la $SINR_{kl}$, el ruido de cuantificación es mucho más bajo que la interferencia más el ruido visto en la antenna (l-ésima antenna de la k-ésima RU) y el efecto de la cuantificación en la $SINR_{kl}$ es pequeño.

En algunas implementaciones, una RU no determina la $SINR_{kl}$ por sí misma. En su lugar, la RU aprende de la CU la SINR objetivo, $SINR_{objetivo}$, a través de todas las antenas de la celda. La $SINR_{objetivo}$ es una función del MCS usado en cada PRB. La CU usa el lazo de control de potencia para dirigir las potencias de transmisión de un UE a un nivel básico y el UE ajusta la potencia de transmisión básica de acuerdo con el MCS usado en un PRB dado de modo que la SINR en el eNodeB sea aproximadamente igual a la $SINR_{objetivo}$.

En algunas implementaciones, las RU eligen la tasa del cuantificador de manera que el ruido de cuantificación no reduzca sustancialmente la SINR en el receptor de la CU más abajo de la SINR objetivo. Cuando la CU controla la potencia de transmisión del UE mediante un seguimiento preciso de los cambios de canal, la SINR en el receptor de la CU es aproximadamente igual a la $SINR_{objetivo}$. Además, cuando $SQNR_{kl} \gg SINR_{objetivo} > SINR_{kl}$, $SINR' = \sum_k (SINR_{k1}' + SINR_{k2}') \ll SINR_{objetivo}$. En otras palabras, el ruido de cuantificación no reduce sustancialmente la SINR en el receptor de la CU cuando la tasa del cuantificador se elige de manera que $SQNR \gg SINR_{objetivo}$.

En resumen, al seleccionar la tasa del cuantificador de manera que $SQNR_{kl} \gg SINR_{objetivo}$, una RU puede cuantificar los símbolos IQ sin producir ruido de cuantificación que afecte sustancialmente el rendimiento del receptor de la CU o prevenga una comunicación fiable entre la CU y la RU.

En las técnicas descritas anteriormente, para un PRB dado, las RU en la misma celda usan la misma tasa del cuantificador para todas las antenas. En algunas implementaciones, las SINR de diferentes antenas ($SINR_{kl}$) pueden ser significativamente diferentes. En tales implementaciones, pueden elegirse diferentes tasas del cuantificador para antenas que tienen diferentes $SINR_{kl}$ en la misma celda. Por ejemplo, las tasas del cuantificador pueden elegirse de modo que la SQNR sea proporcional a $1 + SINR_{kl}$. En particular, la tasa del cuantificador para la antena con una $SINR_{kl}$ más baja se elige para que sea más baja que la tasa del cuantificador para una antena con una mayor $SINR_{kl}$. En algunas implementaciones, cuando la $SINR_{kl}$ de algunas antenas es demasiado baja con relación a la SINR total, es un desperdicio para las RU a las que pertenecen esas antenas transmitir los símbolos IQ que se reciben a la CU. Se puede lograr una compresión significativa del flujo de IQ cuando esas RU pueden determinar que las señales recibidas en sus antenas no contribuyen significativamente al SINR general en la CU y purgan o podan las señales (lo que equivale a usar una tasa de cuantificador de "0" para estas señales).

Una RU puede ajustar la tasa del cuantificador en base a la $SINR_{kl}$ vista en cada antena y, adicionalmente, la diferencia entre la $SINR_{kl}$ en sus diferentes antenas y la $SINR_{kl}$ en otras antenas en la misma celda. En algunas implementaciones, la CU selecciona las RU desde las cuales se reciben los símbolos. La CU también puede determinar la tasa del cuantificador para cada RU en base a las transmisiones pasadas del UE. Por ejemplo, la CU establece la tasa del cuantificador en cero para una antena cuando determina que la $SINR_{kl}$ de esa antena contribuye a menos del 5 % de la SINR total.

En algunas implementaciones, la CU determina la tasa del cuantificador para cada antena sobre una base por UE en el momento cuando el UE transmite un preámbulo del PRACH. Puede requerirse que todas las RU reenvíen todas las señales de preámbulo del PRACH a la CU de modo que la CU pueda hacer una determinación inicial de la $SINR_{kl}$ para cada antena. La CU puede seleccionar entonces la tasa del cuantificador para cada antena e incluir esta información en la información secundaria del enlace descendente que envía a las RU. La CU es capaz de determinar la tasa del cuantificador para aquellas RU de las que la CU recibe señales del PUSCH o del PUCCH que se transmiten por un UE en una subtrama reciente. Para las RU cuyas transmisiones para un UE se depuran, la CU puede determinar una tasa del cuantificador en base a la SRS que se envía por el UE a intervalos regulares. Puede requerirse que todas las RU transmitan la SRS.

En base a la SRS y las señales de preámbulo del PRACH, la CU puede determinar la tasa del cuantificador para todas las RU en una celda. Además, la CU puede solicitar periódicamente a las RU que previamente han depurado las transmisiones del UE que envíen símbolos IQ y usen los símbolos IQ para actualizar la tasa del cuantificador para esas RU. Al ajustar la tasa del cuantificador para diferentes antenas, la tasa promedio de los datos que se envían desde las RU a la CU puede reducirse de forma significativa, especialmente cuando hay muchas RU en una celda.

En algunas implementaciones, la depuración de señales en el PUCCH puede ser difícil cuando múltiples UE comparten los mismos recursos del PUCCH. En tales implementaciones, los símbolos en el PUCCH se transmiten sin depurar. La tasa de transmisión del enlace ascendente no se afecta sustancialmente porque el PUCCH ocupa un porcentaje variable pero relativamente pequeño de los recursos del enlace ascendente. En algunas implementaciones, puede usarse una tasa del cuantificador fija para todas las antenas en los PRB que se asignan al PUCCH, incluso cuando las transmisiones del PUCCH implementan diversidad de transmisión en la que la misma información de control puede enviarse mediante el uso de diferentes recursos. En algunas implementaciones, pueden usarse otros esquemas de cuantificación y depuración, por ejemplo, más sofisticados, para el PUCCH cuando la red de radio tiene un número muy grande (por ejemplo, 16 o mayor) de RU en la celda.

La CU incorpora la tasa del cuantificador para cada PRB que se determina para cada antena en la información secundaria del enlace descendente, que se usa por las RU. Para aquellos PRB no asignados que no llevan datos o para las antenas que no contribuyen significativamente a la SINR total, la CU establece la tasa del cuantificador en cero. La información secundaria que se envía por la CU a las RU también puede incluir otra información, tal como el MCS del PUSCH y el formato del PUCCH y un índice que representa la distribución de probabilidad que se espera de los símbolos IQ en el dominio de la frecuencia en el PRB.

Similar al Método II, la CU envía la información secundaria asociada con la subtrama N del enlace ascendente en la subtrama N-4 del enlace descendente (véase, por ejemplo, la Figura 10). Las RU usan la información secundaria que se recibe en la subtrama N-4 del enlace descendente para seleccionar el tamaño de paso del cuantificador para cada PRB en la subtrama N del enlace ascendente. Los tamaños de paso se optimizan de forma similar al Método II, es decir, en base a la energía promedio que se mide y la distribución de probabilidad que se estima de los símbolos IQ que se reciben. Las RU envían el tamaño de paso que se selecciona para cada cuantificador a la CU al comienzo de cada símbolo de OFDM antes de transmitir los símbolos IQ cuantificados. Generalmente, se usa poca capacidad del enlace ascendente para enviar la información secundaria para los tamaños de paso.

La cuantificación en base al Método III puede no reducir el pico de la tasa de datos IQ del enlace ascendente en

comparación con el método II. Sin embargo, el método puede disminuir significativamente la tasa de bits promedio. Como ejemplo, la tasa de bits promedio puede reducirse por más del 50 %, cuando solamente el 50 % de los recursos del enlace ascendente están en uso. La adaptación de la tasa del cuantificador mediante el uso de las técnicas de este método puede ayudar a reducir la tasa de datos promedio del enlace ascendente y la carga en los conmutadores Ethernet.

IV. Cuantificación predictiva

En los Métodos I, II y III descritos previamente, las señales que se reciben en diferentes antenas de la misma RU se tratan como no correlacionadas. En este cuarto método, cuando el número de antenas receptoras es mayor que el número de capas que se envían por un UE en la multiplexación espacial, la correlación entre las señales que se reciben en diferentes antenas de la misma RU se usa para reducir aún más la tasa del cuantificador para las transmisiones del PUSCH. En la versión 10 de la versión del estándar LTE, el UE puede transmitir en múltiples puertos de antena. Para el propósito de la descripción, se asume que el UE transmite en el PUSCH mediante el uso de un único puerto de antena de transmisión.

Como se mostró previamente, las señales que se reciben por las dos antenas de la k-ésima RU en una celda pueden representarse como:

$$r_{k1} = s x h_{k1} + i_{k1} + w_{k1},$$

$$r_{k2} = s x h_{k2} + i_{k2} + w_{k2}.$$

Además, r_{k2} puede expresarse de acuerdo con la siguiente ecuación predictora:

$$r_{k2} = a_{k2} \times r_{k1} + Z_{k2},$$

donde el coeficiente de predicción a_{k2} se da por:

$$a_{k2} = E \{r_{k2} r_{k1}^*\} / E\{|r_{k1}|^2\},$$

y Z_{k2} es el error de predicción y puede escribirse como:

$$Z_{k2} = r_{k2} - a_{k2} r_{k1}.$$

Una RU puede estimar el coeficiente de predicción a_{k2} al calcular la correlación promedio entre las señales que se reciben en las dos antenas y entonces dividir el resultado por la energía promedio de las señales que se reciben en la segunda antena. La RU realiza la estimación sobre una base por UE en base a la información que se recibe de la CU.

Con referencia a la Figura 11, la RU primero cuantifica r_{k1} con un cuantificador escalar uniforme que tiene una tasa R_{k1} y un tamaño de paso Δ_{k1} para obtener la primera señal cuantificada r_{k1}' 1502, donde

$$r_{k1}' = r_{k1} + q_{k1}.$$

Aquí q_{k1} es el ruido de cuantificación del símbolo que se recibe en la primera antena. La RU entonces usa r_{k1}' para producir el error de predicción 1504 $z_{k2}' = r_{k2} - a_{k2} r_{k1}'$, que entonces se cuantifica con otro cuantificador escalar uniforme 1506 que tiene una tasa R_{k2} y un tamaño de paso de Δ_{k2} para generar la segunda señal cuantificada.

$$z_{k2}'' = r_{k2} - a_{k2} r_{k1}' + q_{k2}.$$

Aquí q_{k2} es el ruido de cuantificación del símbolo que se recibe en la segunda antena. Los bits 1510, 1512 que representan los símbolos cuantificados r_{k1}' y z_{k2}'' se envían a la CU, junto con el coeficiente de predicción a_{k2} y la información del cuantificador R_{k1} , R_{k2} , Δ_{k1} y Δ_{k2} . La CU reconstruye primero 1514, 1516 los símbolos cuantificados r_{k1}' y z_{k2} y entonces genera el símbolo cuantificado r_{k2}' 1518 de acuerdo con

$$r_{k2}' = z_{k2}'' + a_{k2} \times r_{k1}' = r_{k2} + q_{k2}.$$

La energía promedio del símbolo z_{k2}'' es más baja que la de r_{k2} y la tasa del cuantificador R_{k2} es generalmente más baja que la tasa del cuantificador usada cuando la RU cuantifica r_{k2} directamente sin predicción. La tasa del cuantificador más baja puede reducir la tasa IQ.

De nuevo, la SINR en la CU puede escribirse como:

$$SINR' = \sum_k (SINR_{k1}' + SINR_{k2}'),$$

donde

$$\text{SINR}_{k1}' = E_s \times |h_{kl}|^2 / (E_{i,kl} + E_{w,kl} + E_{q,kl}).$$

Para la primera antena, SINR_{k1}' puede escribirse como:

$$\text{SINR}_{k1}' = \text{SINR}_{k1} / (1 + (1 + \text{SINR}_{k1})/\text{SQNR}_{k1}).$$

En consecuencia, cuando se elige la tasa de cuantificador para la primera antena de manera que $\text{SQNR}_{k1} \gg 1 + \text{SINR}_{k1}$, el ruido de cuantificación no afecta sustancialmente a SINR_{k1}' .

De manera similar, para la segunda antena, SINR_{k2}' se puede escribir como:

$$\text{SINR}_{k2}' = \text{SINR}_{k2} / (1 + [(1 + \text{SINR}_k)/(1 + \text{SINR}_{k1})/\text{SQNR}_{k2}]).$$

Aquí $\text{SINR}_k = \text{SINR}_{k1}' + \text{SINR}_{k2}'$ y es la SINR total en la CU para la k-ésima RU. En consecuencia, cuando $\text{SQNR}_{k2} \gg (1 + \text{SINR}_k) / (1 + \text{SINR}_{k1})$, el ruido de cuantificación que se introduce por el segundo cuantificador no afecta sustancialmente a SINR_{k2}' .

En algunas implementaciones, las dos antenas de una RU tienen la misma SINR, es decir, $\text{SINR}_{k1} = \text{SINR}_{k2}$ y la condición para que el ruido de cuantificación no afecte sustancialmente a la SINR en la CU puede simplificarse a:

$$\text{SQNR}_{k2} \gg (1 + \text{SINR}_k) / (1 + 0,5 \times \text{SINR}_k).$$

Cuando $\text{SINR}_k \gg 1$, $\text{SQNR}_{k2} \gg 2$. Un cuantificador escalar uniforme que tiene una tasa de aproximadamente 5-6 puede satisfacer fácilmente esta condición. La tasa IQ resultante para la 2^{da} antena se reduce a aproximadamente 84-101 Mb/s, lo que representa una compresión de más del 50 %.

Para implementar la cuantificación predictiva, en algunas implementaciones, la CU estima los coeficientes de predicción, además de determinar la tasa de cuantificación en base a la cuantificación predictiva. Los coeficientes que se estiman pueden enviarse a las RU en la información secundaria del enlace descendente. Alternativamente, la CU puede determinar la tasa del cuantificador como se describe en el Método III y sin apoyarse en la cuantificación predictiva. Las RU aplican la predicción y envían el coeficiente de predicción como parte de la información secundaria del enlace ascendente a la CU. En algunas implementaciones, la CU determina la tasa del cuantificador en base a la cuantificación predictiva y las RU determinan los coeficientes de predicción y envían los coeficientes a la CU como parte de la información secundaria del enlace ascendente.

V. Compresión del enlace ascendente del preámbulo del PRACH

Cuando un UE inactivo tiene datos para enviar o para recibir, el UE establece una conexión con el eNodeB al enviar un preámbulo del PRACH al eNodeB en algunos PRB designados que se comparten por todos los UE en una celda. En algunas implementaciones, cada celda tiene 64 secuencias de preámbulo del PRACH compartidas, algunas de las cuales se designan para su uso en acceso sin contención y las otras se dividen en dos subconjuntos. En el acceso sin contención, el eNodeB asigna un preámbulo al UE. En otras situaciones, el UE selecciona uno de los dos subconjuntos en base a la cantidad de datos a transmitir. Entonces el UE escoge aleatoriamente una de las secuencias de preámbulo en el subconjunto que se selecciona.

Un preámbulo del PRACH usa 6 RB a 1,08 MHz y las posiciones de los 6 RB se determinan y señalan a los UE por la CU. El preámbulo del PRACH puede durar 1, 2 o 3 subtramas, en dependencia de la longitud del prefijo cíclico y del tiempo de guarda. Las oportunidades del PRACH pueden ocurrir tan frecuentemente como una vez cada una subtrama de 1 ms o tan infrecuentemente como una vez cada 20 ms.

En general, los UE no se programan para transmitir el PUSCH en los PRB que se asignan al PRACH. La CU puede usar la HARQ no adaptativa en el enlace ascendente para prevenir colisiones entre las retransmisiones del PRACH y la HARQ. La HARQ no adaptativa cambia los RB usados en la transmisión para evitar colisiones. Las oportunidades del PRACH también pueden elegirse para que no se solapen con las transmisiones de la SRS o del PUCCH. El UE selecciona la potencia de transmisión para el preámbulo del PRACH en base al control de potencia de lazo abierto donde el UE estima la pérdida de la señal del enlace ascendente en base a una medición de la pérdida de la señal del enlace descendente y aumenta gradualmente la potencia de transmisión después de intentos fallidos.

La detección del preámbulo del PRACH puede implementarse parcialmente en la RU y parcialmente en la CU. En algunas implementaciones, las RU conocen la posición exacta de las oportunidades del PRACH y convierten los símbolos IQ en el dominio del tiempo que se reciben (a 15,36 MHz para los estándares FDD LTE de 10 MHz) en una secuencia en el dominio del tiempo de tasa más baja (por ejemplo, una tasa de 1,28 MHz) mediante el uso de un desplazamiento de frecuencia en el dominio del tiempo seguido de una decimación. La secuencia resultante se convierte entonces al dominio de la frecuencia mediante el uso de una FFT (por ejemplo, una FFT de 1024 puntos para los estándares FDD LTE de 10 MHz). Se realiza una correlación en el dominio de la frecuencia entre la salida de la FFT y la representación en el dominio de la frecuencia de la secuencia raíz Zadoff-Chu.

Las 64 secuencias de preámbulo del PRACH se derivan mediante el uso de un desplazamiento cíclico. La salida de valor complejo del correlacionador en el dominio de la frecuencia se vuelve a convertir entonces en una secuencia de valor complejo en el dominio del tiempo mediante el uso de una IFFT (por ejemplo, una IFFT de 1024 puntos).

Las RU y la CU realizan las siguientes etapas de detección del PRACH colaborativamente. Por ejemplo, las RU pueden calcular una secuencia en el dominio del tiempo de valor real de 1024 muestras al sumar los cuadrados de los componentes reales e imaginarios. Las RU pueden enviar esta información a la CU para su posterior procesamiento. La CU, tras recibir la secuencia de potencia en el dominio del tiempo, realiza una detección de picos para determinar el desplazamiento cíclico del preámbulo. Tales transmisiones del PRACH del enlace ascendente se comprimen en el dominio del tiempo de manera que los datos comprimidos en el dominio del tiempo se transmiten entre las RU y la CU.

Alternativamente, las RU pueden enviar los símbolos de salida de valor complejo de la IFFT a la CU y dejar que la CU realice el resto de la detección del preámbulo del PRACH. En algunas implementaciones, las RU implementan la detección de picos, determinan el desplazamiento cíclico del preámbulo y envían a la CU la información de desplazamiento cíclico. La cantidad de datos que se transmiten desde las RU a la CU para la detección del preámbulo del PRACH es pequeña. En el ejemplo de FDD LTE de 10 MHz, la cantidad de datos varía desde unos pocos bits hasta 12-20 Mb/s, en dependencia de si se envían la potencia de valor real o las salidas de la IFFT de valor complejo.

En algunas implementaciones, cuando no hay un solapamiento sustancial entre las transmisiones del PRACH y otras transmisiones del enlace ascendente, no se realizan otras transmisiones para los RB que se transmiten en el PRACH.

Para que las RU implementen correctamente la detección del preámbulo del PRACH, la CU puede proporcionar a las RU la información de configuración, tal como el índice de configuración del PRACH, el desplazamiento de frecuencia del PRACH, la secuencia raíz de Zadoff-Chu del PRACH, etc. La CU puede enviar esta información a las RU cuando las RU se asignan inicialmente a la CU o cuando se modifica el PRACH.

Los datos del PRACH pueden cuantificarse con un cuantificador de tasa fija, cuya tasa se predetermina por la CU y se envía a las RU cuando las RU se conectan inicialmente a la CU. El tamaño de paso del cuantificador también puede fijarse o puede seleccionarse dinámicamente por las RU en base a la energía promedio de la señal del PRACH que se recibe.

Sincronización

En la presente descripción hay algunos requerimientos de sincronización que generalmente no son aplicables a las estaciones base clásicas.

Como se explicó anteriormente, en la presente descripción, algunas partes del procesamiento de banda base (por ejemplo, la funcionalidad del módem) y el procesamiento de la FFT/RF (por ejemplo, la funcionalidad de radio) se dividen entre una CU central y múltiples RU (RU) que se conectan a través de una red Ethernet conmutada (como se muestra en las Figuras). En las estaciones base clásicas, típicamente se usa un receptor GPS para adquirir la sincronización de tiempo y frecuencia y, ya que las funciones de módem y RF se combinan, pueden sincronizarse con el receptor GPS. En la presente descripción, en algunas implementaciones, un receptor GPS solamente está disponible en la CU y no está disponible en las RU para mantener el bajo coste del sistema y evitar la complejidad de la instalación. La CU también puede adquirir sincronización de temporización y frecuencia a través de otros medios, por ejemplo, desde un servidor de red o al escuchar las señales que se transmiten por una estación base de macrocelda cercana. En algunas implementaciones, se usa un protocolo de transporte de temporización para llevar una referencia de fase y frecuencia de temporización absoluta estable que sea rastreable al tiempo universal coordinado (UTC/GPS) desde la CU hasta las RU. El protocolo de transporte de temporización puede basarse en el protocolo IEEE 1588. En algunas implementaciones, la frecuencia de reloj y la fase de temporización absoluta que se deriva por las RU deben ser lo suficientemente precisas para satisfacer todos los requerimientos de sincronización de la 3GPP y para garantizar que el rendimiento de los UE no se vea impactado de forma perceptible por ningún error de frecuencia o de fase de temporización entre las RU y la CU y entre las propias RU.

Para lidiar con los retardos variables de los paquetes en una red Ethernet, el marco de la interfaz aérea del enlace descendente en la CU y el marco de la interfaz aérea del enlace ascendente en las RU se avanzan por los segundos T_{DL} y T_{UL} con relación entre sí. En las implementaciones, estos avances de marco T_{DL} y T_{UL} tiene que ser mayor que la suma del respectivo retardo de la red Ethernet entre la CU y la RU y el error de fase de temporización entre los relojes de la CU y la RU. Dado que el error de reloj en el peor de los casos es pequeño en comparación con el retardo de Ethernet en el peor de los casos, tiene un efecto menor en la selección de los avances de marco T_{DL} y T_{UL} . Cuando el retraso real de la red que experimenta un paquete excede el avance de marco, se producirá un flujo inferior del búfer y se perderán los paquetes de transporte de la capa física. Tal pérdida puede recuperarse mediante el uso de retransmisiones en capas de HARQ, RLP o TCP, pero a expensas de una reducción de la eficiencia de la transmisión. Por lo tanto, es importante que tal flujo inferior ocurra raramente y no impacte en la experiencia del usuario.

Una de las características de la presente descripción es su capacidad para dar servicio a los UE a través de múltiples RU que comparten la misma celda. Por ejemplo, como se describió anteriormente, una CU puede controlar múltiples

RU para definir una celda, en la que puede darse servicio a múltiples UE. La asignación de múltiples RU a la misma celda puede reducir el número de módems de banda base usados en la CU, evitar la interferencia entre celdas y mejorar la intensidad de señal a través de la macrodiversidad. Compartir la misma celda a través de múltiples RU puede reducir la capacidad del sistema LTE disponible para los usuarios individuales. En algunas implementaciones, mientras que la carga de la celda se mantenga más abajo del 50 % de la capacidad de la celda, no ocurrirá una degradación apreciable del rendimiento.

Con el fin de implementar la compartición de celdas en la presente descripción, en algunas implementaciones, las frecuencias portadoras relativas de las RU en la misma celda deben sincronizarse en frecuencia de una manera que sea más estricta que la precisión de frecuencia que se requiere de las RU individuales. En algunas implementaciones, sin tal sincronización diferencial ajustada, el canal efectivo del enlace descendente visto por el UE puede variar en el tiempo de manera similar a lo que pasa cuando hay movilidad y, como resultado, el rendimiento puede degradarse. Las variaciones del canal que se causan por la movilidad o por el desplazamiento de la frecuencia de la portadora diferencial entre las RU resultan en un desajuste entre el canal medido mediante el uso de las señales de referencia y el canal actualmente experimentado cuando se demodula el símbolo de Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM) de LTE.

La sincronización diferencial ajustada de la frecuencia portadora de las RU como se describió anteriormente también se requerirá entre las RU que pertenecen a diferentes celdas pero que usan el Multipunto Coordinado del enlace descendente de la Rel. 11 (CoMP de la Rel. 11 o simplemente "CoMP"). En el CoMP, en el borde de la celda, típicamente, las señales del enlace descendente de dos o más RU que pueden pertenecer a diferentes celdas podrían recibirse en un UE, mientras que las transmisiones del enlace ascendente del UE también podrían recibirse por estas diversas RU. Si pueden coordinarse las transmisiones del enlace descendente a un UE dado, puede mejorarse el rendimiento del enlace descendente. Igualmente, si las transmisiones del enlace ascendente pueden programarse de manera coordinada, puede mejorarse el rendimiento del enlace ascendente. El CoMP aborda problemas tal como la mitigación de interferencias y las transmisiones de bits coordinadas a través de la interfaz aérea.

Cuando no puede mantenerse una sincronización ajustada, el rendimiento del CoMP de la capa física del enlace descendente puede degradarse, las ganancias potenciales del CoMP pueden reducirse o perderse o incluso pueden volverse negativas. El CoMP del enlace descendente forma parte de la presente descripción, pero los requerimientos de sincronización diferencial ajustada para algunas implementaciones del CoMP no son exclusivos de la presente descripción y también se aplican a otros sistemas LTE que usan un CoMP del enlace descendente.

Cuando múltiples RU comparten la misma celda, la fase de temporización de sus transmisiones también necesitan sincronizarse. Esta sincronización también puede facilitar que la red de radio de esta descripción combine las señales del enlace ascendente que se reciben por las diferentes RU en la CU. En algunas implementaciones, tales combinaciones requieren que todas las señales significativas de multitrayecto que se reciben por diferentes antenas caigan dentro de un intervalo de tiempo que se llama prefijo cíclico. El prefijo cíclico corresponde a las primeras muestras de N_{CP} en un símbolo de OFDM que son una réplica de las últimas muestras de N_{CP} en el mismo símbolo. El prefijo cíclico garantiza que la subportadora que se transmite permanecerá ortogonal en el receptor, mientras que la dispersión del retardo del canal sea menor que el N_{CP} . Cuando múltiples RU comparten la misma celda y hay un desplazamiento de fase de temporización entre las RU, la suma de este desplazamiento y la dispersión del retardo del canal inalámbrico pueden controlarse para no exceder la longitud del prefijo cíclico. En el estándar LTE, el prefijo cíclico es de alrededor de 5 microsegundos. Por lo tanto, es conveniente mantener el error de fase de temporización entre las RU mucho más pequeño que 5 microsegundos.

Seguido de una breve descripción general de los requerimientos de sincronización en la presente descripción, se describirá cómo se abordan estos requerimientos.

Con respecto a esto, la sincronización y las características descritas en la presente descripción que se relacionan con ella, son implementaciones de ejemplo. Diferentes implementaciones de la presente descripción pueden emplear diferentes métodos de sincronización y variaciones en cualquiera y todos los métodos descritos en la presente descripción. Cualquier requerimiento que se especifica en esta descripción se refiere solamente a las implementaciones de ejemplo específicos descritos en la presente descripción y no son requerimientos de ningún método, aparato, sistema y producto de programa de computadora más general que pueda reivindicarse.

En una implementación de ejemplo de la presente descripción, las operaciones de banda base hasta la entrada de la FFT se realizan en la CU y el resto de las operaciones de banda base (FFT, prefijo cíclico, etc.) y las radios se implementan en las RU. En otra implementación de ejemplo de la presente descripción, en el enlace descendente, las operaciones de banda base hasta la modulación o el mapeo de capas se implementan en el controlador y el resto de las operaciones de banda base se implementan en las RU. Como se explicó previamente, la CU y las RU se separan por una red Ethernet conmutada que lleva datos entre la CU y las RU en paquetes o tramas.

1. Sincronización entre la CU y las RU

En algunas implementaciones, hay un oscilador de cristal VCTCXO en la CU y osciladores de cristal VCTCXO en

todas las RU. El VCTCXO en la CU se usa para generar los relojes que se requieren para el procesamiento de banda base en la CU y los VCTCXO en las RU se usan para generar los relojes para los convertidores analógico-digital-analógico (A/D/A), los sintetizadores de RF y el procesamiento de banda base que se realizan en las RU. En algunas implementaciones, solamente la CU tiene un receptor GPS u otro mecanismo de sincronización de temporización que puede generar una referencia de reloj estable de frecuencia estable y de precisión de fase y, por lo tanto, hay una necesidad de proporcionar una referencia de reloj de frecuencia estable y de precisión de fase a los VCTCXO en las RU mediante el uso de la sincronización de temporización que se basa en IEEE 1588. Como se describió por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), el estándar IEEE 1588 "define un protocolo que habilita la sincronización precisa de los relojes en los sistemas de medición y control que se implementan con tecnologías tales como la comunicación en red, la informática local y los objetos distribuidos. El protocolo... [es]... aplicable a los sistemas que se comunican por redes de área local que soportan mensajes de multidifusión, que incluyen, pero no se limitan a Ethernet". El contenido del IEEE 1588-2002 publicado en 2002 y revisado en 2008 se incorpora por referencia en esta descripción.

IEEE 1588 es un protocolo de sello de tiempo, que se implementa a través del protocolo UDP/IP, entre un reloj maestro en la CU y relojes esclavos en la RU. El protocolo implica intercambios repetidos de ida y vuelta entre los relojes maestro y esclavo, donde cada intercambio produce una señal de actualización de temporización que puede usarse para construir una señal de referencia de temporización en la RU. El reloj maestro inicia el intercambio al enviar un sello de tiempo al esclavo en la RU. Este sello de tiempo lleva el tiempo T1 que se mide por el reloj maestro en el momento en que el sello de tiempo deja la interfaz Ethernet en la CU. El esclavo recibe este sello de tiempo cuando su reloj local está en el tiempo T1'. La diferencia T1' - T1 = D_{DL} + Δ es la suma del retardo de viaje de ida desconocido D_{DL} del sello de tiempo de la CU a la RU y el error de fase de reloj desconocido Δ entre el reloj de referencia en la RU y el reloj de referencia en la CU. Con el fin de estimar (y cancelar) el retardo de ida del enlace descendente, el esclavo envía a la CU un segundo sello de tiempo. Este sello de tiempo lleva el tiempo T2 que se mide por el reloj esclavo en el momento en que el sello de tiempo deja la interfaz Ethernet en la CU. El maestro marca el tiempo T2' en su reloj local cuando recibe el sello de tiempo en la interfaz Ethernet en la CU y envía el valor T2' en un mensaje de respuesta de vuelta al esclavo. La diferencia T2' - T2 = D_{UL} - Δ es la suma del retardo de viaje de ida desconocido del sello de tiempo desde la RU a la CU y el error de fase de reloj desconocido (-Δ) entre el reloj de referencia en la CU y el reloj de referencia en la RU. Si el retardo de ida en las dos direcciones fuera el mismo (es decir, D_{DL} = D_{UL}) y la fase del reloj de referencia en la CU no se desvía con relación al reloj de referencia en la RU durante el intercambio, el esclavo puede estimar el error de reloj Δ al eliminar el efecto de los retardos de ida mediante el cálculo:

$$\Delta' = [(T1' - T1) - (T2' - T2)]/2.$$

Esta estimación del error de fase de reloj Δ' puede usarse en la RU para producir una señal de referencia que rastree de cerca la señal de referencia de temporización (por ejemplo, una señal de 1 Pulso Por Segundo (1PPS) derivada del GPS) en la CU.

En algunas implementaciones, los retardos de ida en las dos direcciones generalmente no son iguales, principalmente debido a retardos asimétricos dependientes de la carga en los conmutadores (los retardos de propagación y transmisión son típicamente simétricos). Para reducir el efecto de tales errores, IEEE 1588v2 introdujo la capacidad de los nodos intermedios, tal como los conmutadores de Ethernet, para medir los retardos en los que incurren los paquetes dentro del nodo e insertar esta parte del retardo en los paquetes con sello de tiempo a medida que atraviesan el nodo. Tal soporte de 1588v2 por los conmutadores de Ethernet permitirá al esclavo estimar el retardo de ida y vuelta sin los retardos asimétricos de la red dependientes de la carga y producir una estimación mucho más precisa del desplazamiento del reloj para activar el Lazo de Seguimiento de Fase (PLL). Sin embargo, los conmutadores que soportan IEEE 1588 tienden a ser más costosos y, por lo tanto, es necesario desarrollar métodos que puedan reducir o eliminar los efectos de los retardos asimétricos de la red.

En la medida en que los procesos IEEE 1588v2 puedan usarse para dirigir el error de la fase de temporización a cero, el reloj de referencia en la RU puede alinearse perfectamente en fase y frecuencia con el reloj de referencia en la CU, por ejemplo, una señal 1PPS del GPS.

En los sistemas de ejemplo de la presente descripción, el VCTCXO en la CU se usa como reloj maestro para generar los sellos de tiempo para el protocolo IEEE 1588. El VCTCXO de las RU se disciplina mediante el uso de los sellos de tiempo que se reciben por el esclavo IEEE 1588. La transmisión y el procesamiento inteligentes de los sellos de tiempo se usa en la CU y en las RU para reducir o eliminar la fluctuación que se introduce por los retardos aleatorios de la red Ethernet asimétrica entre la CU y la RU. La temporización de la generación de sellos de tiempo en la CU y en las RU se orquesta para reducir los retardos asimétricos. La generación y el procesamiento de sellos de tiempo pueden implementarse en un Sistema en Chip (SoC) tanto en la CU como en la RU. La asistencia por hardware se usa en este proceso para reducir la posibilidad de que se introduzcan retardos asimétricos aleatorios en el procesamiento de IEEE 1588.

Si los sellos de tiempo se envían por las CU y las RU de manera no coordinada, pueden experimentar diferentes retardos en el enlace ascendente y en el enlace descendente debido a los diferentes niveles de contención que encuentran en las dos direcciones. Por ejemplo, si múltiples RU responden a un sello de tiempo que se envía por la CU

aproximadamente al mismo tiempo, los sellos de tiempo del enlace ascendente pueden experimentar retardos significativamente mayores que los sellos de tiempo que se envían en el enlace descendente. La contención entre los sellos de tiempo y los datos IQ también puede contribuir a aumentar la latencia y tal latencia puede ser diferente en las dos direcciones.

Dos métricas que pueden usarse para evaluar la precisión del método de sincronización de temporización de IEEE 1588 son el valor medio y la varianza de la estimación del error de reloj Δ' :

$$E\{\Delta'\} - E\{(T1' - T1)\} - E\{(T2' - T2)\}/2 = [E\{D_{DL} + \Delta\} - E\{D_{UL} - \Delta\}]/2 = \\ = \Delta + E\{D_{DL} - D_{UL}\}/2,$$

Donde $E\{\}$ se refiere a la expectativa estadística o al valor medio de su argumento. En otras palabras, el medio de estimación de temporización Δ' tiene un sesgo fijo que corresponde a la diferencia de retardo promedio entre el enlace ascendente y el enlace descendente, dividido por 2. Cuando los retardos promedio en el DL y el UL difieren significativamente, podría haber un error de fase significativo en la estimación de temporización promedio. La varianza de la estimación de temporización es proporcional a la varianza $1/2$ de la diferencia entre los retardos del DL y el UL.

$$E\{(\Delta' - E\{\Delta'\})^2\} = \text{varianza}\{(D_{DL} - D_{UL})/2\}.$$

El error de estimación cuadrático medio $E\{(\Delta' - \Delta)^2\}$ entre el error de fase de reloj que se estima y el error de fase de reloj actual será mayor que la varianza de Δ' por el cuadrado del sesgo:

$$E\{(\Delta' - \Delta)^2\} = \text{varianza}\{D_{DL} - D_{UL}/2\} + [E\{D_{DL} - D_{UL}\}/2]^2.$$

En algunas implementaciones, es posible que la RU determine con precisión la relación entre los retardos UL y DL; por ejemplo, $D_{UL}/D_{DL} = a$. La RU puede entonces modificar la fórmula para la estimación del error de reloj de acuerdo con:

$$\Delta' = [a(T1' - T1) - (T2' - T2)]/(1 + a).$$

En la medida en que el parámetro "a" pueda determinarse exactamente, puede obtenerse una estimación perfecta del error de reloj sin sesgo; es decir, $E\{\Delta'\} = \Delta$ y la varianza $\{\Delta'\} = 0$. En algunas implementaciones, es difícil conocer exactamente los retardos del enlace ascendente y del enlace descendente de manera consistente. A veces, puede ser posible determinar una relación funcional entre los retardos del enlace ascendente y del enlace descendente en promedio. Por ejemplo, si hay una relación funcional conocida entre los retardos promedio $D_1 = E\{D_{DL}\}$ y $D_2 = E\{D_{UL}\}$, entonces es posible reducir o incluso eliminar el término de sesgo $E\{D_{DL} - D_{UL}\}/2$. Por ejemplo, si $D_2 = a D_1 + b$, en otras palabras, el retardo promedio en el UL es una función lineal conocida del retardo promedio en el DL, entonces puede reducirse o eliminarse el sesgo mediante el uso de una estimación de temporización modificada dada por lo siguiente:

$$\Delta' = [a(T1' - T1) + b - (T2' - T2)]/(1 + a).$$

En este caso, puede mostrarse que $E\{\Delta'\} = \Delta$, que es la estimación correcta sin sesgo. Puede observarse que en el caso especial donde $a = 1$ y $b = 0$, esto se reduce al caso donde los retardos promedio en UL y el DL son los mismos y la estimación de la temporización se reduce a la fórmula estándar de estimación de temporización de 1588.

La varianza de la estimación de la fase de temporización ahora se reduce a:

$$E\{(\Delta' - E\{\Delta'\})^2\} = E\{(\Delta' - \Delta)^2\} = \text{varianza}\{aD_{DL} + b - D_{UL}/(1 + a)\}.$$

Otro método para reducir el error de fase de temporización cuadrático medio es minimizar tanto la media como la variancia del diferencial de retardo promedio entre el enlace ascendente y el enlace descendente al controlar la transmisión de los sellos de tiempo con relación entre sí y con relación a las transmisiones de datos IQ entre la CU y la RU para evitar la contención en los conmutadores. Seguidamente se describe un método de ejemplo que puede reducir significativamente los retardos del enlace descendente y del enlace ascendente.

En este método, se deja que la CU y cada RU ejecuten múltiples intercambios de sellos de tiempo durante un intervalo de tiempo A dado, por ejemplo, 1 segundo. Por ejemplo, la CU y la RU pueden ejecutar 10 intercambios de sellos de tiempo durante un intervalo de 1 segundo, donde cada intercambio de sello de tiempo usa 3 transmisiones de mensajes IEEE 1588 como se describió antes. En algunas implementaciones, con referencia a la Figura 18, la CU envía 2502 su sello de tiempo al comienzo del intervalo de símbolo de OFDM. Entonces espera 2504 por algún período de tiempo preconfigurado antes de transmitir 2506 sus datos IQ para dar tiempo a que el sello de tiempo viaje a través de los conmutadores. Las transmisiones de sellos de tiempo se asocian con la más alta prioridad. Si un sello de tiempo encuentra contención de datos IQ en los conmutadores, a lo máximo esperará por la transmisión de los datos IQ cuya transmisión ya ha comenzado. Tras recibir 2508 el sello de tiempo, la RU inicia la transmisión de su propio sello de tiempo a intervalos que se eligen de forma aleatoria posteriormente. En algunas implementaciones, tras recibir el sello de tiempo de la CU, la RU puede esperar 2510 un intervalo de tiempo preconfigurado antes de transmitir 2512 el sello

de tiempo. El intervalo de tiempo preconfigurado también puede depender del momento en que se complete la transmisión de datos IQ del enlace ascendente de la propia RU. La CU, tras recibir 2514 el sello de tiempo de las RU, marca 2516 el tiempo en su reloj local y envía este tiempo medido a la RU en otro mensaje IEEE 1588. La RU tras recibir 2520 este mensaje calcula 2522 una estimación del error de fase del reloj (o equivalentemente, un desplazamiento del reloj), pero no hace ningún ajuste en su reloj. En algunas implementaciones, la CU y la RU repiten el intercambio anterior múltiples veces durante el intervalo de tiempo A. Al final del intervalo de tiempo, la RU compara 2524 los desplazamientos del reloj y actualiza 2524 su reloj en base a la medida que corresponde al desplazamiento del reloj más bajo.

En algunas implementaciones, la RU puede comparar el desplazamiento del reloj a un valor de umbral. Si el desplazamiento del reloj excede el valor de umbral en magnitud, la RU no actualiza su reloj durante un intervalo A. Además de calcular las estimaciones para el desplazamiento del reloj, la RU puede calcular el retardo de ida y vuelta como

$$D_{DL} + D_{UL} = [(T1' - T1) + (T2' - T2)].$$

Un retardo de ida y vuelta puede indicar que el intercambio IEEE 1588 tiene contención y que el desplazamiento del reloj asociado es inexacto y, por lo tanto, no debe usarse.

La CU también implementa intercambios similares de IEEE 1588 con otras RU. En algunas implementaciones, la CU puede implementar los intercambios IEEE 1588 con diferentes RU de forma no solapada, para minimizar la contención en las transmisiones de sello de tiempo del enlace ascendente. En algunas implementaciones, solamente puede usarse un intercambio IEEE 1588 para cada RU durante el intervalo de tiempo A.

Si hay múltiples controladores en el sitio que envían tráfico al mismo puerto de salida de un conmutador, estas transmisiones también pueden crear contención y aumentar la latencia. Una manera de evitar tal contención es usar un único controlador para que actúe como maestro para todas las transmisiones del DL. En otras palabras, todo el tráfico puede enrutarse a través del controlador maestro. Alternativamente, un único controlador puede asumir el rol de maestro solamente para la operación IEEE 1588. En este caso, solamente el controlador maestro enviará sellos de tiempo a las RU.

Si las RU y el controlador soportan otro tráfico, tal como el tráfico Wi-Fi, la transmisión del otro tráfico también puede temporizarse para evitar la contención en los conmutadores. Por ejemplo, pueden usarse enlaces Ethernet adicionales para evitar la contención directa entre ese otro tráfico y los datos IQ sensibles a la latencia y el tráfico de sello de tiempo IEEE 1588.

En algunas implementaciones, el tráfico asociado con diferentes controladores y otro tráfico, tal como el Wi-Fi, puede segregarse, por ejemplo, segregarse estrictamente, al asignarlo a diferentes VLAN y mediante el uso de enlaces y puertos Ethernet dedicados para la red de radio para evitar la contención.

Las capacidades de QoS de Ethernet pueden implementarse para mejorar el rendimiento de los métodos anteriores. Mediante el uso de niveles de prioridad que se definen en el estándar 802.1p, puede darse mayor prioridad a las transmisiones de sello de tiempo para minimizar los retardos en los conmutadores que pueden causarse por las transmisiones de datos IQ.

Seguidamente, se proporciona una descripción de cómo deben alinearse las subtramas del enlace ascendente y del enlace descendente que se transmiten a través de la red Ethernet conmutada.

2. Avance de la trama

La alineación de las transmisiones del enlace descendente y del enlace ascendente en las antenas en un eNodoB independiente puede crear una ligera desalineación en el procesador de banda base del eNodoB. Pero, dado que el retardo entre las antenas y el procesador de banda base es relativamente pequeño, esto tiene poco o ningún impacto en el rendimiento del sistema. Sin embargo, el retardo en la presente descripción entre el procesamiento de banda base en la CU y las antenas cercanas a las RU puede ser significativamente mayor que en un eNodoB independiente debido a los retardos que se introducen por la red Ethernet entre la CU y las RU. En algunos casos, el retardo fijo entre la CU y la RU puede ser del orden de 200-300 μ s o 3-4 intervalos de símbolos de OFDM. Para compensar este retardo, uno puede avanzar la temporización de la subtrama del enlace descendente en la CU por una cantidad predeterminada de T_{DL} segundos, donde T_{DL} está en el orden de 200-300 μ s en algunas implementaciones. Si las tramas del enlace ascendente (UL) y del enlace descendente (DL) se alinean en la antena de la RU, entonces, como se describió más abajo, ocurrirá un desplazamiento entre las subtramas del UL y del DL en el módem de banda base de la CU. Un requerimiento de sincronización de temporización en LTE se relaciona con la fase de temporización relativa de las transmisiones del enlace ascendente desde diferentes UE. Este requerimiento, que se llama Avance de Temporización del Enlace Ascendente, también se implementa en la presente descripción. En el Avance de Temporización del Enlace Ascendente, los UE avanzan la fase de temporización de sus transmisiones del enlace ascendente con relación a las transmisiones del enlace descendente que se reciben en base a los comandos que se

reciben del eNodoB. Un eNodoB estándar determina los comandos de avance de temporización para alinear el inicio de la n -ésima subtrama del enlace ascendente que se recibe con el inicio de su propia transmisión del enlace descendente de la n -ésima subtrama en las antenas. Si el avance de temporización del UE se establece igual al retardo de ida y vuelta entre el UE y las antenas del eNodoB, las señales del enlace ascendente de diferentes UE se alinearán en fase en las antenas del eNodoB.

En consecuencia, en la presente descripción, las señales del enlace ascendente de diferentes UE se alinean en fase de temporización en las antenas receptoras de la RU de manera que todas estas transmisiones se reciben dentro del prefijo cíclico como se explicó antes. Uno puede entonces elegir el avance de temporización (TA) de acuerdo con $TA = t_{RT}$, donde t_{RT} es el retardo medio de ida y vuelta entre el UE y las antenas cercanas de la RU. Esto alinearía automáticamente los límites de la subtrama del DL, que se alinean en fase con el 1PPS del GPS, con los límites de la subtrama del UL en la antena de la RU, como se muestra en la Figura 12. Sin embargo, los límites de la subtrama del DL y del UL en la CU ahora se desplazan ahora con respecto entre sí por $T_{RT} = T_{DL} + T_{UL}$, donde T_{DL} y T_{UL} son el avance de temporización de trama fijo del enlace descendente y del enlace ascendente que se asume entre la CU y la RU, respectivamente. En resumen, en la antena de TX (transmisión) de la RU, la transmisión de la n -ésima subtrama del DL inicia al mismo tiempo que la recepción de la n -ésima subtrama del UL, pero en la CU la recepción de la n -ésima trama del UL ocurre T_{RT} segundos posteriores al inicio de la transmisión de la n -ésima subtrama del DL. Un inconveniente de este enfoque es que el tiempo de procesamiento de HARQ en la CU puede reducirse T_{RT} segundos, que puede ser tan alto como 500 μs . En las implementaciones donde no hay retardo entre la RU y la CU, el controlador tiene 3 ms disponibles para procesar las señales que se reciben en el enlace ascendente e iniciar la transmisión correspondiente en el enlace descendente. Por lo tanto, esto podría representar una reducción del 17 % en el tiempo de procesamiento disponible en la CU.

Considere la operación de HARQ del enlace descendente de la Figura 13, donde la CU envía datos del PDSCH en la subtrama N del DL, que se recibe por el UE después de $T_{DL} + t_{DL}$ segundos. El UE envía un mensaje de ACK/NAK en la subtrama del enlace ascendente N + 4. Si el avance de temporización $TA = t_{RT}$, como sería el caso en un eNodoB clásico, entonces desde el final de la subtrama N del DL hasta el comienzo de la subtrama N + 4 del UL, el UE tiene $3 - TA = 3 - t_{RT}$ ms para demodular la subtrama N del DL, determinar el ACK/NAK y construir el mensaje de ACK/NAK. Desde el momento en que recibe la subtrama N + 4 del UL que lleva el ACK/NAK, la CU puede tener hasta el comienzo de la subtrama N + 8 del DL para programar una retransmisión. Cuando $TA = t_{RT}$, entonces desde el final de la subtrama N + 4to del UL hasta el comienzo de la subtrama N + 8vo del DL, la CU tendrá solamente $3 - T_{RT}$ ms disponible para iniciar una retransmisión. En otras palabras, el tiempo de procesamiento disponible en la CU se reduce por el retardo de ida y vuelta entre la CU y la antena. En algunas implementaciones, la CU puede retrasar la retransmisión al tomar ventaja de la llamada característica adaptativa de la HARQ del DL, aunque en algunas circunstancias esto puede reducir el rendimiento general. También ocurre una reducción similar en el tiempo de procesamiento disponible en la HARQ del enlace ascendente, donde la CU tiene $3 - (T_{DL} + T_{UL})$ tiempo de procesamiento entre que se recibe una transmisión del enlace ascendente y se envía un ACK/NAK en el enlace descendente.

Un método que puede abordar el problema anterior es aumentar el avance de temporización del enlace ascendente TA por T_{RT} para todos los UE. Esto no afecta la alineación de la fase de temporización del enlace ascendente entre los UE en la RU, ya que el avance de temporización se aumenta por la misma cantidad para todos los UE. Como se explicó anteriormente, aumentar el avance de temporización reduce el tiempo de procesamiento de la HARQ en el UE, pero ya que todos los UE se diseñan para manejar un avance de temporización máximo de 667 μs en algunas implementaciones, no debería haber ningún problema mientras que el avance de temporización se mantenga más abajo de este límite. La alineación de la subtrama en este caso se ilustra en la Figura 14.

Como se requiere, las subtramas del DL se alinean en fase con 1PPS del GPS en las antenas de TX, pero las subtramas del UL en las antenas de RX ahora se desplazan por T_{RT} segundos con relación a 1PPS del GPS. En otras palabras, la RU iniciará el procesamiento de la subtrama N del UL T_{RT} segundos antes de que inicie el procesamiento de la subtrama N del DL.

La temporización de la HARQ que se revisa tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente se ilustra en las Figuras 15 y 16. En los ejemplos que se muestran en ambas Figuras, el tiempo de procesamiento en la CU se mantiene constante en 3 ms, mientras que el tiempo de procesamiento en el UE se reduce a $3 - t_{RT} - T_{RT}$ ms, pero todavía está dentro de los límites de las capacidades de los UE. Es posible elegir el avance de temporización para que se encuentre en cualquier lugar entre t_{RT} y $T_{RT} + T_{RT}$.

Cuando el UE aplica un gran avance de temporización TA, la configuración del preámbulo para el Canal Físico de Acceso Aleatorio (PRACH) necesita seleccionarse en consecuencia para prevenir que la transmisión del preámbulo del PRACH en la subtrama N interfiera con las transmisiones del Canal Físico Compartido de Enlace Ascendente (PUSCH)/Canal Físico de Control de Enlace Ascendente (PUCCH) en la siguiente subtrama N+1. El intervalo de guarda GI del preámbulo debe ser mayor que el avance de temporización TA o, alternativamente, el eNodoB no debe programar ninguna transmisión del PUSCH en la subtrama N+1 en los bloques de recursos que se asignan al PRACH en la subtrama N. Los formatos de preámbulo del PRACH 1 y 3 soportan una TA de hasta 0,52 y 0,72 ms, pero usa 2 y 3 subtramas, respectivamente. Los formatos de preámbulo del PRACH 0 y 2 solamente soportan un TA de hasta 0,1

y 0,2 ms, mediante el uso de 1 y 2 subtramas, respectivamente. El formato de preámbulo del PRACH 1 es adecuado para la presente descripción si TA puede mantenerse más abajo de 0,5 ms. Alternativamente, es posible usar un formato 0 y no programar ninguna transmisión del PUSCH en los RB del PRACH en la subtrama del enlace ascendente que sigue inmediatamente a la transmisión del PRACH.

En la CU, los paquetes del PRACH que se envían por la RU se almacenan en un búfer del PRACH, separado del búfer del UL y se procesan lo más rápido posible. La CU examina la secuencia de energía de 839 puntos, determina si hay un preámbulo presente y, si es así, estima el desplazamiento cíclico que se transmitió por el UE y prepara el mensaje de respuesta del PRACH. Mientras no haya un requerimiento de temporización estricto para que la CU envíe una respuesta del PRACH, esto debe hacerse lo más rápido posible con el fin de mejorar el tiempo de respuesta del PRACH. En base a la Figura 16, la CU puede enviar la respuesta del PRACH en la subtrama N+3.

En algunas implementaciones, el TA en el UE puede mantenerse bajo, por ejemplo, tan bajo como el retardo del enlace aéreo de ida y vuelta y uno puede aceptar el tiempo de procesamiento reducido resultante en el controlador. Esto puede permitir a la red de radio usar preámbulo del PRACH de Formato 0, que usa menos recursos del enlace aéreo para el PRACH o no tener ninguna restricción en la programación debido a potenciales colisiones con el PRACH, como se describió antes.

3. Alineación de trama para TD-LTE

En avance de trama en FDD-LTE. En TD-LTE, la estructura de la trama se diseña de manera que las transmisiones del enlace ascendente y del enlace descendente no se solapen en las antenas de recepción de la RU y el UE. Puede usarse una subtrama especial para la transición de la transmisión del DL a la del UL, como se muestra en la Figura 19. La subtrama especial inicia con unos pocos símbolos de OFDM de transmisión del DL, seguida de un intervalo de espacio de silencio GP que dura unos pocos símbolos de OFDM y termina con 1 o 2 símbolos de OFDM de la transmisión del UL. La transmisión del UL en la subtrama especial solamente puede llevar la SRS o el PRACH (que necesita dos símbolos de OFDM). El estándar LTE soporta 9 configuraciones diferentes para la subtrama especial, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Configuraciones de Subtramas Soportadas por LTE.

Configuración de la Subtrama especial	DL	P	L	Total
0	3	0		14
1	9			14
2	11			14
3	11			14
4	12			14
5	3			14
6	9			14
7	10			14
8	11			14

Como en FDD, el UE avanza la temporización de la trama del UL con relación a la temporización del DL que se recibe en TA segundos. Esto alinea las transmisiones de diferentes UE en las antenas de la RU. En TD-LTE, el valor máximo que se espera de TA determina el intervalo de espacio GP. Con el fin de evitar las transmisiones simultáneas del DL y del UL en las antenas de recepción del UE o de la RU, se selecciona un GP de manera que $GP \geq TA \geq t_{RT}$, donde T_{RT} representa el retardo de propagación del enlace aéreo de ida y vuelta entre las antenas del UE y de la RU.

Como se muestra en la Figura 19, si $GP < TA$, la transmisión de los UE del UL al final de la subtrama especial interferirá con la recepción de la transmisión del DL al comienzo de la misma subtrama especial. Si $GP < TA - t_{RT}$, entonces la transmisión del DL de las RU al comienzo de la subtrama especial causará interferencia en la recepción de la transmisión del UL de la RU al final de la subtrama especial. Si $TA < t_{RT}$, entonces la transmisión del DL de la RU que sigue inmediatamente a una transición del UL al DL interferirá con la recepción de las RU de la última transmisión de la subtrama de UL de los UE antes de la transición del UL al DL.

En algunas implementaciones, es posible que el controlador elija la TA para alinear las transmisiones del DL y del UL en el controlador como en FDD con el fin de preservar el tiempo de procesamiento de 3 ms. Pueden usarse las configuraciones especiales de subtramas 0 o 5, que soportan un valor de GP (9 o 10 símbolos de OFDM) lo suficientemente grande como para evitar la interferencia del UL-DL descrita anteriormente. A veces, el gran valor de GP puede causar ineficiencia en las transmisiones del DL.

En algunas implementaciones, puede usarse un valor de TA más corto para TD-LTE. En TD-LTE, la temporización de HARQ es diferente a la de FDD y depende de la configuración específica de la trama TDD. La Tabla 3 muestra los requerimientos mínimos de temporización de la HARQ para las 9 configuraciones de tramas diferentes que se soportan en el estándar. La configuración de la trama se envía por el controlador en un mensaje SIB.

Tabla 3. Requerimientos Mínimos de Temporización de la HARQ para 9 Configuraciones de Tramas Diferentes

# de subtrama	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
ACK/NAK	4	6	4	7	6	4	6	4	7	6
Retransmisión	6	4	6	4	4	6	4	6	4	4
Tiempo total	10	10	10	11	10	10	10	10	11	10
1	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
ACK/NAK	7	6	4	6	4	7	6	4	6	4
Retransmisión	4	4	6	4	6	4	4	6	4	6
Tiempo total	11	10	10	10	10	11	10	10	10	10
2	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
ACK/NAK	7	6	6	4	8	7	6	6	4	8
Retransmisión	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Tiempo total	11	10	10	8	12	11	10	10	8	12
3	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
ACK/NAK	4	11	6	6	6	7	6	6	5	5
Retransmisión	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Tiempo total	8	15	10	10	10	11	10	10	9	9
4	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
ACK/NAK	12	11	6	6	8	7	7	6	5	4
Retransmisión	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Tiempo total	16	15	10	10	12	11	11	10	9	8
5	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
ACK/NAK	12	11	6	9	8	7	6	5	4	13
Retransmisión	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Tiempo total	16	15	10	13	12	11	10	9	8	17
6	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D
ACK/NAK	7	7	4	6	6	7	7	4	7	5
Retransmisión	8	7	6	4	4	7	6	6	7	5
Tiempo total	15	14	10	10	10	14	13	10	14	10

Para cada configuración de trama, la Tabla 3 muestra las subtramas del DL (D), del UL (U) y Especial (S) en una trama de radio. Las configuraciones 3-5 soportan una única transición del DL-UL y las otras configuraciones soportan dos transiciones del DL-UL dentro de una trama de radio de 10 ms. Para cada configuración de trama, la Tabla 3 también muestra el número de subtramas entre la transmisión de los datos del canal compartido y la transmisión de ACK/NAK por el nodo receptor. En la HARQ del DL, el tiempo de ACK/NAK varía entre 4 y 13 subtramas. A veces, el UE tendrá 3 - TA ms de tiempo de procesamiento disponible, igual que en FDD. En la HARQ del UL, el tiempo de ACK/NAK varía entre 4 y 7 subtramas. Cuando los requerimientos de capacidad del DL son mayores que los del UL, las configuraciones 2-5 pueden usarse para sistemas internos. En estas configuraciones, el tiempo de ACK/NAK se fija en 6 subtramas, 2 subtramas más que en FDD. Esto le da al controlador $5 - T_{RL} + t_{RT}$ segundos de tiempo de procesamiento. Si TA se minimiza al establecerlo igual al retardo de ida y vuelta del enlace aéreo, es decir, $TA = t_{RT}$, entonces el tiempo de procesamiento disponible es $5 - T_{RT}$. Si se elige TA para compensar también el retardo de ida y

vuelta del controlador-RU T_{RT} , es decir, $T_A = T_{RT} + t_{RT}$, entonces el tiempo disponible es de 5 subtramas, que es 2 subtramas más que en FDD.

5 La Tabla 3 también muestra el tiempo de retransmisión. Puede observarse que el tiempo de retransmisión del DL varía entre 4 y 8 subtramas, pero para las configuraciones 3-5 siempre es igual a 4, al igual que en FDD. El tiempo de procesamiento disponible en el controlador aumenta de $3-T_R$ a 3 ms a medida que T_A se aumenta desde t_{RT} a $t_{RT} + T_{RT}$. Esta es la misma compensación que en FDD. En el UL el tiempo de retransmisión varía entre 4 y 7 subtramas. En el peor de los casos de 4 subtramas, el tiempo de procesamiento disponible en el UE es el mismo que en FDD.

10 En TD-LTE se permiten oportunidades del PRACH en subtramas del UL. Las oportunidades del PRACH también pueden crearse en subtramas especiales cuando se asignan al menos 2 símbolos del OFDM al PRACH (configuraciones de subtramas especiales 5-8). Pero en este caso, el intervalo de silencio disponible es de 288 muestras (a 20 MHz) o 9,375 ns, lo que limita el retardo de propagación del enlace aéreo de ida y vuelta a 9,375 ns o aproximadamente a 1,4 km. Esto muestra que, en las redes internas, pueden usarse subtramas especiales para el PRACH cuando las tramas del UL/DL se alinean en las RU y se acepta la reducción del tiempo de procesamiento que puede estar disponible en el controlador en ciertas configuraciones. El uso del PRACH en subtramas del UL normales es el mismo que en FDD, excepto que en TD-LTE pueden soportarse múltiples oportunidades del PRACH en una única subtrama.

20 Otras modalidades

Aunque se hacen diversas suposiciones para el propósito de la descripción, las implementaciones de los sistemas y métodos descritos en esta descripción no se limitan por estas suposiciones. En su lugar, las descripciones en base a estas suposiciones pueden generalizarse fácilmente a otras situaciones. Los números de RU en cada celda, los
25 números de antenas para cada RU y los números de celdas en una red pueden variar, por ejemplo, en base a las demandas de la red.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de comunicación (10) que comprende:

5 unidades remotas (26a-26i,...) para intercambiar señales de radiofrecuencia con dispositivos móviles (18, 20,...), al menos algunas de las señales de radiofrecuencia que comprenden información destinada a o procedente de, un dispositivo móvil (18, 20,...); y
un controlador (22, 24, 60, 80,...) que comprende uno o más módems (62, 82, 84,...) y que se conecta a una red
10 externa (30,...), al menos uno de los módems (62, 82, 84,...) que es un módem de banda base (62, 82, 84,...) y que se configura para pasar los primeros datos correspondientes a la información;
en donde el controlador (22, 24, 60, 80,...) se separa de las unidades remotas (26a-26i,...) por una red intermedia (34, 36, 38) sobre la cual se llevan segundos datos correspondientes a la información en tramas entre el controlador (22, 24, 60, 80,...) y las unidades remotas (26a-26i,...), y
15 en donde los segundos datos comprenden datos de banda base y al menos algunos de los segundos datos comprenden datos de banda base que se comprimen en un dominio de la frecuencia, caracterizado porque:

la red intermedia (34, 36, 38, 68, 96,...) comprende una red Ethernet conmutada (34, 36, 38, 68, 96,...);
20 al menos uno del controlador (22, 24, 60, 80,...) y una o más de las unidades remotas (26a-26i,...) se configuran para comprimir los datos de banda base en el dominio de la frecuencia para su transmisión a través de la red Ethernet conmutada; y
el sistema (10) se configura de modo que todos los datos de banda base, excepto los correspondientes a las transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio de un dispositivo móvil (18, 20,...) se comprimen en el
25 dominio de la frecuencia.

2. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el sistema se configura de modo que los datos de banda base se representan por señales de valor complejo que tienen componentes reales e imaginarios y el controlador se configura para comprimir los datos de banda base mediante la cuantificación de las señales de valor complejo en el dominio de la frecuencia para producir datos de banda base cuantificados y para transmitir
30 datos binarios representativos de los datos de banda base cuantificados a las unidades remotas.

3. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 2, en donde las unidades remotas se configuran para reconstruir los datos de banda base cuantificada tras la recepción de los datos de banda base comprimido y opcionalmente en donde las unidades remotas se configuran para aplicar una transformada rápida de Fourier inversa en los datos de banda base reconstruidos.
35

4. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el controlador se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso fijo, opcionalmente, ya sea:
40

en donde el controlador se configura para cuantificar independientemente los componentes reales e imaginarios de los datos de banda base en el dominio de la frecuencia, o
en donde el controlador se configura para enviar información sobre la tasa fija y el tamaño de paso fijo a las unidades remotas cuando las unidades remotas y el controlador se conectan.
45

5. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el controlador se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso ajustable y opcionalmente en donde el controlador se configura para enviar información secundaria sobre la tasa y un tamaño de paso fijo a la unidad remota una vez por subtrama.
50

6. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el controlador se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa y un tamaño de paso, la tasa y el tamaño de paso ambos son ajustables, opcionalmente, ya sea:
55

en donde el controlador ajusta el tamaño de la etapa de acuerdo con la energía de los datos de banda base cuantificados o en donde el controlador ajusta la tasa de acuerdo con un esquema de modulación y codificación de los datos de banda base.

7. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el sistema se configura de modo que las señales de radiofrecuencia son compatibles con el estándar de evolución a largo plazo.
60

8. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el controlador se configura para enviar información secundaria sobre la tasa del cuantificador a una unidad remota para cada uno de los grupos de elementos de recursos y bloques de recursos físicos en cada símbolo de multiplexación por división de frecuencia ortogonal de una subtrama.
65

9. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el controlador se configura para comprimir los datos de banda base al no enviar a las unidades remotas ningún dato para los grupos de elementos de recursos o bloques de recursos físicos no usados en cada símbolo de multiplexación por división de frecuencia ortogonal de los datos de banda base.

10. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el sistema se configura de modo que los datos de banda base en el dominio de la frecuencia pertenecen a o se derivan de, una constelación de señal de amplitud discreta y en donde el controlador se configura para comprimir los datos de banda base sin cuantificación al enviar datos binarios que representan las señales de amplitud discreta a las unidades remotas y opcionalmente, ya sea:

en donde el sistema se configura de modo que la constelación de señal de amplitud discreta comprende una constelación de señal de modulación de amplitud en cuadratura, o
en donde el sistema de configura de modo que las señales de radiofrecuencia llevan símbolos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal y el controlador se configura para enviar los datos binarios a las unidades remotas en el mismo orden en que los símbolos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal correspondientes deben transmitirse por las unidades remotas a través del aire a los dispositivos móviles.

11. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las unidades remotas se configuran para comprimir los datos de banda base al cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia para producir datos de banda base cuantificados y transmitir datos binarios representativos de los datos de banda base cuantificados al controlador y opcionalmente en donde una unidad remota se configura para recibir datos en el dominio de tiempo desde el dispositivo móvil y para aplicar una transformada rápida de Fourier a los datos en el dominio de tiempo para producir los datos de banda base en el dominio de la frecuencia.

12. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 11, en donde una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso fijo.

13. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 11, en donde una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso ajustable y, opcionalmente, uno de:

en donde el sistema se configura de modo que las tramas de los datos de banda base comprenden símbolos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal y la unidad remota se configura para seleccionar un tamaño de paso en base a una energía promedio de los datos de banda base cuantificados, o
en donde el sistema se configura de modo que las tramas de los datos de la banda base comprenden símbolos de multiplexación por división de frecuencia ortogonal y la unidad remota se configura para seleccionar un tamaño de paso en base a una energía promedio de los datos de la banda base cuantificada, en donde la energía promedio es un promedio de energías de los datos de la banda base que pertenecen a un canal de evolución a largo plazo, o
en donde la unidad remota se configura para seleccionar un tamaño de paso en base a una distribución de los datos de banda base en el dominio de la frecuencia.

14. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 11, en donde una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa fija y un tamaño de paso ajustable y la unidad remota se configura para enviar información secundaria sobre el cuantificador al controlador para que el controlador reconstruya el dato de banda base cuantificado que se recibe.

15. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 11, en donde una unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base en el dominio de la frecuencia mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa y un tamaño de paso, la tasa y el tamaño de paso ambos son ajustables, opcionalmente, en donde ya sea:

- a) en donde el sistema se configura de modo que las tramas de los datos de banda base comprenden subtramas que comprenden bloques de recursos físicos de evolución a largo plazo y en donde la unidad remota se configura para ajustar la tasa del cuantificador sobre una base por bloques de recursos físicos; y
- b) la unidad remota se configura para seleccionar una tasa del cuantificador en base a un esquema de modulación y codificación de los datos de banda base que se determinan por el controlador.

16. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 10, en donde las unidades remotas se configuran para cuantificar los datos de banda base mediante el uso de cuantificadores que tienen tasas ajustables.

17. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 16, en donde las unidades remotas se configuran de modo que las tasas de cuantificación para los datos de banda base se ajustan de acuerdo con los bloques de recursos de evolución a largo plazo.

18. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 17, en donde las unidades remotas se configuran de modo que las tasas de cuantificación se eligen para ser cero para purgar las transmisiones de los datos de banda base para algunos de los bloques de recursos.

19. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 18, en donde el controlador se configura para enviar información secundaria a las unidades remotas y el sistema se configura de modo que la información se usa por las unidades remotas para determinar las tasas del cuantificador y opcionalmente, una de:

en donde el controlador se configura para determinar la información secundaria en base a una relación señal a ruido más interferencia objetivo en el controlador o
en donde la información recibida de los dispositivos móviles corresponde a uno de:

las transmisiones de la Señal de Referencia de Sondeo de evolución a largo plazo por los dispositivos móviles;
las transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio de evolución a largo plazo por los dispositivos móviles; y
la transmisión de enlace ascendente en el Canal Físico Compartido de Enlace Ascendente por los dispositivos móviles.

20. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 11, en donde una unidad remota comprende dos o más antenas receptoras para recibir las señales de radiofrecuencia de los dispositivos móviles y en donde la unidad remota se configura para cuantificar los datos de banda base correspondientes a las diferentes antenas mediante el uso de diferentes cuantificadores y, opcionalmente, en donde los cuantificadores para las diferentes antenas tienen diferentes tamaños de paso.

21. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 20, en donde los cuantificadores para diferentes antenas tienen diferentes tamaños de paso y diferentes tasas y opcionalmente, ya sea, en donde el sistema se configura de modo que las diferentes tasas se determinan por el controlador o en donde el sistema se configura de modo que las diferentes tasas se determinan por el controlador y el controlador se configura para enviar información secundaria a la unidad remota para indicar la tasa de cuantificación determinada para cada antena de recepción.

22. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 11, en donde una unidad remota comprende dos o más antenas receptoras para recibir las señales de radiofrecuencia de los dispositivos móviles y en donde la unidad remota se configura para cuantificar los datos de la banda base mediante el uso de un cuantificador que tiene una tasa seleccionada en base a la correlación de las señales de radiofrecuencia recibidas en diferentes receptores de la unidad remota.

23. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 22, en donde el controlador se configura para determinar un coeficiente en base a la correlación de las señales de radiofrecuencia y para determinar la tasa del cuantificador mediante el uso del coeficiente.

24. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 22, en donde la unidad remota se configura para determinar ya sea:

la tasa del cuantificador mediante el uso de un coeficiente que se determina por el controlador en base a la correlación de las señales de radiofrecuencia; o
un coeficiente en base a la correlación de las señales de radiofrecuencia y determinar la tasa del cuantificador mediante el uso del coeficiente.

25. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde ya sea:

una unidad remota se configura para comprimir los datos de banda base al cuantificar las transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio que se reciben después de realizar una correlación en el dominio de la frecuencia o
una unidad remota se configura para comprimir los datos de la banda base al cuantificar las transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio que se reciben después de realizar una correlación en el dominio de la frecuencia, en donde la unidad remota se configura para comprimir los datos de la banda base al cuantificar las transmisiones del Canal Físico de Acceso Aleatorio que se reciben en un dominio de tiempo después de convertir una salida de la correlación de vuelta en el dominio de tiempo.

26. El sistema de comunicación de acuerdo con la reivindicación 1, en donde al menos un módem del controlador se configura para ejecutar funciones de control de acceso al medio en tiempo real para los datos de Protocolo de Internet correspondientes a la información.

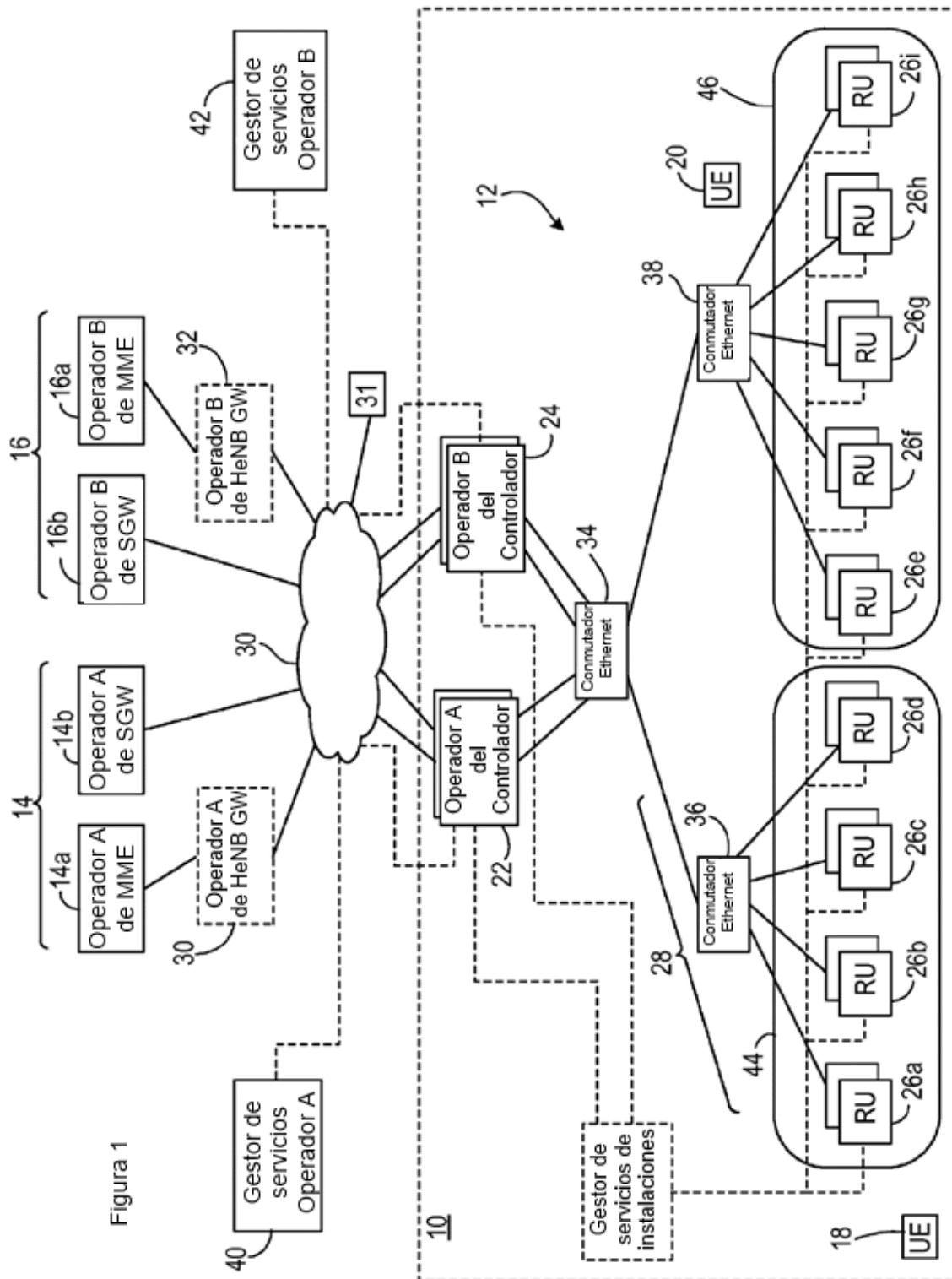


Figura 1

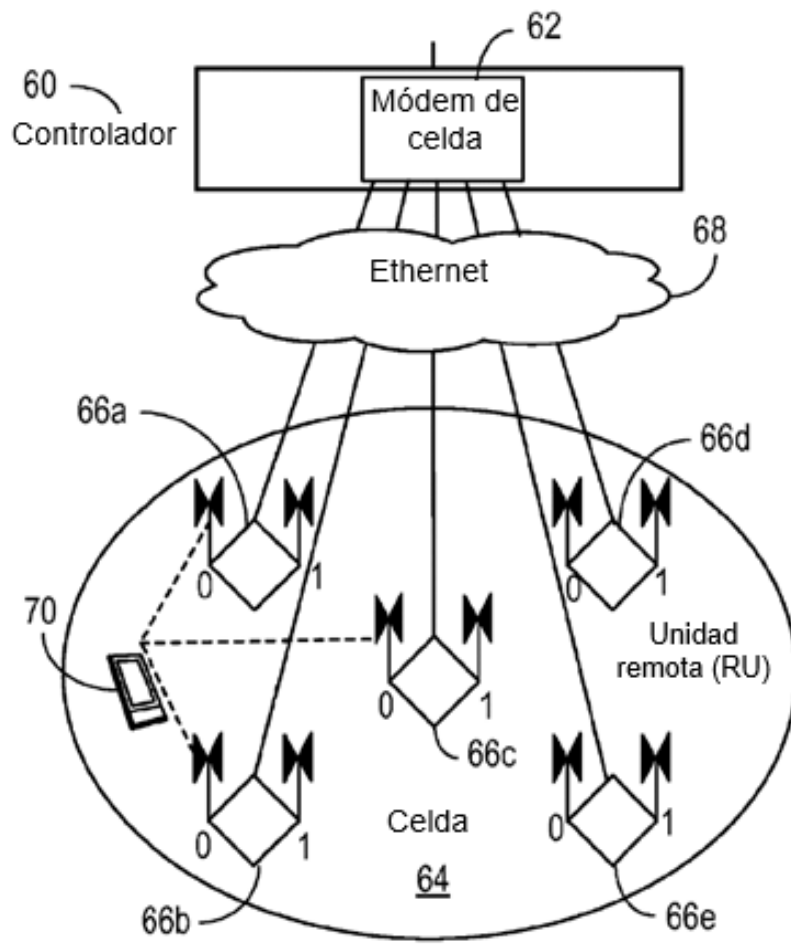


Figura 2A

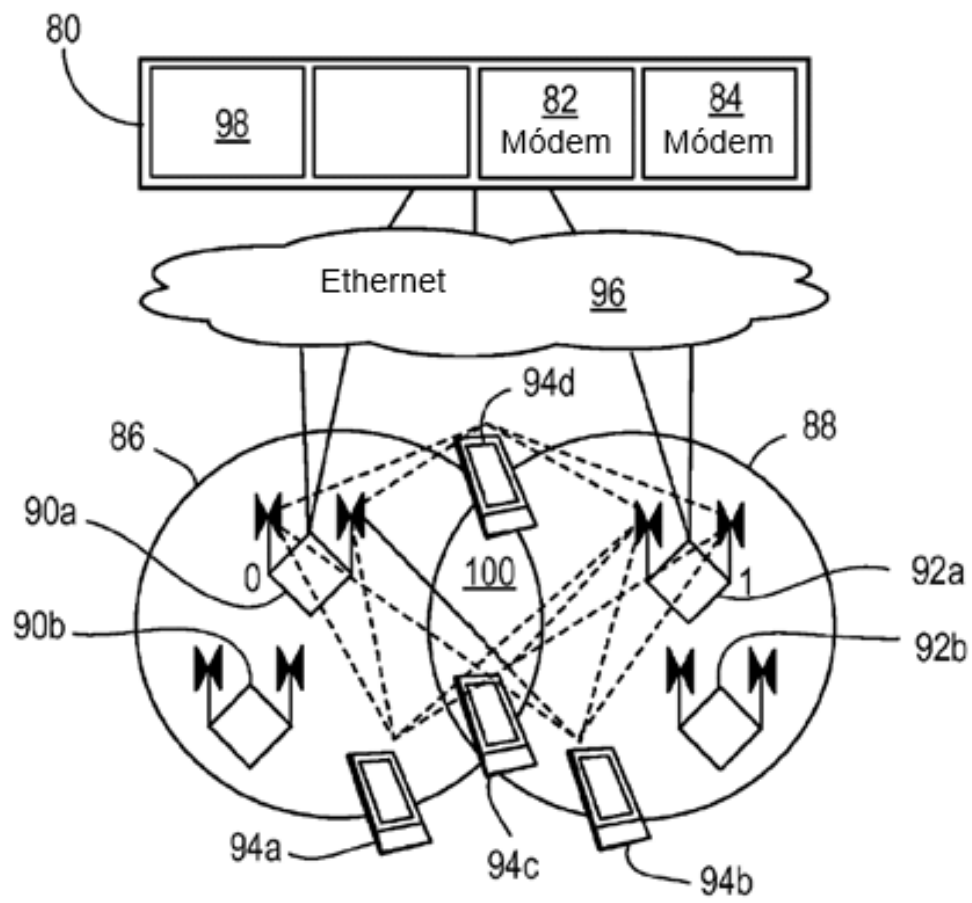


Figura 2B

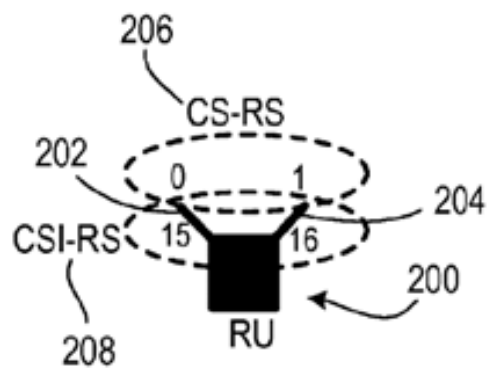


Figura 2C

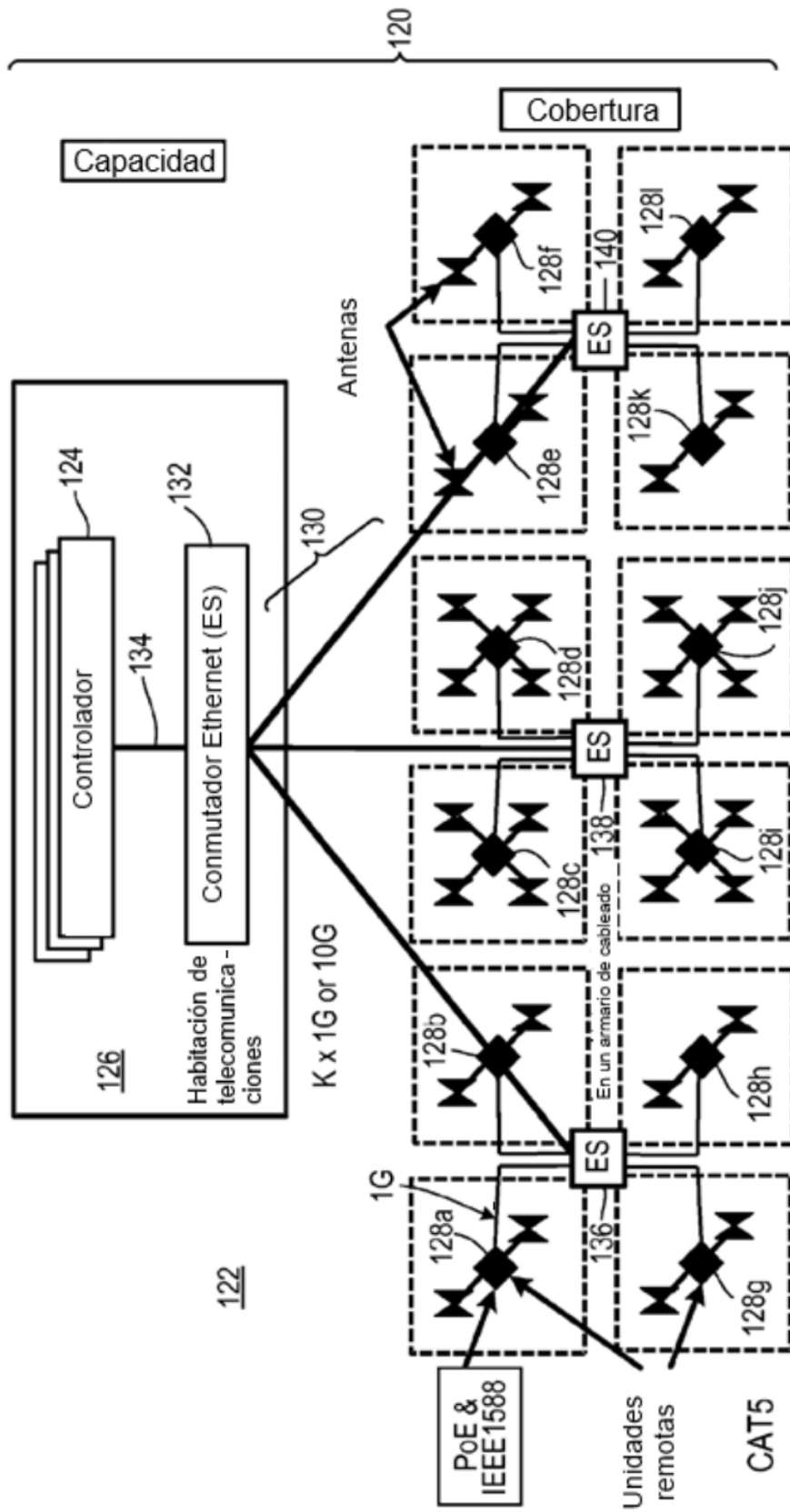


Figura 3

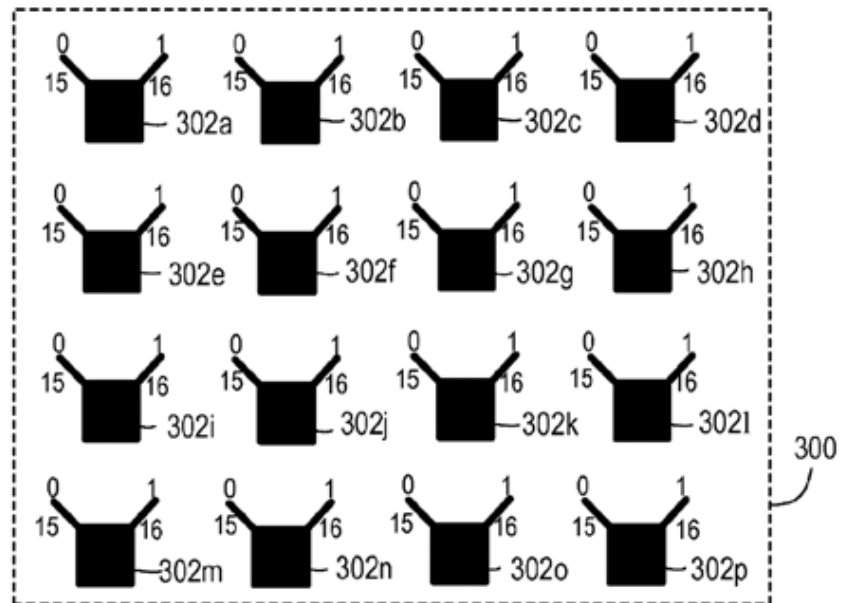


Figura 4A

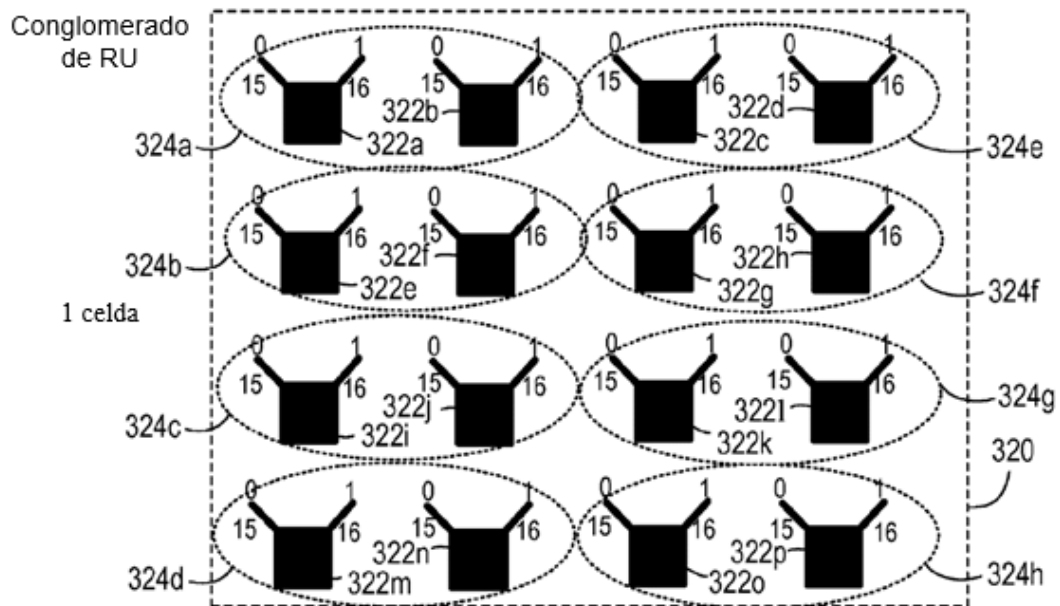


Figura 4B

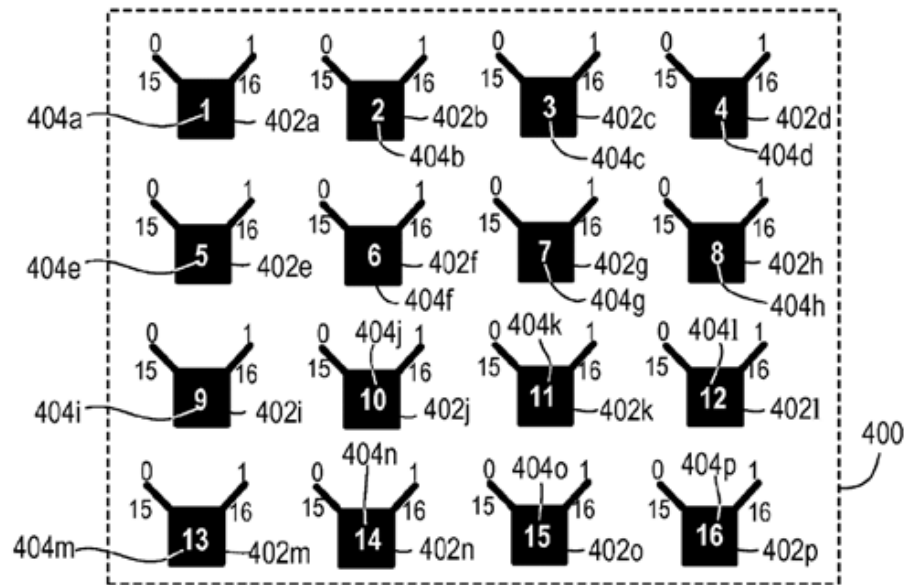


Figura 4C

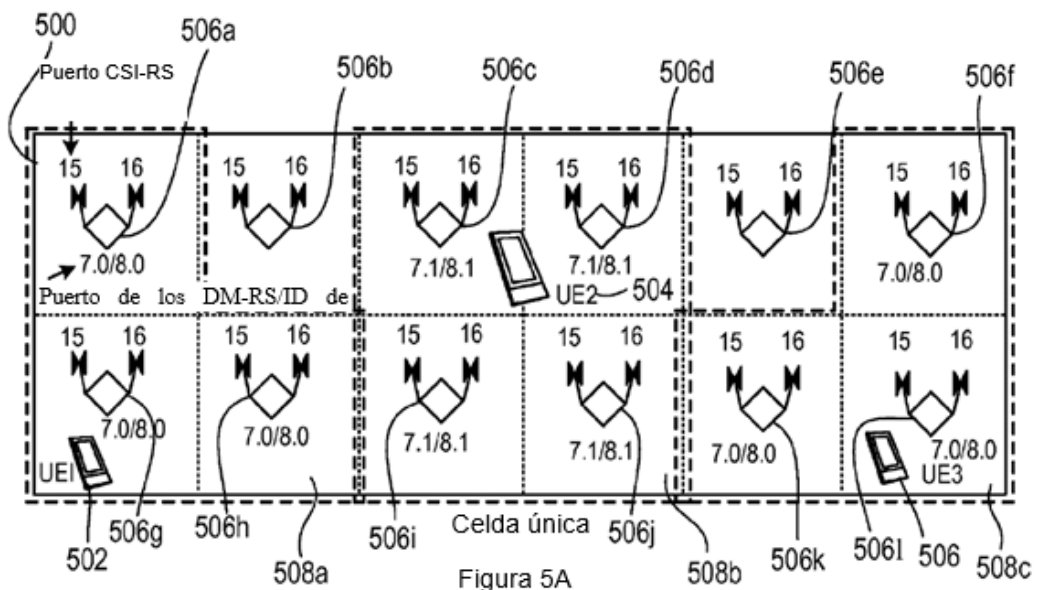


Figura 5A

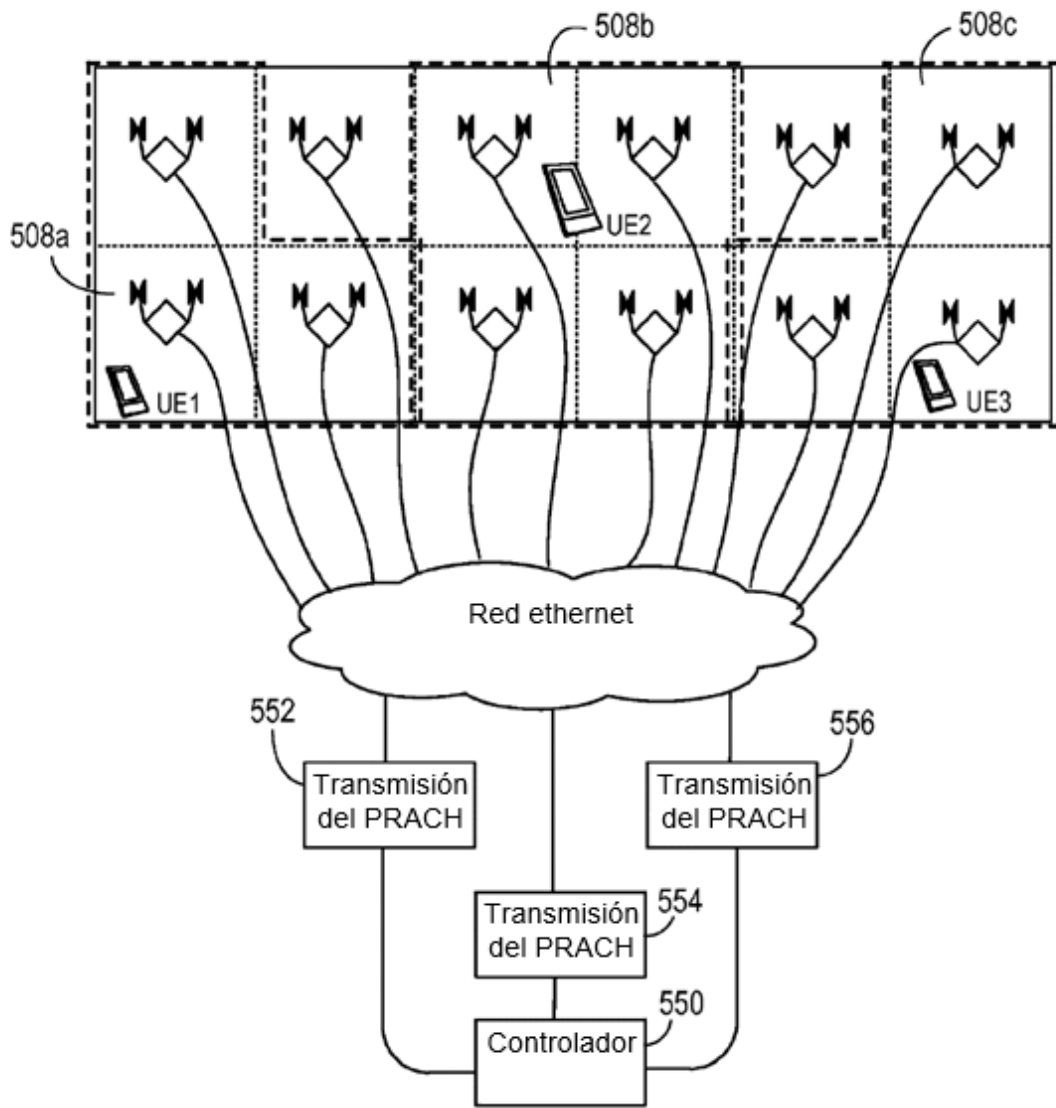


Figura 5B

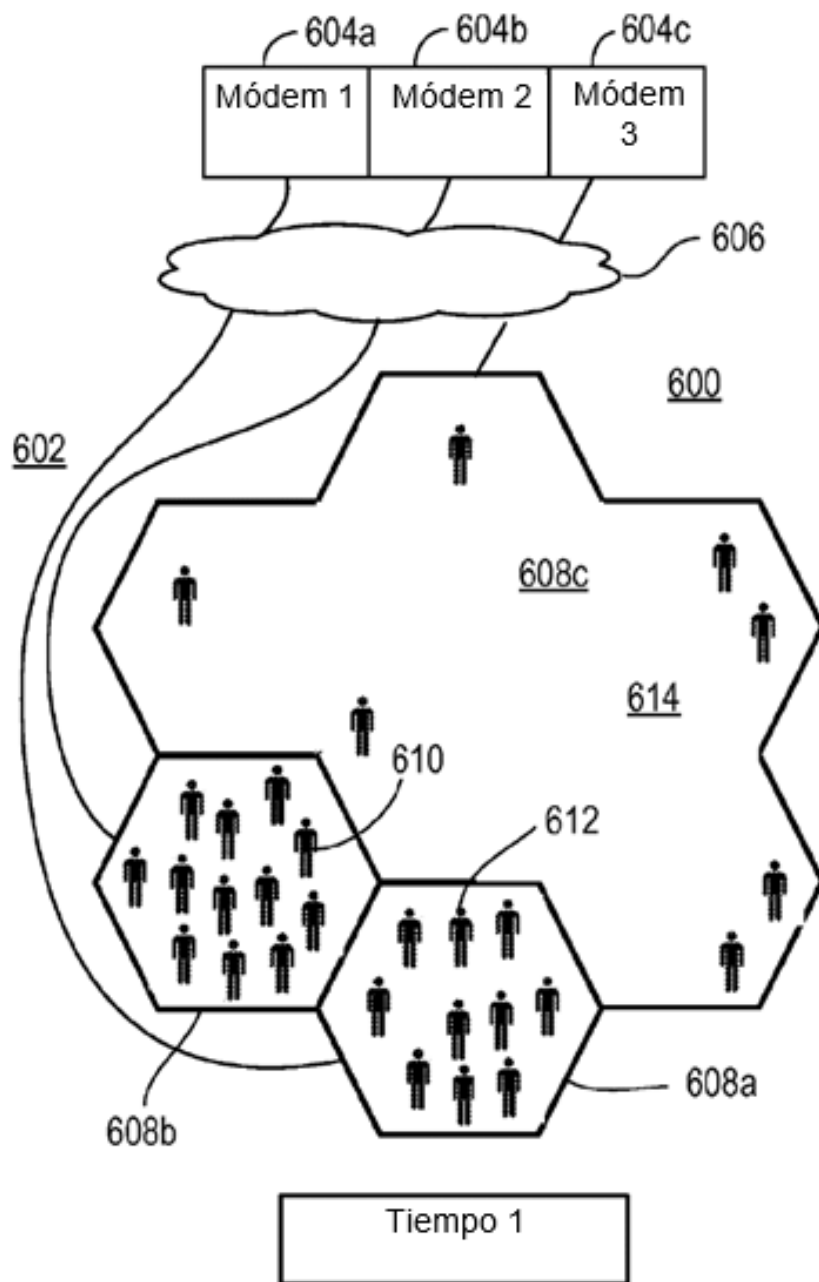


Figura 6A

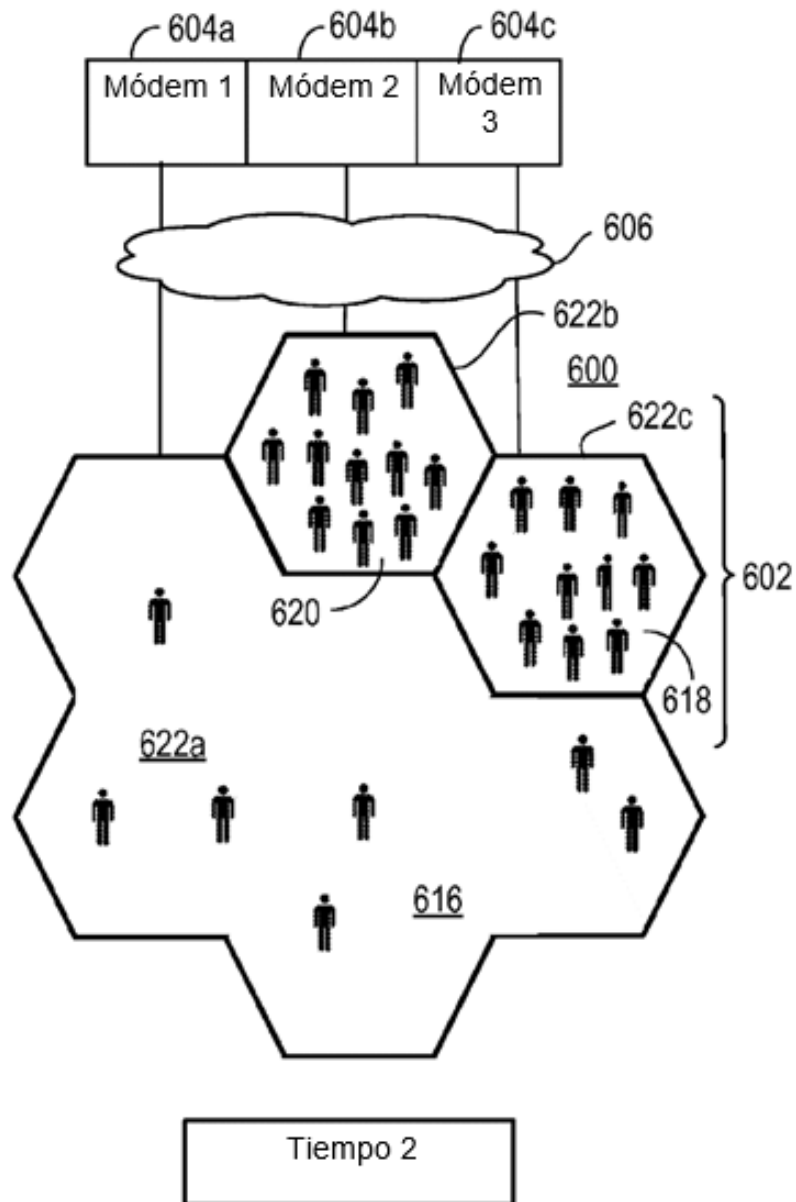


Figura 6B

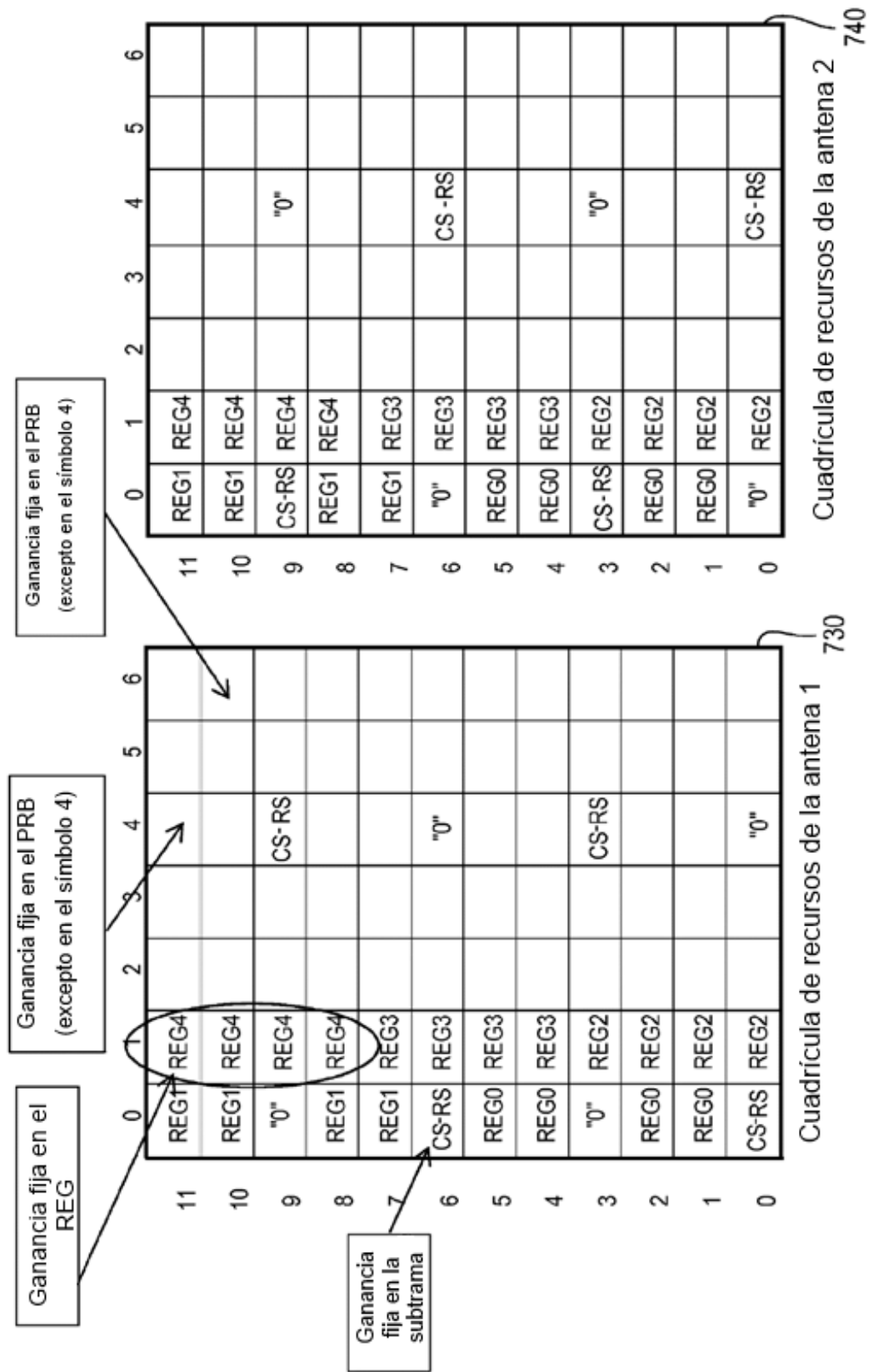


Figura 7

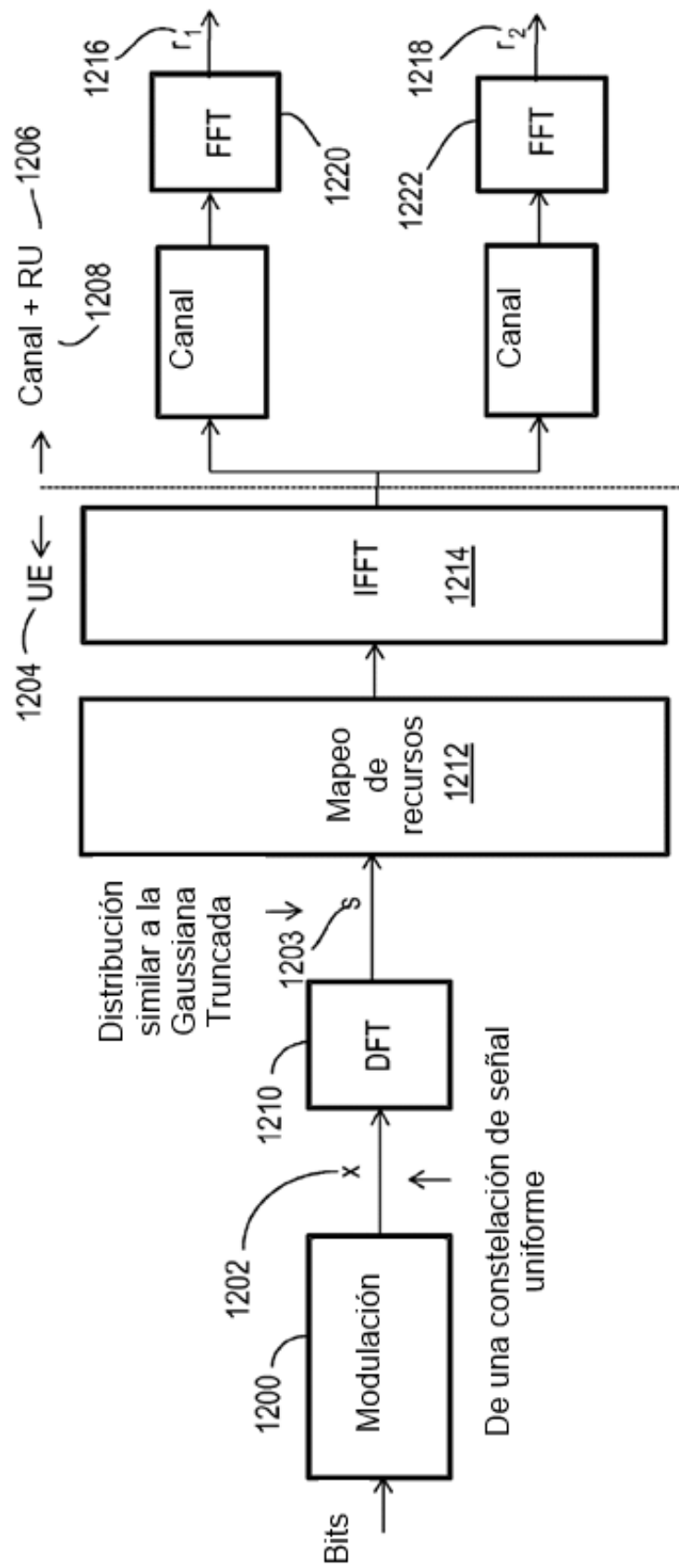


Figura 8

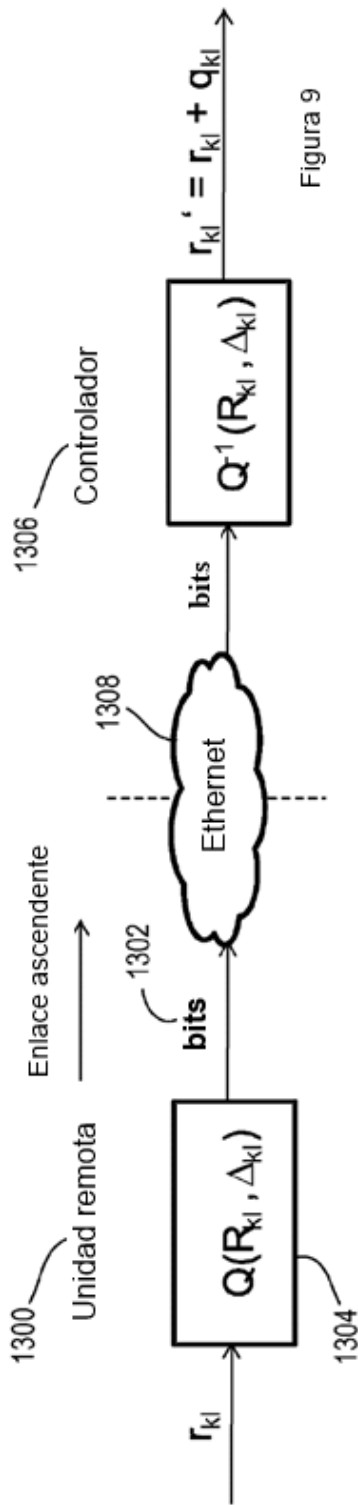


Figura 9

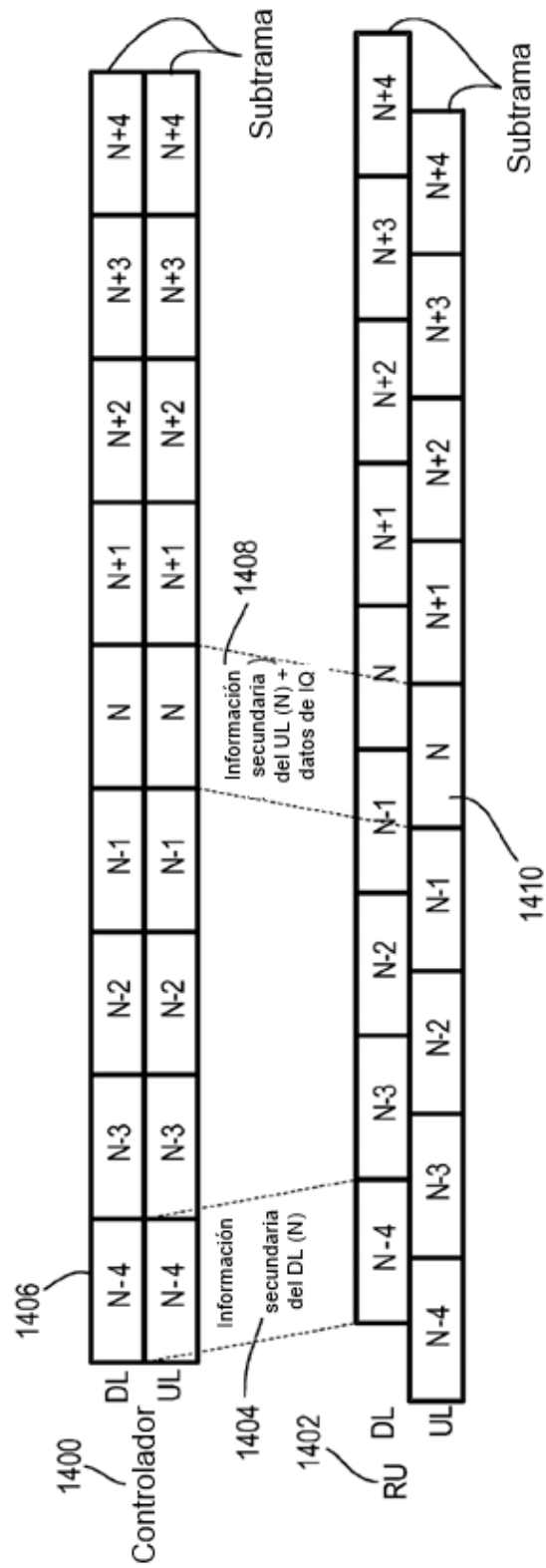


Figura 10

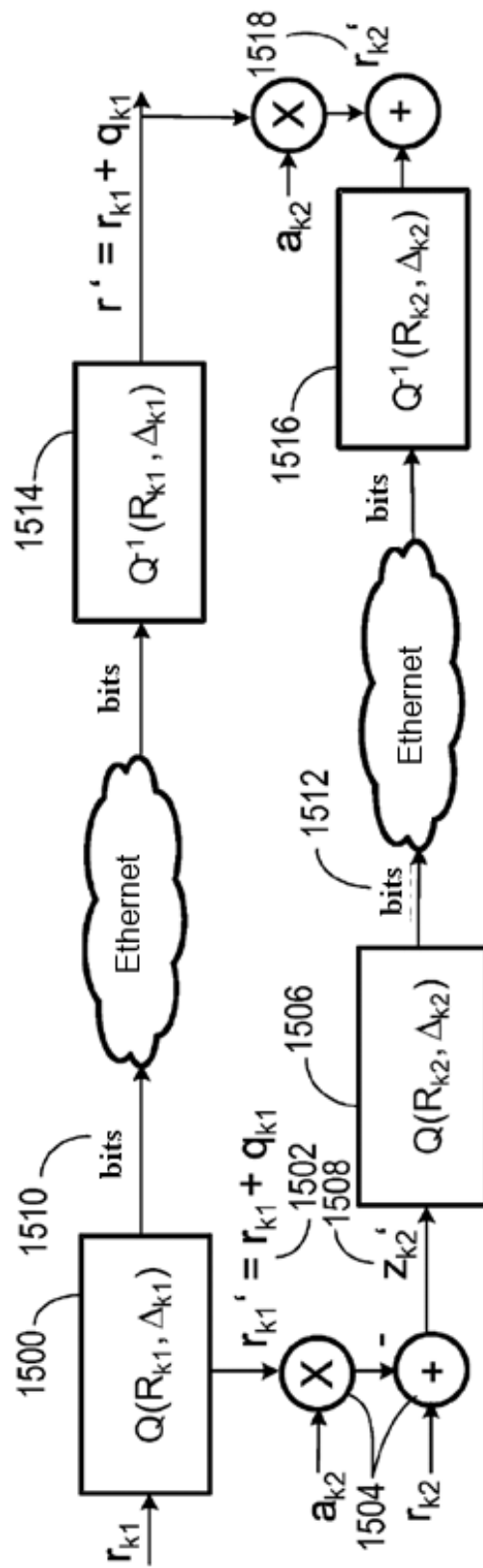


Figura 11

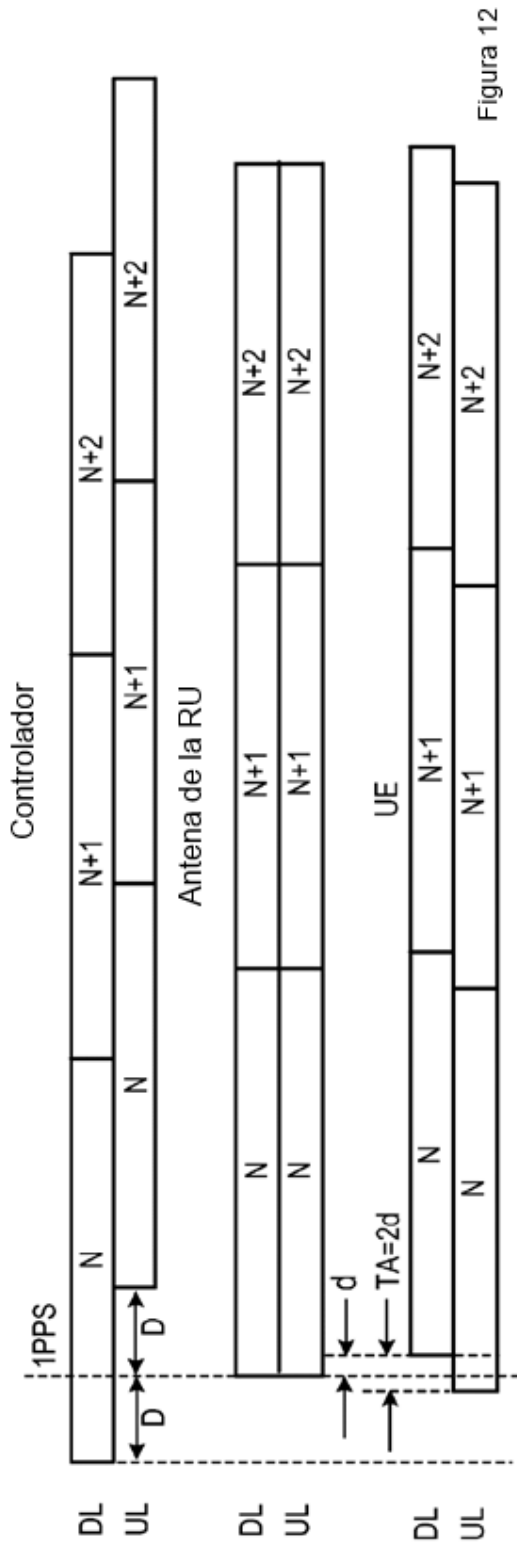


Figura 12

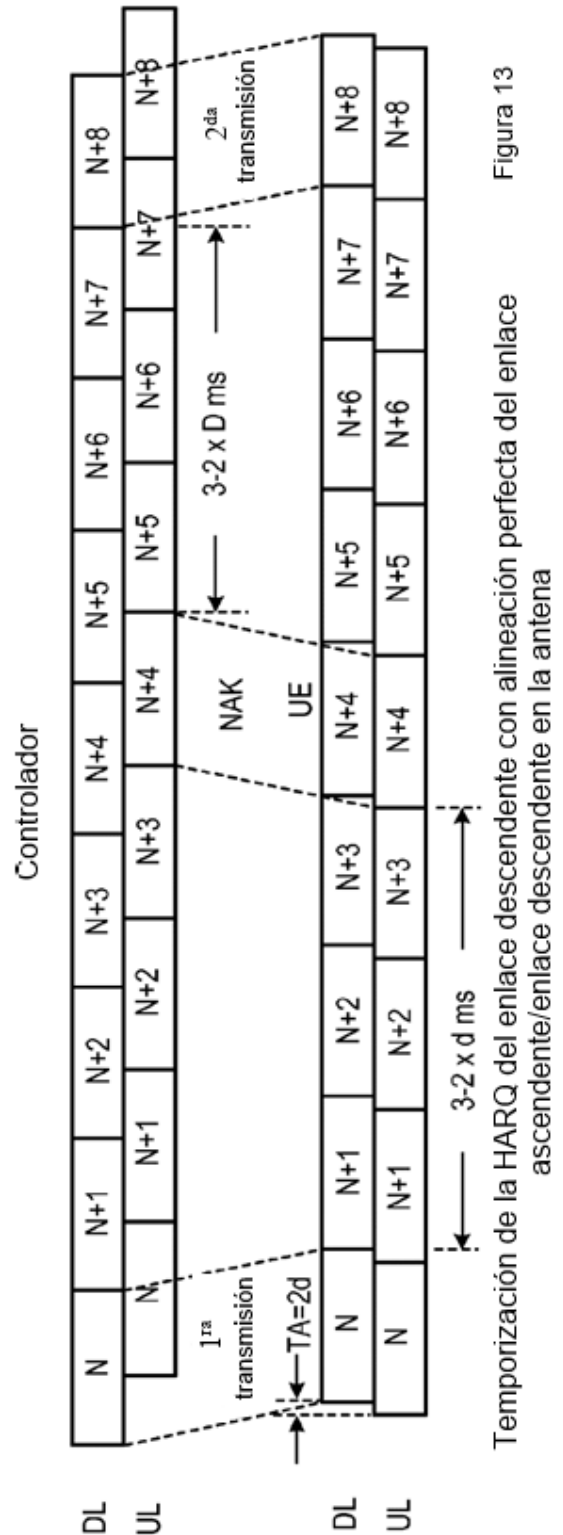


Figura 13

Temporización de la HARQ del enlace descendente con alineación perfecta del enlace ascendente/enlace descendente en la antena

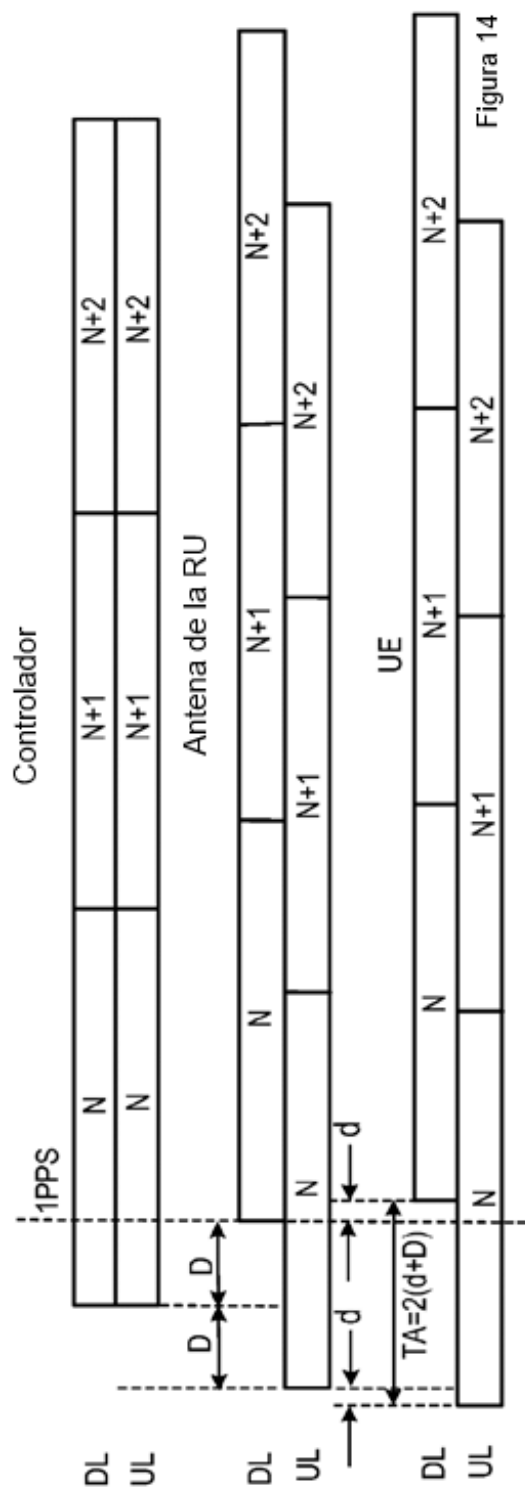


Figura 14

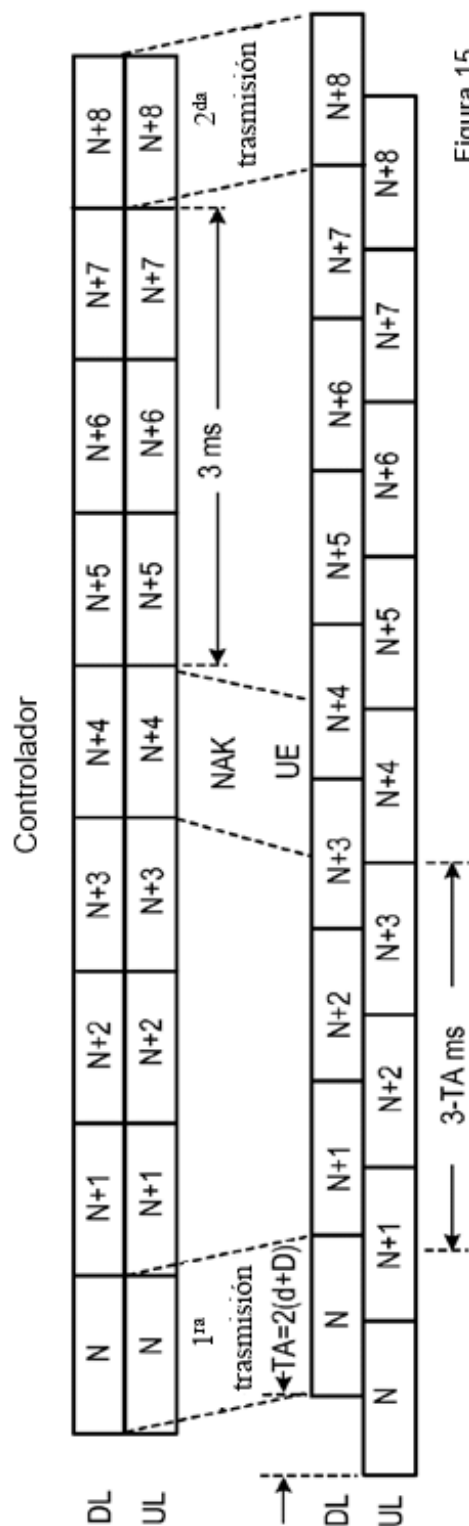


Figura 15

Temporización de la HARQ del enlace ascendente con alineación perfecta del enlace ascendente/enlace descendente en el controlador

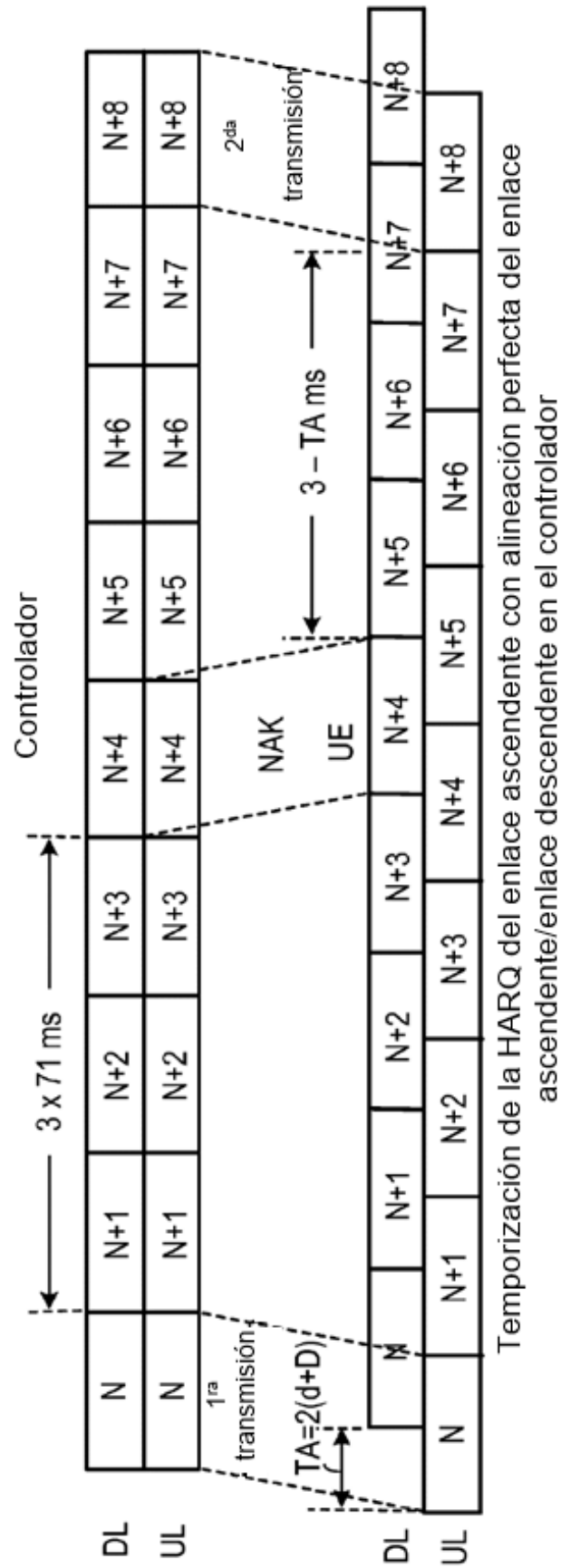


Figura 16

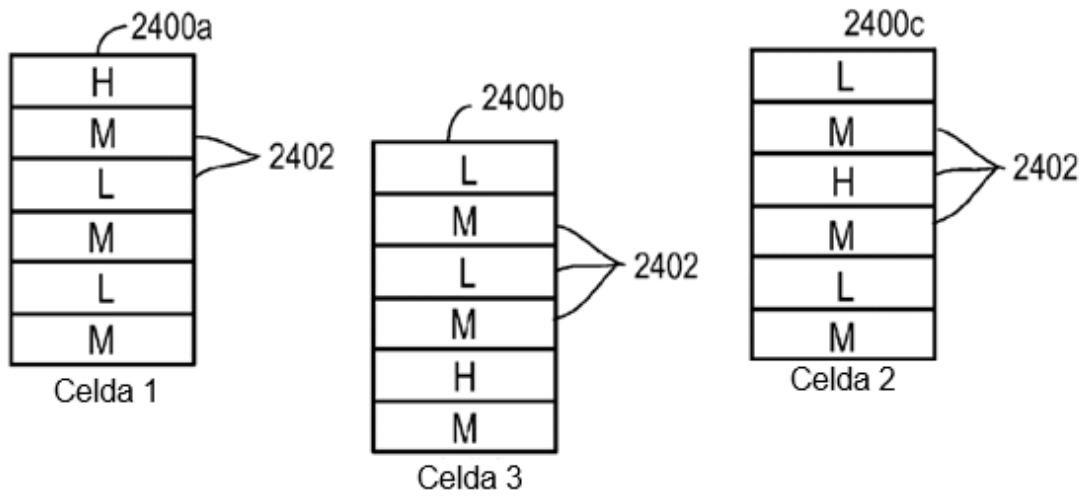


Figura 17A

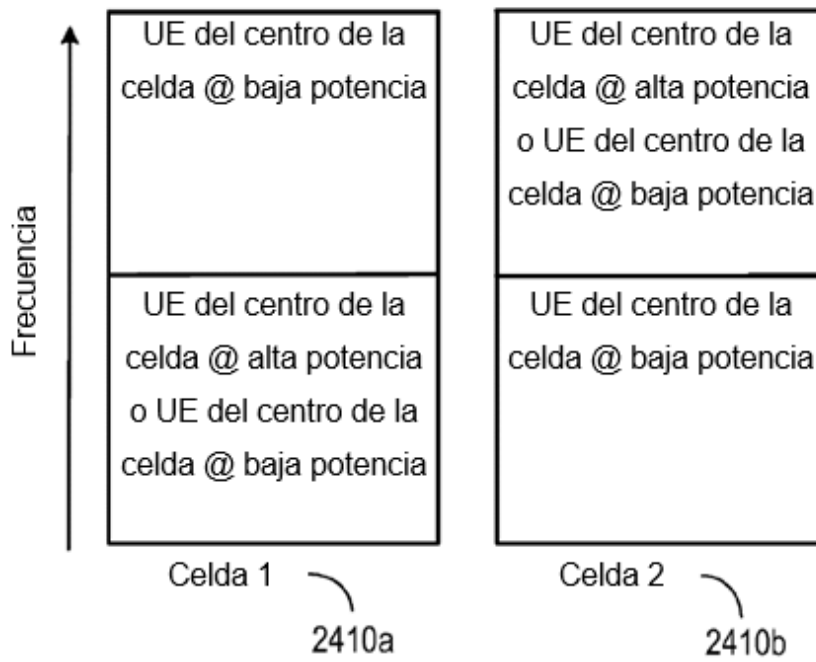


Figura 17B

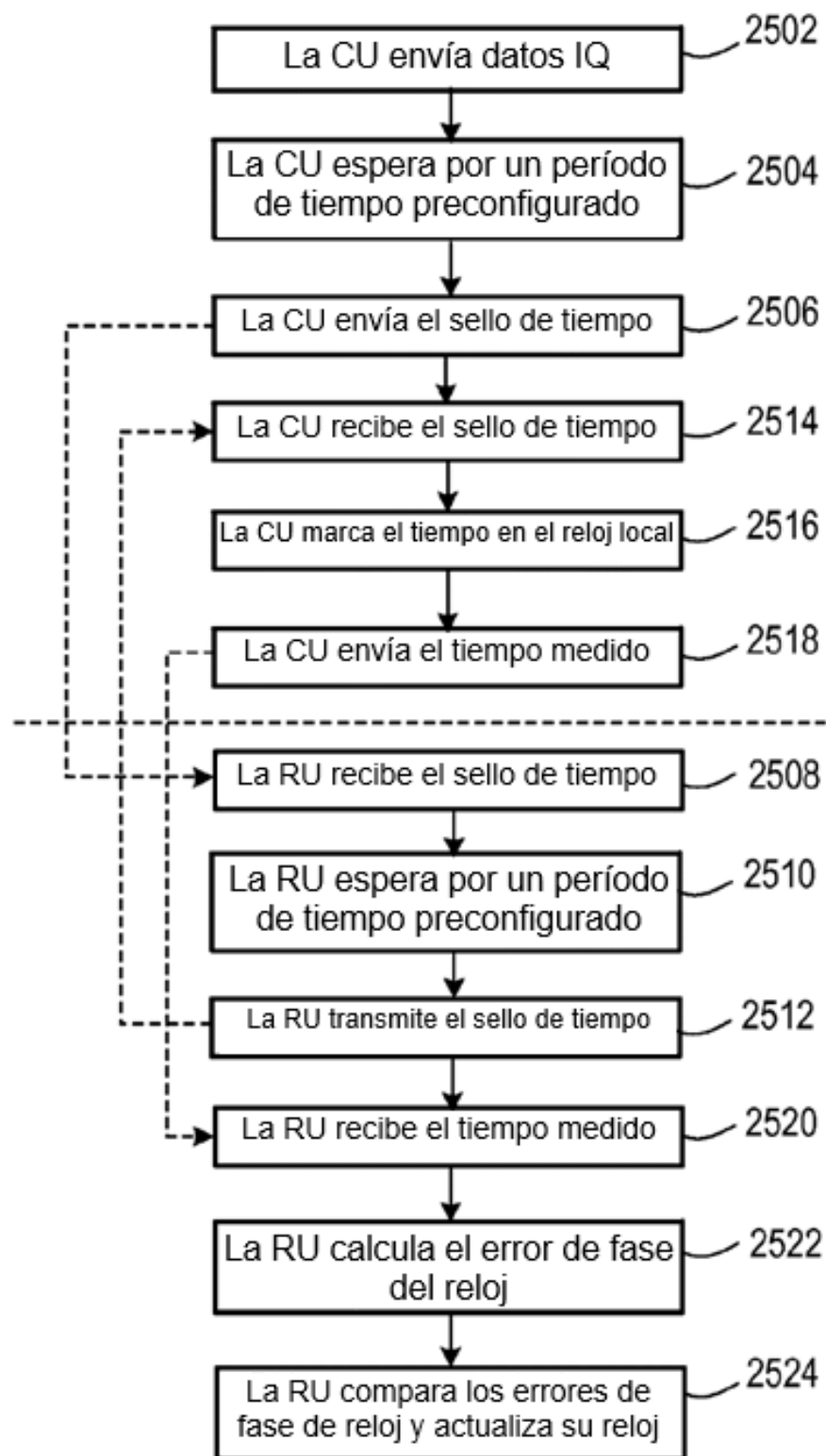


Figura 18

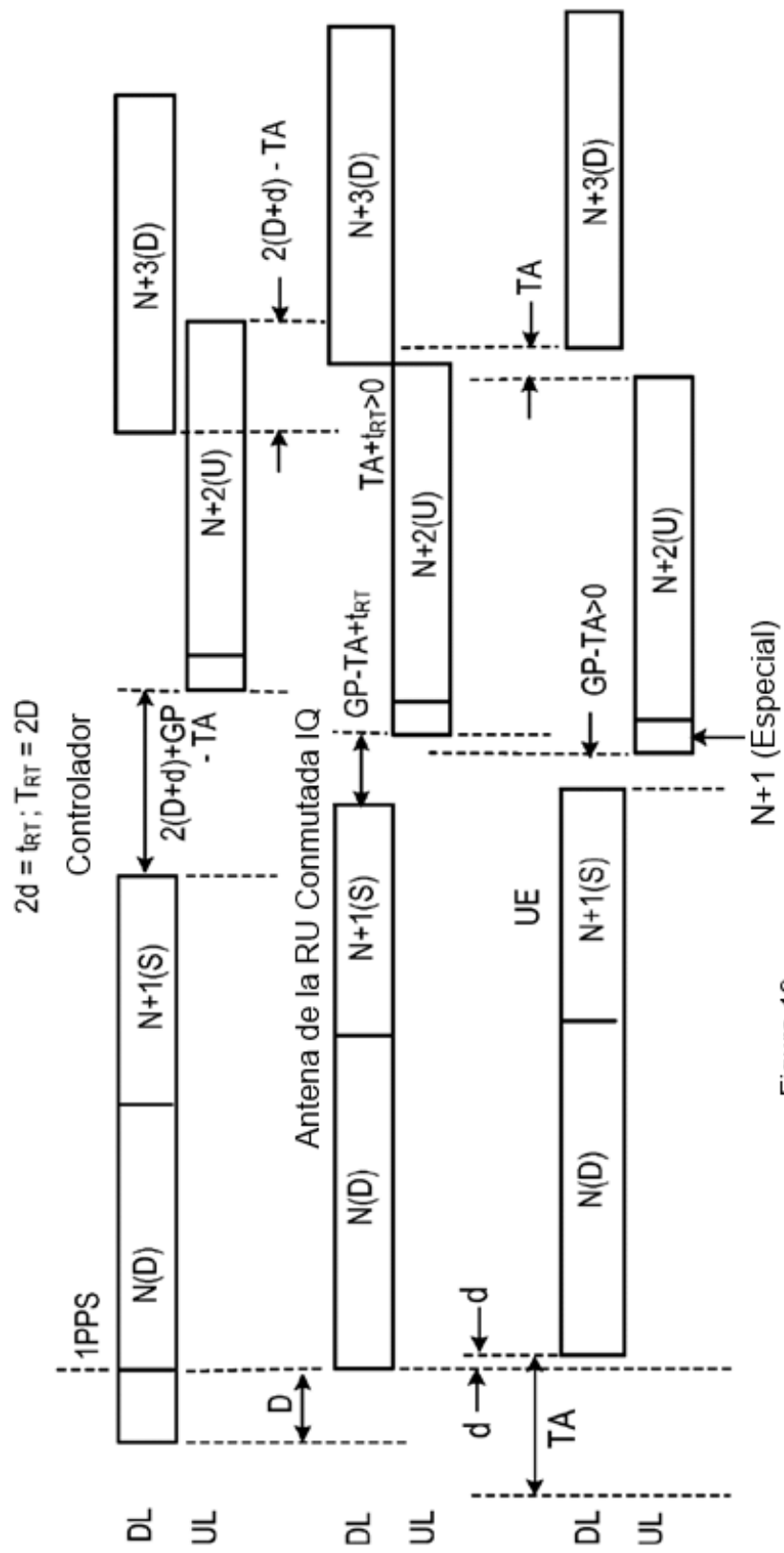


Figura 19

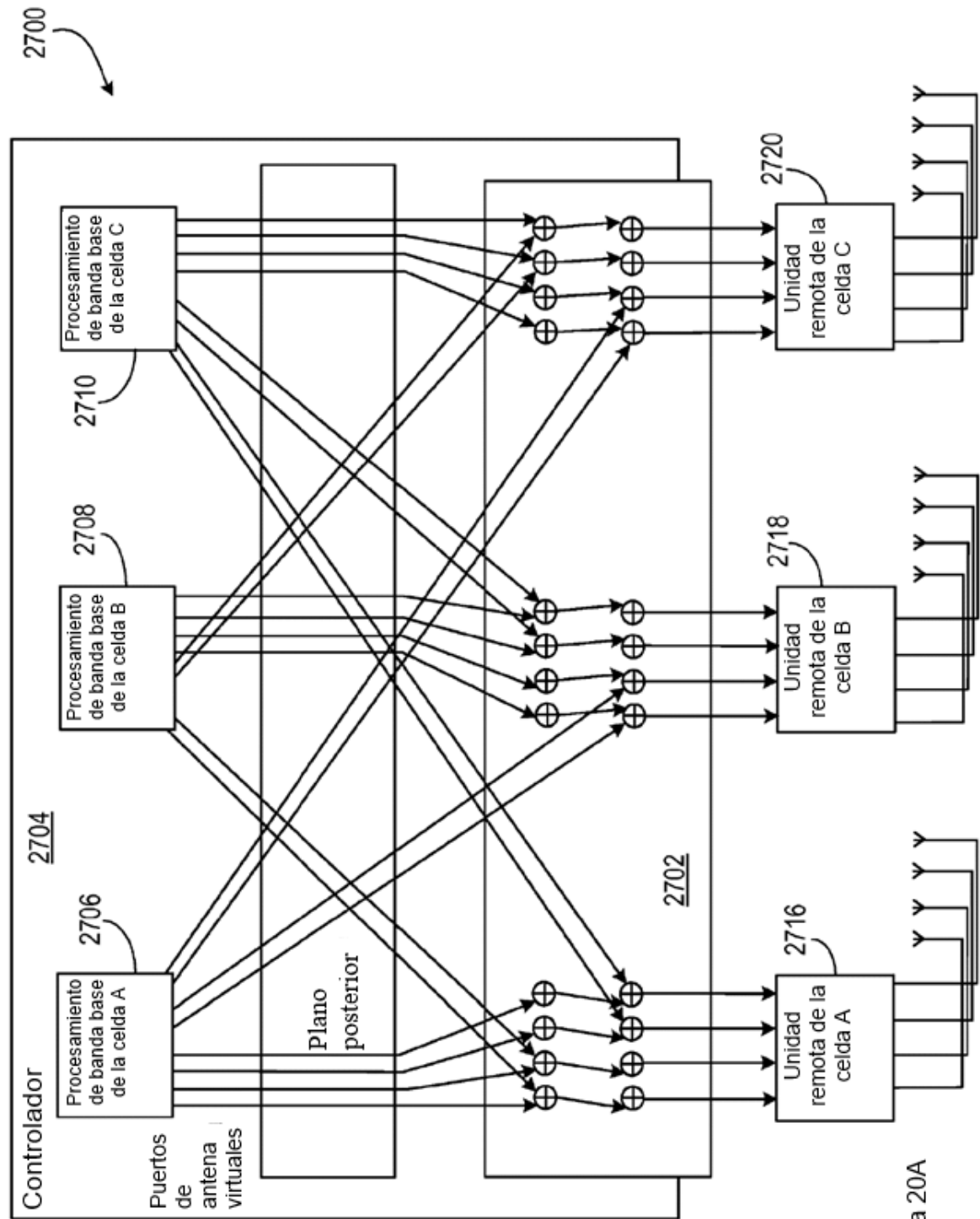


Figura 20A

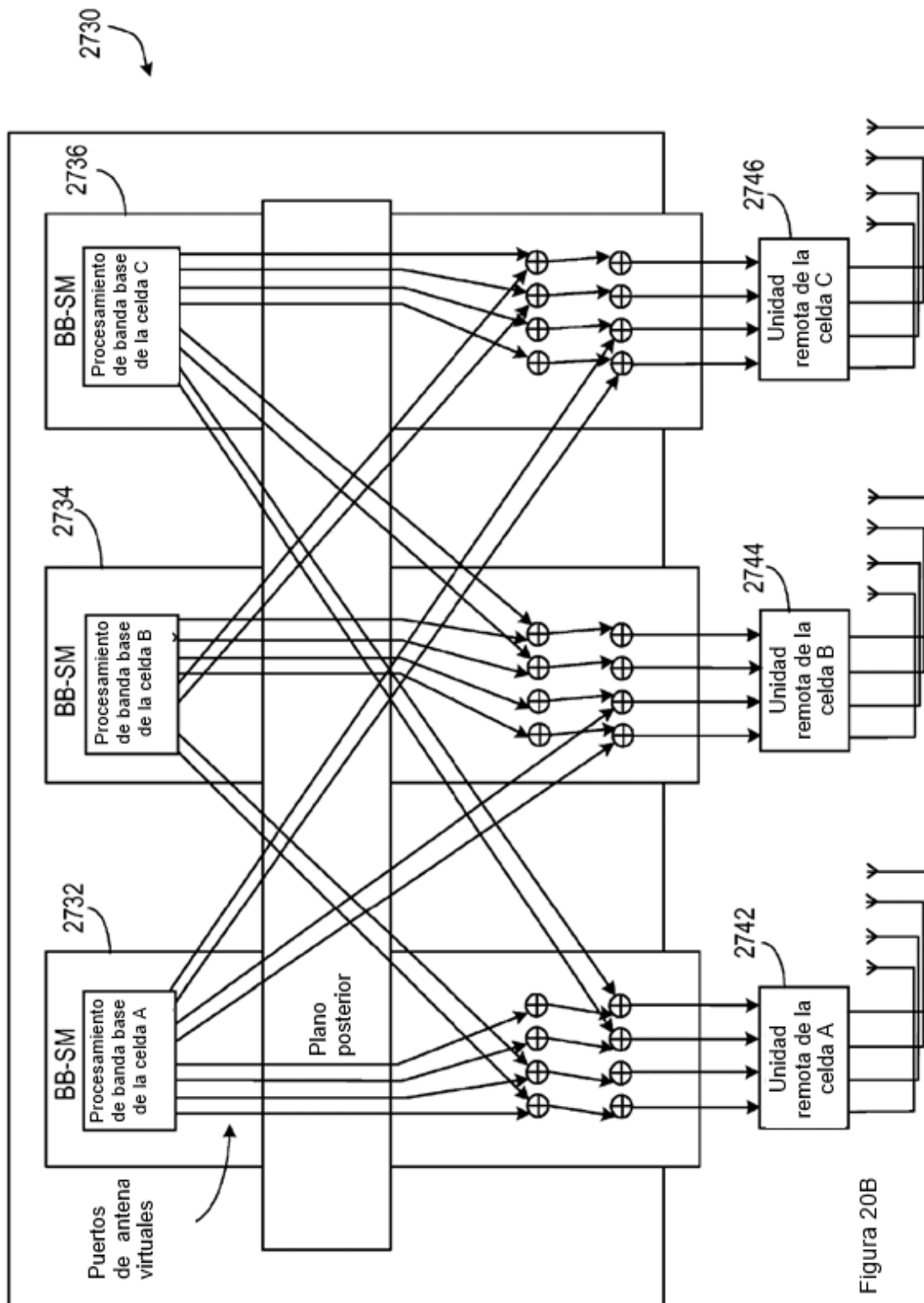


Figura 20B

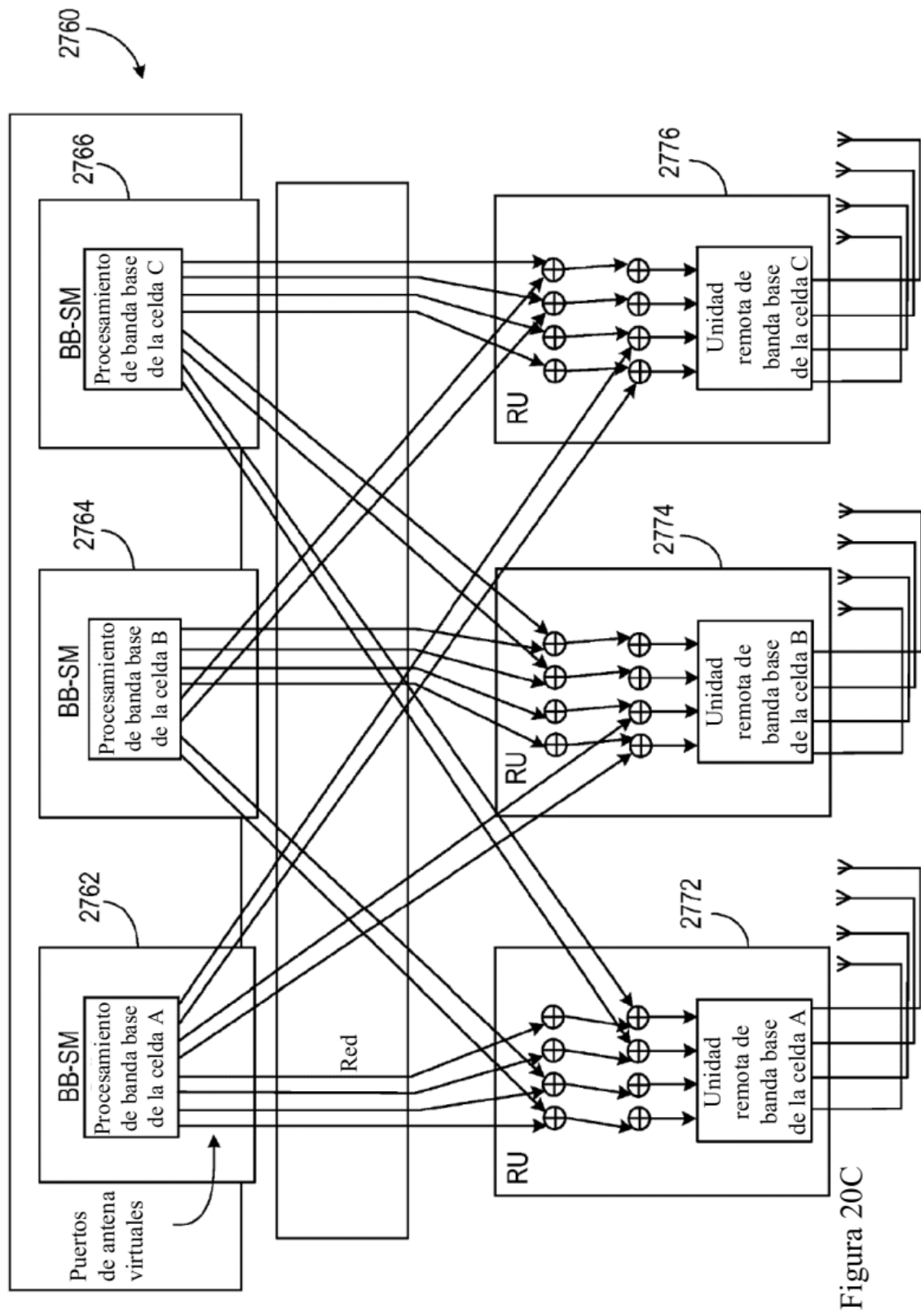


Figura 20C